ABLA MARIA PROÊNCIA AKKARI

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO DE NIVELAMENTO DE RECURSOS A PARTIR DE
PRINCÍPIOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES PARA O PLANEJAMENTO OPERACIONAL**

**Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Doutor em
Engenharia**

São Paulo

2009

ABLA MARIA PROÊNCIA AKKARI

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO DE NIVELAMENTO DE RECURSOS A PARTIR DE
PRINCÍPIOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES PARA O PLANEJAMENTO OPERACIONAL**

**Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Doutor em
Engenharia**

**Área de Concentração: Engenharia de
Construção Civil e Urbana**

**Orientador: Prof. Dr. Cláudio Tavares
de Alencar**

São Paulo

2009

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de maio de 2009.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Akkari, Abia Maria Proencia

Proposição de um método de nivelamento de recursos a partir de princípios da teoria das restrições para programação operacional / A.M.P. Akkari. -- ed.rev. -- São Paulo, 2009. 365 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de

1. Gerenciamento da construção 2. Engenharia civil I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico essa Tese a três pessoas muito importantes na minha vida:

Carolina Costa, minha sócia pelo tempo que deixei de disponibilizar a nossa empresa.

Henrique Aguiar, meu marido por entender minha ausência, e ser um grande incentivador na minha vida pessoal e profissional.

Sérgio Alfredo Rosa da Silva, por sua presença na minha vida me acolhendo na hora que eu mais precisava, sendo além de amigo um grande orientador.

AGRADECIMENTOS

Ninguém chega a lugar algum sem ter uma equipe competente.

A equipe Akkari & Costa – Ana Aguiar, Ana Paula Brito, Aparecida Tomioka Augusto Rios, Carolina Costa, Daniela Takata, Juliana Hiltner, Ival Barreto, Luciana Cruz, Marize Carvalho e Manuela Pierk.

Aos anjos da minha vida que onde estiverem estarão sempre olhando por mim.

(in memoriam) Saadallah Akkari, Saide Akkari, Diana Hiltner e Chapisco.

Pela confiança e respeito ao meu trabalho.

As empresas e suas equipes: Andrade Mendonça; AGRA Gerenciadora; AP2M Engenharia; Arc Engenharia; Axxo Construtora; BahiaGás - Companhia de Gás Canalizado; Chroma Construções; Coliseu Empreendimentos; Concreta Engenharia; Conipe Construtora; Cosbat Engenharia; Consil; Construtora Barcino Esteves; Construtora CVP; Construtora Norberto Odebrecht; Construtora NM; Construtora Gatto; Construtora Passarelli; Construtora Santa Helena; Construtora Total; Donelisa; GNG engenharia, Holtz Engenharia; Hexagonal Engenharia; Incorplan Engenharia; Inova TS; Gafisa; Galvão Engenharia; JCG; Jotagê Engenharia; Kubo Engenharia; Lebram Construtora; Liceu de Arte e Ofícios; Luis Mendonça Construtora; MRM Construtora; Oikos Engenharia; OAS Construtora; Odebrecht Empreendimentos Imobiliários; Plaenge Empreendimentos Ltda.; Promon Logicals; Quality Building Engenharia; Qualy Engenharia; Sarti Mendonça Engenharia; Sativa Engenharia; Sertenge SA; Tecper Fudações e Geotecnia; Thomas Magnus; W Engenharia.

A oportunidade é algo que só se agradece com muita dedicação.

A Universidade de São Paulo e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelos títulos mais importantes da minha vida profissional.

Não existe amor maior do que o que sinto por vocês, espero que essa Tese sirva de incentivo.

A meus sobrinhos e afilhados: André Slavick, Ítala Slavick, Lara Slavick, Leon Slavick, Juliana Hiltner, Francisco Bulhões, Marina Bastos, Sófia Akkari, Victoria Akkari,

Victor Hanioka. A Marjore Alves e a Julia Torres que ainda nem nasceram, mas já moram no meu coração.

Pelos exemplos de caráter e dignidade passados ao longo da minha vida.

A minha mãe Denyse Akkari e aos meus tios Lorya e Saad Akkari.

A minha segunda família.

Ana Aguiar, Sandra Aguiar, Thiago Aguiar, Susana, Arissa e principalmente meu sogro Geraldo Aguiar pelos seus experimentos científicos.

Por deixarem São Paulo menos fria, por me acolherem.

Aos meus Tios Chaube Assi, Helena Mackouf, Laurinda Assi e Nilsa Assi.

O amor, o carinho e acima de tudo pelo exemplo de bondade jamais visto.

A Ângela Ferreira, Angélica Hiltner, Mariza Klaus, Mila Miranda e em especial a Mônica Silva minha segunda mãe.

Por abrirem as portas do núcleo e me receberem com o maior carinho, pelo conhecimento transmitido, por serem mais que professores...serem exemplos.

Aos professores do Núcleo do Real Estate: Cláudio Alencar, Eliane Monetti, João da Rocha Lima Jr e Sérgio Alfredo Silva.

Por me ajudar em muitas horas de sufoco.

Aos funcionários da USP: Fátima Domingues, Denise, Edson, Patrícia e pelo sorriso cativante do porteiro Marcio.

Por estarem presentes na minha vida nesse momento, acompanhando cada passo.

A equipe Ap2m: Jerônimo de Araujo Souza (*in memoriam*), Maria da Guia e Paulo Roberto Uchoa (pela imensa ajuda).

Pelo conhecimento transmitido, por me fazer crescer.

Aos professores do PCC: Cláudio Alencar, Eliane Monetti, João da Rocha Lima Jr., Fernando Sabatini, Francisco Cardoso, Mércia Barros, Silvio Melhado, Sérgio Alfredo Rosa da Silva e Uiraci Souza.

Pela nossa amizade e cumplicidade, sendo mais que amigas, as irmãs que escolhi pra me acompanhar pra sempre.

A Marcela Assi, Iamara Bulhões, Lisa Slavick e Carolina Costa.

Na hora do desespero, da solidão, da angústia, da alegria, das festas e felicidades existe sempre alguém com quem você possa contar.

Aos meus eternos amigos: Alceu Hiltner, Andrea Betioli, André Carvalho, André Torres, André Alves, Brahum Makdessi, Cláudia Nascimento, Cristóvão Cordeiro, Denise Pithan, Daniela Stockmann, Fátima Bastos, Rodrigo Castelucci, Luciana Medeiros, Mariana Miranda, Michael Lynch, Renato Neves, Marie Makdessi,

Por deixar minha vida mais feliz com seus pratos maravilhosos, por ser o melhor Gourmet do mundo.

A Márcio Ferreira Mendanha.

Por tornarem o Chile ainda mais lindo

A Amilcar Borges e a Fernando Gallardo.

Por tornarem a fazenda muito mais agradável.

A Maria de Lourdes, Alarico, Dona Dalva e seu Pedro.

Por serem muito mais que colegas de trabalho, por usarem o planejamento da forma correta.

Marcelo Stumpf, Marcelino Carvalho, Gileno Moncorvo, Augusto Garcia, Antônio Ciamp, Ricardo Denoni, Mario Sérgio, Renato Ramos, Virginia Moura, Tarcisio Maschietto, Cláudio Gomes, Elsior Junior.

Pela solidariedade e companheirismo.

Aos amigos da Pós: Luciane Virgílio, Cláudio Gaiarsa, José Luis Sarti, Elisabeth Silva e Fernanda Marchiori.

Por lerem infinitas vezes esse trabalho, por escutarem inúmeras vezes minha apresentação e no final de tudo isso ainda sorrirem e acharem ótimo.

Ao meu marido Henrique Aguiar e minha cunhada Ana Aguiar.

Ao amor incondicional dedicado a mim, pela companhia enquanto algumas páginas eram digitadas nas madrugadas.

A Tiro e a Tob – meus filhotes queridos.

Por encurtar as distâncias e reduzir minha saudade.

Ao Skype e ao Msn.

Por deixarem minha casa e o escritório muito mais aconchegantes.

A Zezé, a Lidia e a Jane.

Por cuidarem do meu tio com muito amor.

A Lucia e a Marilena.

Por me ajudar quando me meto em causas impossíveis.

A Santo Expedito.

Nada sou sem você.

A Deus.

Finalmente, àqueles que infelizmente eu esqueci não por serem menos importantes, mas por um sério problema de memória.

Muito obrigada.

Durante cinco anos não passei um dia sem pensar em você.

Deixei de sair, como antes saía, não fui a vários casamentos, aniversários, festas, não fui a churrascos, batizados, esqueci até a minha família.

Meus sobrinhos não os vir nascer e crescer, minhas irmãs não pude compartilhar do seu dia-a-dia. Mãe, tios, primos, marido, amigos cobravam a minha presença e alguns não entendiam minha ausência.

Passamos cinco anos juntas e nesse período você cresceu até chegar nas 365 páginas a qual escrevi com muito amor. Você se tornou uma amiga, uma confidente e em alguns momentos inimiga, inconsistente, você me fez sorrir e chorar.

*Não foi fácil todos os dias juntas, mas agora me pergunto como farei sem você **A Tese** mais linda do mundo.*

RESUMO

O processo de planejamento de empreendimentos residenciais verticais no Brasil tem apresentado deficiências principalmente quanto do confronto das programações que balizam a decisão de investir, da tomada de risco do empreendimento, *versus* os resultados obtidos a partir do controle de sua implantação. As discrepâncias observadas entre o desempenho esperado na programação e aquelas obtidas nos processos de controle, principalmente quanto a indicadores de prazo e de alocação de recursos mostram a necessidade de se buscar sucessivos aprimoramentos dos processos da programação orientada a prazos.

Aspectos como maior consistência no mapeamento de escopo na elaboração do planejamento operacional suportados por redes lógicas, além de uma adequada correlação entre as durações das atividades com as respectivas alocações e nivelamento de recursos merecem ser aprimorados.

Uma abordagem para o desenvolvimento de programações operacionais, contemplando recursos para fazer frente aos aspectos acima citado se torna necessária. A ênfase se dá no estreitamento da correlação entre a estimativa das durações das atividades com as respectivas alocações de recursos.

O objetivo deste trabalho é propor um método de nivelamento de recursos desenvolvido com o emprego de princípios da *Theory of Constraints* (TOC).

O método de nivelamento consiste de regras heurísticas para programação operacional, complementado por procedimentos para o mapeamento de escopo e de uma biblioteca de redes lógicas elementares para edifícios residenciais verticais. Estes complementos têm por objetivo assegurar um nível mínimo de consistência e adequação do emprego do método de nivelamento ora proposto.

Foram desenvolvidos 16 estudos de caso para suportar estes processos complementares, além de 171 testes em 21 redes lógicas para avaliar: os princípios da TOC, calibrar o método, analisar o seu desempenho e demonstrar sua aplicabilidade.

Finalmente, concluiu-se que as regras heurísticas que compõem o método proposto nesta Tese são de fácil aplicação, e apresentaram desempenho igual ou superior as melhores regras existentes.

Palavras Chave: Nivelamento de Recursos. Teoria das Restrições. Programação.

ABSTRACT

The planning process of construction of vertical housings used in Brazil have shown lacks, mainly when confronting the scheduling guiding the decision-making to invest, concerning the risk of the enterprise, *versus* the results obtained during the execution control. The discrepancies observed between the expected results regarding scheduling and those observed in the execution control processes, especially those about timeframe and resource allocation indicators, show the necessity to adjust and improve constantly the scheduling processes.

Aspects such as greater consistency in defining scope and in the design of operational planning supported by logical networks, along with an appropriate correlation between the duration of activities and the corresponding resource allocation, deserve to be optimized.

This study focus on the development of operational scheduling techniques, contemplating resource allocation to deal with those aspects above mentioned. Emphasis is given to the reinforcement of correlation between estimated timeframes for activities and the corresponding resource allocation.

The objective of this research work is to propose one method of resource levelling developed using the principles of the Theory of Constraints (TOC).

This method consists of a heuristic scheduling process oriented towards operational schedule, complemented by procedures for mapping of scope for the construction of vertical residential buildings and a library of elementary logical networks also oriented towards this type of buildings. The objective of these complements is to guarantee a minimum level of consistency for the simulated implementation model, as well as to insure the adequate use of the levelling resource process proposed here.

Sixteen cases studies were developed to support these complementary processes, beyond 171 tests in twenty one logical networks to evaluate the principles of the TOC, to calibrate the method, to analyze its performance and to demonstrate its applicability.

Finally, it was concluded that the heuristics rules proposal that compose the method in this Thesis is of easily application, and presented a performance equally or higher than the best existent rules.

Keywords: Leveling Resources. Theory of Constraints. Schedule.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	CURVAS DO CUSTO VERSUS TEMPO DO PROJETO QUE MOSTRAM A MELHOR SOLUÇÃO ECONÔMICA	54
FIGURA 2	EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS SOBRE MÉTODOS HEURÍSTICOS	62
FIGURA 3	GRÁFICO DE GANTT PROPOSTO PELA TOC VERSUS CONVENCIONAL.....	87
FIGURA 4	MODELO DE CURVA DE APRENDIZAGEM	94
FIGURA 5	DELINEAMENTO GERAL DA PESQUISA	107
FIGURA 6	DELINEAMENTO DA PESQUISA – MAPEAMENTO DE ESCOPO E MODELAGEM DE REDE LÓGICA	109
FIGURA 7	DELINEAMENTO DA PESQUISA – FORMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DA TESE PARA NIVELAMENTO DE RECURSOS	111
FIGURA 8	PLANILHA BASE.....	144
FIGURA 9	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	145
FIGURA 10	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	145
FIGURA 11	MODELAGEM DE REDE LÓGICA	146
FIGURA 12	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	147
FIGURA 13	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	147
FIGURA 14	MODELAGEM DA REDE LÓGICA	148
FIGURA 15	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	149
FIGURA 16	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	149
FIGURA 17	MODELAGEM DA REDE LÓGICA	150
FIGURA 18	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	150
FIGURA 19	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	151
FIGURA 20	REDE LÓGICA – PAVIMENTO TIPO	152
FIGURA 21	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	153
FIGURA 22	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	153
FIGURA 23	DEFINIÇÃO DE REDE LÓGICA.....	154
FIGURA 24	DEFINIÇÃO DE ESCOPO – NÍVEL 2 (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE)	155
FIGURA 25	DEFINIÇÃO DE ESCOPO – NÍVEL 2	155
FIGURA 26	MODELAGEM DE REDE LÓGICA	156
FIGURA 27	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	157
FIGURA 28	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	157
FIGURA 29	PAVIMENTO TIPO – REDE LÓGICA	158
FIGURA 30	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	159
FIGURA 31	DEFINIÇÃO DO ESCOPO FINAL – NÍVEL 2.....	159
FIGURA 32	REESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO GARAGEM 1 E PLAYGROUND.....	159
FIGURA 33	MODELAGEM DA REDE LÓGICA	160
FIGURA 34	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	161
FIGURA 35	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	161
FIGURA 36	MODELAGEM DE REDE LÓGICA	162

FIGURA 37	DEFINIÇÃO DO ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE)– NÍVEL 2	163
FIGURA 38	DEFINIÇÃO DO ESCOPO FINAL – NÍVEL 2.....	163
FIGURA 39	MODELAGEM DE REDE LÓGICA	164
FIGURA 40	DEFINIÇÃO DO ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	165
FIGURA 41	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	165
FIGURA 42	DEFINIÇÃO DE REDE LÓGICA.....	166
FIGURA 43	DEFINIÇÃO DO ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	168
FIGURA 44	DEFINIÇÃO DO ESCOPO FINAL – NÍVEL 2.....	168
FIGURA 45	MODELAGEM DE REDE LÓGICA	169
FIGURA 46	DEFINIÇÃO DO ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	170
FIGURA 47	DEFINIÇÃO DO ESCOPO FINAL – NÍVEL 2.....	171
FIGURA 48	MODELAGEM DE REDE LÓGICA	171
FIGURA 49	DEFINIÇÃO DO ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	173
FIGURA 50	DEFINIÇÃO DO ESCOPO FINAL – NÍVEL 2.....	173
FIGURA 51	MODELAGEM DA REDE LÓGICA.....	174
FIGURA 52	DEFINIÇÃO DO ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	175
FIGURA 53	DEFINIÇÃO DO ESCOPO FINAL – NÍVEL 2.....	175
FIGURA 54	MODELAGEM DE REDE LÓGICA	176
FIGURA 55	DEFINIÇÃO DE ESCOPO (PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE BASE) – NÍVEL 2	177
FIGURA 56	DEFINIÇÃO DE ESCOPO FINAL – NÍVEL 2	177
FIGURA 57	MODELAGEM DA REDE LÓGICA.....	178
FIGURA 58	PROPOSTA DE WBS MODELO	180
FIGURA 59	PROPOSTA DE WBS MODELO	181
FIGURA 60	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 1).....	182
FIGURA 61	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 2).....	183
FIGURA 62	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 3).....	183
FIGURA 63	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 4).....	184
FIGURA 64	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 5).....	185
FIGURA 65	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 6).....	185
FIGURA 66	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 7).....	186
FIGURA 67	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 8).....	186
FIGURA 68	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO9).....	187
FIGURA 69	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 10).....	187
FIGURA 70	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 11).....	188
FIGURA 71	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 12).....	188
FIGURA 72	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 13).....	189
FIGURA 73	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 14).....	189
FIGURA 74	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 15).....	190
FIGURA 75	BIBLIOTECA BÁSICA REFERENCIAL (MODELO 16).....	190
FIGURA 76	REDE LÓGICA ELEMENTAR COM E SEM BUFFER (TESTE 01)	194

FIGURA 77	GRÁFICO DE GANTT INICIAL SEM E COM BUFFER DE PROJETO (TESTE 01)	195
FIGURA 78	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (TESTE 01)	196
FIGURA 79	REDE LÓGICA ELEMENTAR COM E SEM BUFFER (TESTE 02)	196
FIGURA 80	GRÁFICO DE GANTT INICIAL SEM E COM BUFFER DE PROJETO (TESTE 02)	197
FIGURA 81	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (TESTE 02)	198
FIGURA 82	REDE LÓGICA ELEMENTAR COM E SEM BUFFER (TESTE 03)	199
FIGURA 83	GRÁFICO DE GANTT INICIAL SEM E COM BUFFER DE PROJETO E DE ALIMENTAÇÃO (TESTE 03)	200
FIGURA 84	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (TESTE 03)	200
FIGURA 85	REDE LÓGICA ELEMENTAR COM E SEM BUFFER (TESTE 04)	201
FIGURA 86	GRÁFICO DE GANTT INICIAL SEM E COM BUFFER DE PROJETO E DE ALIMENTAÇÃO (TESTE 04)	202
FIGURA 87	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (TESTE 04)	203
FIGURA 88	REDE LÓGICA ELEMENTAR COM E SEM BUFFER (TESTE 05)	203
FIGURA 89	GRÁFICO DE GANTT INICIAL SEM E COM BUFFER DE PROJETO E DE ALIMENTAÇÃO (TESTE 05)	204
FIGURA 90	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (TESTE 05)	205
FIGURA 91	REDE LÓGICA ELEMENTAR COM E SEM BUFFER (TESTE 06)	206
FIGURA 92	GRÁFICO DE GANTT INICIAL SEM E COM BUFFER DE PROJETO (TESTE 06)	207
FIGURA 93	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (TESTE 06)	208
FIGURA 94	REDE LÓGICA ELEMENTAR COM E SEM BUFFER (TESTE 07)	208
FIGURA 95	GRÁFICO DE GANTT INICIAL SEM E COM BUFFER DE PROJETO (TESTE 07)	209
FIGURA 96	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (TESTE 07)	210
FIGURA 97	REDE LÓGICA (TESTES 1 A 6)	221
FIGURA 98	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 04: TESTES 1 A 6)	221
FIGURA 99	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 04: TESTES 1 A 6)	223
FIGURA 101	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 05: TESTES 7 A 12)	224
FIGURA 102	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 05: TESTES 7 A 12)	226
FIGURA 103	REDE LÓGICA (TESTES 13 A 18)	227
FIGURA 104	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 06: TESTES 13 A 18)	228
FIGURA 105	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 06: TESTES 13 A 18)	230
FIGURA 106	REDE LÓGICA (TESTES 19 A 24)	231
FIGURA 107	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 09: TESTES 19 A 24)	232
FIGURA 108	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 09: TESTES 19 A 24)	234
FIGURA 109	REDE LÓGICA (TESTES 25 A 30)	235
FIGURA 110	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 10: TESTES 25 A 30)	236
FIGURA 111	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 10: TESTES 25 A 30)	238
FIGURA 113	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 12: TESTES 31 A 36)	240
FIGURA 114	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 12: TESTES 31 A 36)	242
FIGURA 115	REDE LÓGICA (TESTES 37 A 42)	243

FIGURA 116	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 15: TESTES 37 A 42).....	244
FIGURA 117	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 15: TESTES 37 A 42).....	246
FIGURA 118	REDE LÓGICA (TESTES 43 A 48).....	247
FIGURA 119	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 16: TESTES 43 A 48).....	248
FIGURA 120	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 16: TESTES 43 A 48).....	251
FIGURA 121	REDE LÓGICA (TESTES 49 A 54).....	252
FIGURA 122	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 17: TESTES 49 A 54).....	253
FIGURA 123	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 17: TESTES 49)	256
FIGURA 124	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 17: TESTES 50 A 52).....	257
FIGURA 125	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 17: TESTES 53 E 54).....	258
FIGURA 126	REDE LÓGICA (TESTES 55 A 60).....	259
FIGURA 127	GRÁFICO DE GANTT INICIAL (REDE 18: TESTES 55 A 60).....	260
FIGURA 128	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 18: TESTES 55 A 60).....	263
FIGURA 129	REDE LÓGICA COM E SEM BUFFER (TESTES 01 A 05)	266
FIGURA 130	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 01: TESTES 01 A 05).....	268
FIGURA 131	REDE LÓGICA COM E SEM BUFFER (TESTES 06 A 10)	269
FIGURA 132	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 02: TESTES 06 A 10).....	271
FIGURA 133	REDE LÓGICA COM E SEM BUFFER (TESTES 11 A 15)	272
FIGURA 134	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 03: TESTES 11 A 15).....	274
FIGURA 135	REDE LÓGICA COM E SEM BUFFER (TESTES 16 A 20)	275
FIGURA 136	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 07: TESTES 16 A 20).....	277
FIGURA 137	REDE LÓGICA 8 COM E SEM BUFFER (TESTES 21 A 25)	278
FIGURA 138	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 08: TESTES 21 A 25).....	280
FIGURA 139	REDE LÓGICA 11 COM E SEM BUFFER (TESTES 26 A 30)	281
FIGURA 140	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 11: TESTES 26 AO 30).....	283
FIGURA 141	REDE LÓGICA COM E SEM BUFFER (TESTES 31 A 35)	284
FIGURA 142	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 13: TESTES 31 A 35).....	287
FIGURA 143	REDE LÓGICA COM E SEM BUFFER (TESTES 36 A 40)	288
FIGURA 144	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 14: TESTES 36 AO 40).....	291
FIGURA 145	REDE LÓGICA 19 COM E SEM BUFFER (TESTES 41 A 45)	292
FIGURA 146	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 19: TESTES 41 AO 45).....	298
FIGURA 147	REDE LÓGICA COM E SEM BUFFER (TESTES 46 A 50)	299
FIGURA 148	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 20: TESTES 46 AO 49).....	303
FIGURA 149	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 20: TESTE50).....	304
FIGURA 150	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 01: TESTES 01 A 03).....	308
FIGURA 151	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 02: TESTES 04 A 06).....	308
FIGURA 152	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 03: TESTES 07 A 09).....	309

FIGURA 153	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 04: TESTES 10 A 12).....	310
FIGURA 154	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 05: TESTES 13 A 15).....	310
FIGURA 155	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 06: TESTES 16 A 18).....	311
FIGURA 156	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 07: TESTES 19 A 21).....	312
FIGURA 157	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 08: TESTES 22 A 24).....	312
FIGURA 158	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 09: TESTES 25 A 27).....	313
FIGURA 159	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 10: TESTES 28 A 30).....	314
FIGURA 160	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 11: TESTES 31 A 33).....	315
FIGURA 161	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 12: TESTES 34 A 36).....	316
FIGURA 162	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 13: TESTES 37 A 39).....	317
FIGURA 163	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 14: TESTES 40 A 42).....	318
FIGURA 164	HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 14: TESTES 40 A 42)	319
FIGURA 165	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 15: TESTES 43 A 44).....	319
FIGURA 166	GRAFICO DE GANTT (TESTE 45) E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 15: TESTES 43 A 45).....	320
FIGURA 167	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 16: TESTES 46 A 48).....	321
FIGURA 168	HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 16: TESTES 46 A 48)	321
FIGURA 169	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 17: TESTES 49 A 51).....	322
FIGURA 170	HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 17: TESTES 49 A 51)	323
FIGURA 171	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 18: TESTES 52)	323
FIGURA 172	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 18: TESTES 53 A 54).....	324
FIGURA 173	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 19: TESTES 55 E 56).....	325
FIGURA 174	GRÁFICO DE GANTT E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 19: TESTES 57).....	326
FIGURA 175	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (REDE 20: TESTES 58 E 59).....	327
FIGURA 176	GRÁFICO DE GANTT(TESTE 60) E HISTOGRAMA APÓS O NIVELAMENTO (REDE 20: TESTES 58 A 60).....	328
FIGURA 177	ANÁLISE DOS 60 TESTES.....	329
FIGURA 178	FOTO DA OBRA RESIDENCIAL VERTICAL.....	333

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	FATORES CONDICIONAIS E INCONDICIONAIS QUE INFLUENCIAM NA PROGRAMAÇÃO (KÄHKÖNEN; ATKIN, 1993)	42
QUADRO 2	RECURSOS <i>VERSUS</i> CONDIÇÕES DE DISPONIBILIZAÇÃO (ADAPTADO DE SILVA, 1999).....	53
QUADRO 3	REGRAS HEURÍSTICAS ORIENTADA A PESQUISA COMPARATIVA	61
QUADRO 4	REGRAS HEURÍSTICAS PROPOSTAS POR MODER E PHILLIPS, 1970 (EXTENSA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO POR DAVIS E PATTERSON).....	64
QUADRO 5	RESULTADOS DOS TESTES DE DAVIS E PATTERSON (1975).....	64
QUADRO 6	REGRAS HEURÍSTICAS DO LEVANTAMENTO CONDUZIDO POR OLAGUÍBEL E GOERLICH (1989)	68
QUADRO 7	RESULTADOS OBTIDOS POR OLAGUÍBEL E GOERLICH (1989)	69
QUADRO 8	REGRAS AVALIADAS POR MORSE <i>ET AL.</i> (1996).....	70
QUADRO 9	RESULTADOS DA SOLUÇÃO DE 108 CARREGAMENTOS (MORSE <i>ET AL.</i> , 1996)....	70
QUADRO 10	QUADRO COMPARATIVOS DOS ALGORITIMOS HEURÍSTICOS	73
QUADRO 11	SINTESE DAS ABORDAGENS HEURÍSTICAS	74
QUADRO 12	TOPOLOGIA DE REDES ELEMENTARES (MCCAHERN, 1993).....	112
QUADRO 13	TOPOLOGIA DE REDES DO 2º GRUPO DE TESTES- CONFIGURAÇÃO 1 A 8.....	113
QUADRO 14	TOPOLOGIA DE REDES DO 2º GRUPO DE TESTES- CONFIGURAÇÃO 9 A 16.....	114
QUADRO 15	TOPOLOGIA DE REDES DO 2º GRUPO DE TESTES- CONFIGURAÇÃO 17 A 20.....	115
QUADRO 16	CLASSIFICAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS	138
QUADRO 17	RELAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS RESIDENCIAIS	139
QUADRO 18	EMPRESA, EMPREENDIMENTO, LOCALIZAÇÃO E PADRÃO DE ACABAMENTO.....	141
QUADRO 19	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO.....	191
QUADRO 20	PLANILHA DE CARREGAMENTO.....	192
QUADRO 21	ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE POR TIPO DE ESCOPO.....	192
QUADRO 22	DISPONIBILIZAÇÃO	192
QUADRO 47	OBJETIVO DE CADA TESTE	216
QUADRO 48	DADOS DE CARREGAMENTO.....	218
QUADRO 50	ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE POR TIPO DE ESCOPO.....	219
QUADRO 51	DISPONIBILIZAÇÃO	219
QUADRO 52	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO.....	220
QUADRO 53	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 1 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	222
QUADRO 54	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 2 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO)	222
QUADRO 55	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 3 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO)	222
QUADRO 56	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 4 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS).....	222

QUADRO 57	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 5 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	222
QUADRO 58	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 6 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	223
QUADRO 60	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 7 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	225
QUADRO 61	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 8 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO).....	225
QUADRO 62	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 9 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO).....	225
QUADRO 63	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 10 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS).....	225
QUADRO 64	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 11 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	226
QUADRO 65	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 12 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	226
QUADRO 66	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	227
QUADRO 67	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 13 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	228
QUADRO 68	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 14 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO).....	228
QUADRO 69	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 15 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO).....	228
QUADRO 70	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 16 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS).....	229
QUADRO 71	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 17 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	229
QUADRO 72	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 18 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	229
QUADRO 73	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	231
QUADRO 74	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 19 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	232
QUADRO 75	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 20 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO).....	232
QUADRO 76	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 21 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO).....	233

QUADRO 77	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 22 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS).....	233
QUADRO 78	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 23 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	233
QUADRO 79	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 24 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	233
QUADRO 80	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	235
QUADRO 81	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 25 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	236
QUADRO 82	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 26 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO)	236
QUADRO 83	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 27 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO)	236
QUADRO 84	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 28 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS)	237
QUADRO 85	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 29 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	237
QUADRO 86	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 30 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	237
QUADRO 87	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	239
QUADRO 88	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 31 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	240
QUADRO 89	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 32 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO)	240
QUADRO 90	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 33 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO)	240
QUADRO 91	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 34 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS)	241
QUADRO 92	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 35 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	241
QUADRO 93	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 36 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	241
QUADRO 94	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	243

QUADRO 95	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 37 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	244
QUADRO 96	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 38 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO)	244
QUADRO 97	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 39 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO)	245
QUADRO 98	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 40 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS)	245
QUADRO 99	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 41 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	245
QUADRO 100	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 42 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	246
QUADRO 101	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	247
QUADRO 102	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 43 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	248
QUADRO 103	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 44 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO)	249
QUADRO 104	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 45 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO)	249
QUADRO 105	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 46 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS)	249
QUADRO 106	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 47 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	250
QUADRO 107	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 48 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	250
QUADRO 108	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	252
QUADRO 109	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 49 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	253
QUADRO 110	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 50 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO)	254
QUADRO 111	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 51 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO)	254
QUADRO 112	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 52 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS)	255
QUADRO 113	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 53 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	255

QUADRO 114	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 54 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	256
QUADRO 115	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	259
QUADRO 116	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 55 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A DURAÇÃO).....	260
QUADRO 117	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 56 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR DURAÇÃO)	261
QUADRO 118	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 57 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR DURAÇÃO)	261
QUADRO 119	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 58 (RATEIO DA FOLGA PROPORCIONAL A QUANTIDADE DE RECURSOS)	261
QUADRO 120	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 59 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MAIOR RECURSO).....	262
QUADRO 121	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 60 (RATEIO DA FOLGA NA ATIVIDADE DE MENOR RECURSO).....	262
QUADRO 122	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04 (UNIDADE DE RECURSO <i>VERSUS</i> UNIDADE DE TEMPO).....	264
QUADRO 123	RESULTADOS DE NIVELAMENTO DO 1º CONJUNTO	265
QUADRO 124	PICO NA DEMANDA DE RECURSO	266
QUADRO 125	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 01 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	267
QUADRO 126	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 02 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	267
QUADRO 127	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 03(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	267
QUADRO 128	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 04(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	268
QUADRO 129	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 05(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	268
QUADRO 130	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01 E R03.....	269
QUADRO 131	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 06 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	270
QUADRO 132	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 07 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	270
QUADRO 133	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 08 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	270

QUADRO 134	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 09 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	270
QUADRO 135	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 10 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	270
QUADRO 136	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R03 E R04	271
QUADRO 137	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 11 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	272
QUADRO 138	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 12 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	273
QUADRO 139	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 13(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	273
QUADRO 140	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 14(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	273
QUADRO 141	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 15(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	273
QUADRO 142	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R03 E R04	274
QUADRO 143	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 16 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	275
QUADRO 144	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 17 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	276
QUADRO 145	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 18(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	276
QUADRO 146	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 19(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	276
QUADRO 147	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 20(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	276
QUADRO 148	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R03 E R04	277
QUADRO 149	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 21 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	278
QUADRO 150	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 22 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	279
QUADRO 151	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 23(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	279
QUADRO 152	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 24(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	279
QUADRO 153	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 25(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	279

QUADRO 154	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04.....	280
QUADRO 155	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 26 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	281
QUADRO 156	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 27 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	282
QUADRO 157	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 28(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	282
QUADRO 158	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 29(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	282
QUADRO 159	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 30(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	282
QUADRO 160	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04.....	284
QUADRO 161	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 31 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	285
QUADRO 162	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 32 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	285
QUADRO 163	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 33(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	286
QUADRO 164	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 34(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	286
QUADRO 165	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 35(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	286
QUADRO 166	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04.....	288
QUADRO 167	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 36 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	289
QUADRO 168	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 37 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	289
QUADRO 169	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 38(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	290
QUADRO 170	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 39(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	290
QUADRO 171	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 40(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	290
QUADRO 172	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04.....	292
QUADRO 173	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 41 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	293

QUADRO 174	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 42 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	294
QUADRO 175	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 43(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	295
QUADRO 176	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 44(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	296
QUADRO 177	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 45(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	297
QUADRO 178	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04.....	299
QUADRO 179	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 46 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 10%)	300
QUADRO 180	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 47 (<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 20%)	301
QUADRO 181	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 48(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 30%)	301
QUADRO 182	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 49(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 40%)	302
QUADRO 183	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – TESTE 50(<i>BUFFER</i> DE ALIMENTAÇÃO DE 50%)	302
QUADRO 184	HISTOGRAMA INICIAL E APÓS O NIVELAMENTO COM A DEMANDA PROGRAMADA PARA OS RECURSOS R01, R02, R03 E R04.....	305
QUADRO 185	RESULTADOS DE NIVELAMENTO DO 2º CONJUNTO	306
QUADRO 186	PICOS DO 2º CONJUNTO.....	307
QUADRO 187	RESULTADOS COMPARATIVO.....	330
QUADRO 188	ANÁLISE DOS PICOS DA DEMANDA DE RECURSO	330
QUADRO 189	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 1 A 43	334
QUADRO 190	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 44 A 91	335
QUADRO 191	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 92 A 129	336
QUADRO 192	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 130 A 168	337
QUADRO 193	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 169 A 206	338
QUADRO 194	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 207 A 249	339
QUADRO 195	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 207 A 287	340
QUADRO 196	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 288 A 322	341
QUADRO 197	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 323 A 361	342
QUADRO 198	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 362 A 401	343
QUADRO 199	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 402 A 437	344
QUADRO 200	ESTRUTURA DO CARREGAMENTO – ATIVIDADE 438 A 473	345
QUADRO 201	DISPONIBILIZAÇÃO.....	346
QUADRO 202	REDE LÓGICA ADOTADA – 1º PAVIMENTO E IMPLATAÇÃO.....	347

QUADRO 203	REDE LÓGICA ADOTADA – 2º PAVIMENTO	348
QUADRO 204	REDE LÓGICA ADOTADA – 3º PAVIMENTO	349
QUADRO 205	REDE LÓGICA ADOTADA – 4º PAVIMENTO	350
QUADRO 206	REDE LÓGICA ADOTADA – 5º PAVIMENTO E REVESTIMENTO EXTERNO.....	351
QUADRO 207	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO- ATIVIDADE 1 A 54	353
QUADRO 208	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO – ATIVIDADE 56 A 103.....	354
QUADRO 209	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO- ATIVIDADE 105 A 153	355
QUADRO 210	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO- ATIVIDADE 154 A 205	356
QUADRO 211	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO- ATIVIDADE 205 A 252	357
QUADRO 212	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO- ATIVIDADE 253 A 303	358
QUADRO 213	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO- ATIVIDADE 305 A 355	359
QUADRO 214	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO- ATIVIDADE 357 A 413	360
QUADRO 215	ETAPAS PARA O NIVELAMENTO- ATIVIDADE 416 A 473	361
QUADRO 216	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (ATIVIDADE 1 A 129)	362
QUADRO 217	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (ATIVIDADE 130 A 316)	363
QUADRO 218	GRÁFICO DE GANTT APÓS O NIVELAMENTO (ATIVIDADE 256 A 473)	364

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF - Avanço Físico

ALAP – As Late As Possible

ARA - Árvore da Realidade Atual

ARF - Árvore da Realidade Futura

BA – *Buffer* de Alimentação

BM – *Buffer* Management

BP – *Buffer* de Projeto

BR – *Buffer* de Recurso

CCPM - Critical Chain Project Management

CCR- Capacity Constrained Resources

CCS - Critical Chain Schedule

CPM – Critical Path Method

DDN - Diagrama de Dispersão de Nuvem

EAP- Estrutura Analítica do Projeto

FL - Folga livre

FT - Folga Total

JIT - Just in Time

OPT - Optimized Production Technology

PCR - Processos de Raciocínio

PERT- Program Evaluation and review technique

PMI – Project Management Institute

PP – Projeção de Prazo

SfB - System for Building

TOC – Theory of Constraints

TQM - Total Quality Management

WBS – Work Breakdown Structure

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	29
1.1	JUSTIFICATIVA	32
1.2	OBJETIVO.....	34
1.3	METODOLOGIA DE PESQUISA	34
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	36
2.1	MÉTODO PARA MAPEAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE ESCOPO.....	36
2.2	METODOLOGIA DE MODELAGEM DA REDE LÓGICA	38
2.2.1	Determinação da sequência das atividades individuais dentro das etapas construtivas	42
2.3	ESTIMATIVA DAS DURAÇÕES DAS ATIVIDADES	44
2.4	MÉTODOS DE NIVELAMENTO DE RECURSOS	46
2.4.1	Definindo recursos.....	51
2.4.2	Compressão e descompressão da rede.....	53
2.4.3	Restrições no cálculo da compressão	57
2.4.4	Cálculo de descompressão das redes	57
2.4.5	Otimização de soluções não ótimas: alternando descompressão e compressão	58
2.4.6	Os métodos de nivelamento de recursos existentes	60
2.5	TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....	75
2.5.1	A Teoria das Restrições.....	75
2.5.2	Definindo restrição	79
2.5.3	Processo decisório da Teoria das Restrições	81
2.5.4	Processo de raciocínio da Teoria das Restrições	82
2.5.5	O método <i>CCPM (Critical Chain Project Management)</i>	84
2.5.6	Análise Crítica da Teoria das Restrições	93
2.6	SÍNTESE DA APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES	99
2.6.1	Estimativa da duração das atividades.	101
2.6.2	Alocação e dimensionamento dos <i>buffers</i> topologia da rede.....	101
2.6.3	Identificação do gargalo e balanceamento de capacidade	102
2.6.4	Ganho	104
2.6.5	Priorizando os recursos da Cadeia crítica.....	104
3	METODOLOGIA PARA PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DESTA TESE.....	106
3.1	PROCESSO PARA MAPEAMENTO DE ESCOPO E MODELAGEM DE REDE LÓGICA	108
3.2	APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC) NO NIVELAMENTO DE RECURSOS.....	110

4	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS E PROPOSIÇÃO DO MÉTODO DE NIVELAMENTO DE RECURSOS PARA PLANEJAMENTO OPERACIONAL	118
4.1	REQUISITOS MÍNIMOS PARA MODELAGEM DE REDES LÓGICAS CAPAZES DE SUPORTAR SOLUÇÕES DE NIVELAMENTO DE RECURSOS A PARTIR DO EMPREGO DA TOC.....	118
4.2	REGRAS HEURÍSTICAS PARA NIVELAMENTO DE RECURSOS A PARTIR DE PRINCÍPIOS DA TOC	119
4.3	PROPOSIÇÃO DO MÉTODO DE NIVELAMENTO DE RECURSOS A PARTIR DOS PRINCÍPIOS DA TOC PARA PROGRAMAÇÃO OPERACIONAL.....	123
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	125
5.1	CONCLUSÕES	125
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA NOVOS ESTUDOS	126
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
	APÊNDICE 1 – PROTOCOLO DE ESTUDO DE CASO (MAPEAMENTO DE ESCOPO E MODELAGEM DE REDE LÓGICA)	137
	APÊNDICE 2 – RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO (MAPEAMENTO DE ESCOPO E MODELAGEM DE REDE LÓGICA)	145
	APÊNDICE 3 - MODELO DE WBS PROPOSTO	180
	APÊNDICE 4 – BIBLIOTECA DE REDES LÓGICAS ELEMENTARES	182
	APÊNDICE 5 – APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA TOC NA PROGRAMAÇÃO DE REDES LÓGICAS ELEMENTARES	191
	APÊNDICE 6 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS REGRAS HEURISTICAS EM 20 REDES LÓGICAS	214
	APÊNDICE 7 – ESTUDO DE CASO PARA DEMONSTRAÇÃO DA APLICABILIDADE	332

1 INTRODUÇÃO

O planejamento cumpre um papel fundamental no gerenciamento dos empreendimentos. Seu papel pode variar dependendo da filosofia e necessidade de cada organização, mas o planejamento é sempre um ingrediente essencial para a função gerencial.

Segundo Assumpção (1996), na maioria dos casos os objetivos do planejamento não estão necessariamente no âmbito da produção, mas quase sempre voltados para busca de estratégias que viabilizem ou que potencializem os resultados do empreendimento. Convém destacar o enfoque principal do controle na Construção Civil. Por se tratar de produtos com ciclos longos, não seriados, onde os desvios não podem ser corrigidos, mas sim compensados.

Rocha Lima Jr. (1994, p.14) justifica que: *“Isto se dá no setor, porque, quando desvios são detectados, já estão rigidamente presos ao produto ou ao processo, não havendo meios para reconsiderar procedimentos, anulá-los, voltar atrás e refazê-los de forma alternativa. O que fica possível é praticar ações futuras que produzem efeitos positivos, que venham a compensar perdas já ocorridas”*.

Assim o planejamento deverá conduzir a implementação de alternativas de menor impacto no custo, prazo e qualidade do produto.

Ao implementar o processo de planejamento a empresa tem como objetivo visualizar cenários futuros que subsidiem a tomada de decisão, e, independente da técnica utilizada, da capacitação dos seus recursos humanos (mão-de-obra própria ou externa), e das ferramentas de suporte, as etapas do processo de elaboração seguem o seguinte padrão:

- identificação e definição do escopo;
- definição de ciclos de implantação (durações), suas fases e etapas;
- definição da modelagem de redes lógicas contemplando: sequência lógica e restrições tecnológicas do processo produtivo selecionado;
- alocação e nivelamento de recursos.

Ao analisar o primeiro item – **Escopo** – partiu-se do princípio que cada projeto é único e tem ciclo de vida definido (PMI, 2006). Dada a esta singularidade, o escopo não se repete na sua totalidade, mas se estiver tratando da mesma especificidade de empreendimentos alguns serviços acabam se repetindo e ao elaborar um planejamento, apesar de existir dificuldade em definir qual nível de detalhamento que os planos devem ter, pode-se utilizar uma estrutura inicial, para realizar esse detalhamento. Por isso, identificou-se como um ponto importante a ser abordada nesta tese, a proposição de critérios

referenciais para estruturação do escopo, levando em consideração a bibliografia e os estudos de casos a serem realizados.

Ao analisar o segundo item – **Ciclos de implantação** – vale destacar que a sua definição deve ser realizada em duas etapas: a) arbitragem de partida para formatação do modelo de suporte ao planejamento; e, b) avaliação/refinamento de sua adequabilidade. Mas, na maioria dos casos a segunda etapa é, freqüentemente, esquecida e a eficácia do processo de planejamento fica subordinada a maior ou menor experiência do seu elaborador. Isto faz com que o sistema de planejamento não consiga cumprir satisfatoriamente seu papel principal que, segundo Assumpção (1996) é gerar e manusear informações, com qualidade e rapidez, nos diferentes níveis hierárquicos, no âmbito da empresa e do empreendimento.

Ao analisar o terceiro item - **Modelagem de redes lógicas** – observa-se que o seqüenciamento das atividades é diretamente relacionado ao escopo, sofrendo influência dos processos produtivos, das soluções tecnológicas utilizadas, da quantidade de recursos disponíveis, e da experiência de quem os executa. Assim, serão obtidos dos estudos de casos modelos referenciais para formatação de redes lógicas que serão aplicados na elaboração do planejamento.

E, finalmente, ao analisar o quarto e último item – **Alocação e Nivelamento de Recursos** – identificou-se que, na elaboração das programações, as relações entre as durações das atividades e as respectivas alocações de recursos são na maioria das vezes tratadas de forma isolada e sem refinamento posterior que considere políticas de alocação de recursos articuladas para o empreendimento como um todo, além disso, as regras heurísticas existentes são de difícil aplicação.

Os métodos de programação até aqui apresentados, tratam o problema do nivelamento de uma forma determinística. Entretanto, na prática de mercado, os processos de programação envolvem o tratamento de informações, na maioria das vezes, formuladas de modo vago, seja nas estimativas das durações das atividades, nas estimativas das necessidades ou produtividades dos recursos a serem envolvidos e das condições que representam os próprios processos construtivos.

Na Construção Civil, a data de conclusão da implantação é um severo limitante da programação. As programações elaboradas, nesse setor, são apoiadas em estimativas de produtividade e sujeitas a freqüentes desvios quando de sua aplicação, não se estabelecendo uma correlação entre a produtividade e os recursos.

Outro aspecto relevante observado na prática da programação de prazos é a grande ênfase dada à programação formal do tempo, em detrimento da programação dos recursos e métodos. Cronogramas são elaborados para todo o horizonte de construção, em geral com base em técnicas de programação

como PERT¹ e CPM², as quais observam principalmente restrições tecnológicas e, somente de uma maneira mais tímida, a existência de interferências entre as tarefas e a incerteza na disponibilização de recursos (LAUFER; TUCKER, 1987).

Conforme Silva (1999), a aplicação de técnicas de programação a modelos suportados por redes lógicas implica no emprego de algoritmos para cálculo das datas previstas simuladas para execução das atividades associadas ao escopo do empreendimento.

Estes algoritmos, em primeira instância, independente do volume, perfil ou disponibilidade dos recursos, a menos que alguma estratégia específica tenha sido previamente considerada quando da formulação da rede lógica, que modela a execução do empreendimento... este aspecto é conhecido como a premissa de que: os empreendimentos na fase de implantação (produção) possuem capacidade infinita de recurso (SILVA, 1999, p. 36).

Como este mesmo autor comenta, esta situação origina expectativas de prazo irreais ou inexecutáveis, no contexto de uma dada obra. Há que se considerar desde antes da formatação de uma rede lógica, as restrições de recursos características de cada empreendimento em particular.

Ao analisar os métodos heurísticos para nivelamento dos recursos identificou-se que estes vêm sendo estudados desde a década de 60 e apresentam até o momento dificuldade de aplicação, além de grande complexidade.

Já a TOC é um tema polêmico, criticado nas publicações do meio acadêmico como: *Journal of Construction Engineering and Management*; *Journal of Operational Research Society*, e *Project Management Journal*, além de outros. Os autores sempre iniciam suas análises em qualquer artigo dizendo não ser nem contra nem a favor, mas o tema se mostra bastante relevante, visto que todo ano diversos artigos são publicados (CABANIS-BREWIN, 1999; GLOBERSON, 2000; LEACH, 1999; MAYLOR, 2000; PATRICK, 1999; PINTO, 1999; RAND, 2000; UMBLE; UMBLE, 2000; HERROELEN; LEUS, 2000; HERROELEN *et al.*, 2002, RAZ *et al.*, 2003, TRIETSCH, 2005).

Diante do exposto, essa tese propõe um método de nivelamento de recursos a partir de princípios da Teoria das Restrições, considerando suas limitações de disponibilidade seja quanto ao tempo ou às quantidades envolvidas.

O estudo deste tema e sua relevância levaram à necessidade de posicionar essa tese em um determinado nível de planejamento. Segundo Rocha Lima Jr (1990a) os níveis hierárquicos do planejamento podem ser divididos, segundo suas funções em:

¹ *Program Evaluation and Review Technique*

² *Critical Path Method*

- Estratégico - cuja função é manipular os dados e gerar informações ao nível da empresa, considerando sua interface com o mercado, analisando alternativas de investimento para atingir seus objetivos de mais longo prazo;
- Tático – subsidia decisões que levam à escolha dos empreendimentos a serem implementados;
- Operacional – discute na sua hierarquia superior estratégias e metas de produção e na inferior é responsável pelo planejamento das operações ou ordens de produção;

Os planos desenvolvidos para os níveis de **Planejamento Estratégico e Tático** trabalham com variáveis de tempo compatíveis com as informações disponíveis para estes níveis de decisão. As variáveis são parametrizadas estimando as durações e, neste momento, não necessitam dos recursos utilizados e das produtividades praticadas. Neste sentido, a pesquisa proposta será desenvolvida no âmbito do **Planejamento Operacional**, onde as relações entre quantidades a executar, durações, produtividades, fluxo do processo e gargalos da produção podem ser estudados e inter-relacionados.

Como processo gerencial, o planejamento está relacionado à meta de melhorar a eficácia e eficiência gerencial. Apesar de sua importância, existe informações sobre seu mau desempenho em empresas de construção, sendo identificado um grande número de problemas durante a sua elaboração e implantação (LAUFER; TUCKER, 1987; BALLARD, 2000; BERNARDES, 2001).

Com isso, conforme Rocha Lima Jr. (1990b), a dinâmica de evolução na aplicação de sistemas de planejamento no setor da construção civil, seja para a organização de empreendimentos, como também no plano das decisões de caráter estratégico e tático, ao nível da empresa, é um seguro indicador que as preocupações dos agentes do setor estão andando em um eixo antes totalmente voltado para as técnicas de construção e hoje já prestando a ênfase devida ao tema.

1.1 JUSTIFICATIVA

Algumas pesquisas indicaram avanços no processo de gerenciamento de construção civil (HEINECK, 1984; ASSUMPÇÃO, 1996; SCHIMITT, 1998; FORMOSO *et al.*, 1998 e 1999; SILVA, 1993 e 1999; BERNARDES, 2001), seja devido ao desenvolvimento de base conceitual ou da implementação de novas técnicas, métodos e ferramentas.

Vários modelos de planejamento têm evidenciado problemas no controle de obras, principalmente por considerarem, índices de produtividade baseados em manuais de orçamentação como o TCPO (2003) e a experiência dos gerentes de obra (AKKARI, 2003), para definir: as durações; os recursos (mão-de-obra, equipamento, dinheiro); a dependência das atividades (plano de ataque e seqüenciamento); o *WBS*³; e por possuírem métodos de nivelamento de recursos de difícil implementação.

³WBS – *work breakdown structure*

Os planejamentos elaborados a partir desses procedimentos possuem um alto grau de incerteza, empirismo e variação, dependendo de quem os elaborem tornando-se ineficazes ou inexecutáveis.

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo propor um método de nivelamento de recursos para o nível de programação operacional composto de:

- regras heurísticas para nivelamento de recursos a partir dos princípios da TOC;
- modelo de *WBS* a ser desenvolvido; e,
- biblioteca básica referencial de redes lógicas elementares⁴.

O método de nivelamento e alocação de recursos é formulado a partir de regras heurísticas, cujo desempenho é objeto de avaliações prévias. Uma regra heurística consiste na aplicação de um processo, o qual deve ser simples, fácil de usar e capaz de reduzir o esforço necessário para se atingir uma determinada solução (MODER *et al.*, 1995).

Este estudo se justifica na medida em que, apesar de apresentarem resultados positivos na sua aplicação, os métodos de nivelamento, como por exemplo, (BURGES; KILLBREW, 1962; DAVIS; PATTERSON, 1975; WIEST; LEVY, 1977; HARRIS, 1978; ANTIL; WOODHEAD, 1982; MODER *et al.*, 1983; OLAGUÍBEL; GOBERLICH, 1989; MORSE *et al.*, 1996; HALPIN; WOODHEAD, 1998; LOTERAPONG *apud* SILVA, 1999) e os modelos de planejamento disponíveis e estudos correlatos nesta área do conhecimento, como, por exemplo: (BERNARDES, 2001; BALLARD, 2000; FORMOSO *et al.*, 1998; SCHMITT, 1999; ASSUMPÇÃO, 1996; SILVA, 1993 e HEINECK, 1984) apresentam uma lacuna para estudos quanto a estes aspectos.

Mais que isto, abordar a interface entre o planejamento operacional e o da produção de um empreendimento, **com ênfase no primeiro**, passa por um maior entendimento do processo de produção, com suas dificuldades e oportunidades. Tal domínio acredita-se, é fundamental para tornar o planejamento um eficaz instrumento que permita subsidiar a tomada de decisões. Portanto, integrar às discussões do planejamento em uma estreita avaliação do processo de produção torna-se essencial.

Dentro desse contexto, esta tese está inserida nos trabalhos relativos ao Departamento de Construção Civil e Urbana PCC-EPUSP: visando utilizar estudos sobre técnicas aplicáveis na estimativa de durações, alocação de recursos e dependências das atividades; para propor um método de nivelamento, objetivo, simples e passíveis de aplicação imediata, que proporcione uma melhor eficácia na formulação do planejamento operacional utilizando os princípios da Teoria das Restrições.

⁴ Entende-se como elementar uma rede de pequeno porte que permita ser empregada na articulação de redes de médio ou grande porte.

1.2 OBJETIVO

Proposição de um método de nivelamento de recursos a partir dos princípios da Teoria das Restrições para planejamento operacional de edifícios residenciais verticais.

1.3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa envolve sete grandes etapas: 1ª Etapa - **pesquisa bibliográfica** sobre rede lógica, estruturação do trabalho, princípios da TOC e métodos para o nivelamento de recursos; 2ª Etapa - **estudos de caso exploratório** visando obter um modelo de *WBS* e uma biblioteca de redes lógicas; 3ª Etapa - **testes exploratórios** em redes lógicas elementares visando identificar a aplicação dos princípios da Teoria das Restrições para compor regras heurísticas de nivelamento de recursos; 4ª Etapa - **calibração das regras heurísticas que compõem o método proposto**, a partir dos testes visando obter as melhores regras para o dimensionamento de *buffer* e o rateio da folga no relaxamento da cadeia não-crítica para o nivelamento de recursos; 5ª Etapa - **análise de desempenho** do método, visando realizar uma comparação da regra heurística proposta nesta tese com as melhores regras existentes; 6ª Etapa- **demonstração da aplicabilidade** em um estudo de caso final, visando testar o método aqui proposto; 7ª Etapa - **proposição do método de nivelamento de recursos** para planejamento operacional.

A revisão bibliográfica aborda os seguintes tópicos: métodos heurísticos de nivelamento de recursos; estimativas de duração, estruturação do trabalho e os conceitos da Teoria das Restrições.

Os estudos de caso exploratórios são desenvolvidos a partir das programações operacionais de um lote de dezesseis empreendimentos já concluídos, visando analisar criticamente o seqüenciamento das atividades e a estruturação do trabalho.

A terceira etapa é iniciada com a aplicação do processo desenvolvido por McChon (1993) para avaliar os princípios da TOC, envolvendo uma seqüência de testes a partir de um conjunto de redes lógicas elementares.

A seguir com base nos estudos de caso conceituais, são realizados 110 testes em 20 redes de médio porte cujas topologias foram propostas por: Wiest e Levy (1977); Harris (1978); Ahuja, (1984) e Shanmuganayagam, (1989), visando obter a melhor regra para dimensionamento dos *buffers* e relaxação de cadeias de atividades no nivelamento e alocação de recursos.

Na quinta etapa serão feitos 60 testes nas mesmas 20 redes lógicas propostas anteriormente, com o objetivo de comparar as regras heurísticas propostas nesta Tese com as mais eficientes encontradas nos trabalhos de Davis e Patterson (1975) e Morse *et al.* (1996).

A sexta etapa, com base nas etapas anteriores, visa realizar um estudo de caso em uma rede de grande porte, partindo da montagem do escopo com o uso do *WBS* modelo, utilizando uma rede lógica da

biblioteca elementar e aplicando regras heurísticas para nivelamento e alocação de recursos a partir dos princípios da TOC obtidas na quarta etapa foi validado o método.

E finalmente, na sétima e última etapa será proposto o método de nivelamento de recursos a partir dos princípios da TOC para planejamento operacional contendo um *WBS* modelo, uma biblioteca de redes lógicas elementares e regras heurísticas para nivelamento de recursos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será descrito o método para mapeamento e identificação do escopo de acordo com os critérios do PMI (2006); critérios para modelagem de rede lógica segundo estudos desenvolvidos por Kähkönen (1993); critérios para definição de duração e recurso segundo o PMI (2006); os métodos heurísticos para nivelamento de recursos e os conceitos da Teoria das Restrições relevantes ao cumprimento do objetivo principal desta tese. Pretende-se, assim, respaldar teoricamente uma base conceitual para posteriormente ser utilizada no desenvolver dos estudos de caso e testes.

2.1 MÉTODO PARA MAPEAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE ESCOPO

Um passo inicial para a elaboração de um planejamento é desdobrar um projeto em um número independente de partes ou de componentes reconhecíveis e estabelecer a ordem ou seqüência na qual serão executados (HALPIN; WOODHEAD, 1998).

Gerenciamentos de projetos bem sucedidos usam técnicas de planejamento para definir e detalhar os objetivos do empreendimento mantendo seu efetivo gerenciamento. O *WBS (Work Breakdown Structure)* fornece a base de definição do trabalho, com isso relaciona os objetivos do empreendimento ao seu escopo e estabelece a estrutura gerencial do início até a conclusão do projeto (PMI, 2006).

Os modelos gerenciais de empreendimentos têm focado no planejamento global definindo eventos, modelagem da rede, número de pacotes de trabalho, na fase de planejamento e controle inicial (HALPIN; WOODHEAD, 1998). Isso faz com que a delegação de responsabilidades pelo processo de programação chegue a níveis muito distantes do cenário no qual se conduz ou se deveria conduzir o planejamento operacional. A consequência disto é a ocorrência de processos de programação distanciados ou inadequados às necessidades do empreendimento.

Devem-se buscar processos de programação que sejam aptos a lidar com as múltiplas interfaces gerenciais, em particular com a incerteza inerente ao processo de transmissão de informações. Essa incerteza, principalmente quanto às estimativas de datas e durações de atividades, é eventualmente, decorrente da ausência de uma programação de recursos (Silva, 1999).

À medida que se preconiza que a programação da implantação no nível operacional seja conduzida por aquele que desempenha o papel de gerenciador, este deve dispor de meios que lhe permitam lidar com as condições de incertezas.

Para definir a estrutura do trabalho, base para as demais tarefas na etapa de elaboração do planejamento de um empreendimento, que tem como produto uma lista de atividades a serem executadas, existem várias abordagens. Esse trabalho utilizará a proposição do PMI escrita a seguir.

Segundo PMI (2006) a definição das atividades envolve identificar e documentar as atividades específicas que devem ser realizadas com a finalidade de produzir os diversos níveis de subprodutos identificados no escopo de empreendimento. Implícito neste processo está a necessidade de definir as atividades voltadas para o alcance dos objetivos do projeto.

Ele ressalta alguns processos de trabalho e produto do planejamento necessário para definição da atividade como:

- **Work Breakdown Structure (WBS)** – quebra do empreendimento em partes controláveis e executável é a principal entrada para a definição da atividade.
- **Declaração do escopo** - a justificativa e os objetivos do projeto contidos na declaração do escopo devem ser considerados, explicitamente, durante a definição das atividades.
- **Informações históricas** – a definição de que atividades foram realmente requeridas em projetos anteriores semelhantes, devem ser consideradas na definição das atividades do projeto.
- **Restrições** - fatores que limitarão as opções da equipe de gerência do projeto.
- **Premissas** - fatores que, para os propósitos do planejamento, serão consideradas como verdadeiros, reais ou certos. As premissas geralmente envolvem certo grau de risco e normalmente será uma saída da identificação do risco.

Algumas ferramentas devem ser utilizadas para essa definição, como:

- **Decomposição** - envolve subdividir os elementos do projeto em componentes menores e mais manejáveis com a finalidade de fornecer melhor controle do gerenciamento. A principal diferença entre a decomposição aqui descrita e a do detalhamento do escopo é que nesta as saídas são descritas como atividades (ações) em vez de subprodutos (itens tangíveis). Em algumas áreas de aplicação, o *WBS* e a lista de atividades são desenvolvidos paralelamente.
- **Modelos (Templates)** - uma lista de atividades ou uma parte de uma lista de atividades de projetos anteriores é frequentemente útil como modelo ou referência para um novo projeto. Adicionalmente, a lista de atividades de um elemento do *WBS* de um projeto em andamento pode ser utilizada como modelo para outro, com elementos similares da EAP.

Como resultado do mapeamento das atividades a ser executado o PMI (2006) descreve:

- **Lista de atividades** - deve incluir todas as atividades que serão realizadas no projeto. Deve ser organizada como uma extensão do *WBS* para assegurar que esteja completa e que não inclui qualquer atividade que não seja requerida como parte do escopo do projeto. Assim como no *WBS*, a lista de atividades deve incluir descrições de cada atividade para garantir que os membros da equipe do projeto entenderão como o trabalho será feito.

- **Detalhes de suporte** - são referentes à lista de atividades que devem ser documentados e organizados de forma a facilitar seu uso por outros processos da gerência do projeto. Os detalhes de suporte devem sempre incluir a documentação de todas as premissas e restrições identificadas, na qual a quantidade de detalhes adicionais varia de acordo com a área de aplicação.
- **Atualizações no WBS** - ao utilizar o *WBS* para identificar quais atividades serão necessárias, a equipe do projeto pode identificar a falta de algum subproduto ou pode ainda determinar que a descrição dos subprodutos precise ser clareada ou corrigida. Qualquer uma destas atualizações deve ser refletida no *WBS* e na respectiva documentação, como, por exemplo, a estimativa dos custos. Estas atualizações são muitas vezes chamadas de refinamentos (*refinements*) e ocorrem mais freqüentemente quando o projeto envolve uma tecnologia nova ou em desenvolvimento.

Deve ser notado que qualquer *WBS* deve ter foco: no processo, no sistema, na estrutura, o seqüenciamento do trabalho não é o objetivo primário.

Como exemplo de proposição de *WBS* para Construção Civil pode ser citados os modelos descritos no: CIB Report (1985); Assumpção (1996) e PMI (2001), voltados para planos estratégico-táticos. Os trabalhos de Heineck (1984) e Bernardes (2001), voltados para planos tático-operacionais, não possuem exemplos de *WBS*.

2.2 METODOLOGIA DE MODELAGEM DA REDE LÓGICA

Segundo Halpin e Woodhead (1998), o primeiro passo para elaborar um planejamento é a quebra do projeto em atividades necessárias para sua conclusão, independente da ordem de precedência, mas o segundo passo, assim que a lista de atividades estiver pronta, é determinar a relação entre essas atividades, a fim de modelar uma rede lógica que expresse a inter-relação das atividades e respectivo seqüenciamento a ser observados para que uma determinada estratégia construtiva seja implementada.

A modelagem da rede lógica a partir das dependências das atividades é usada para representar uma importante parte da lógica da programação dos empreendimentos da construção, por exemplo, estratégia geral de construção, seqüenciamento das atividades, e suas ligações. Algumas pesquisas investigaram a existência dessas diferentes dependências dentro do canteiro (KÄHKÖNEN; ATKIN, 1993; MCCALLUM, 1984) e tiveram como produto os fatores condicionais e incondicionais que deverá ser levado em consideração na realização dessa atividade.

De um modo geral, o planejador deve tentar produzir programações praticáveis. Para isso devem-se obter todos os fatores relevantes de forma a assegurar que os planos estejam logicamente corretos. Dentro desse processo de identificação das dependências entre as atividades é muito importante estabelecer restrições que permitem iniciar e terminar uma atividade interligada visando obter um resultado otimizado (KÄHKÖNEN; ATKIN, 1990).

Normalmente, usam-se, intuitivamente, conceitos como dependências estruturais, dependência de área de trabalho, dependência de recursos. Esses conceitos mostram a principal razão, ou fator, que induz uma dependência.

Pesquisa feita por Kähkönen e Atkin (1993) ao entrevistar dez planejadores com no mínimo seis empreendimentos concluídos, visando obter as práticas correntes para preparação dos planos em particular no uso de dependência das atividades, ao mensurar as respostas este autor verificou:

- a) Quanto aos dados e conhecimento usados para definir as dependências das atividades:
 - quando os planejadores são experientes a dependência das atividades é fortemente baseada em sua própria experiência;
 - quando os planejadores são menos experientes, recursos são utilizados: livro texto, documentos que descrevem métodos construtivos;
 - desenhos, especificações são dados importantes para preparar os planos iniciais, assim como a especificidade do próprio canteiro;
- b) Quanto às dependências das atividades na programação de empreendimentos diferentes:
 - determinar diferentes dependências das atividades requer uma análise detalhada das características do empreendimento e seu desempenho. Assim, de um modo geral a programação e a determinação das ligações entre as atividades internas e externas requerem uma análise detalhada do desempenho de ambas as atividades de acordo com a seqüência do planejamento.
- c) Quanto à combinação de vários tipos de dependências de atividades no plano:
 - a utilização de vários tipos de dependência das atividades resulta em um estabelecimento de redes complexas. Muitos fatores sobre a dependência das atividades podem afetar o início, fim e o desempenho de cada atividade do empreendimento;
 - planos que utilizam diferentes tipos de dependências podem ser muito difíceis de gerenciar com programas sofisticados de computadores.
- d) Quanto à realimentação de informações do canteiro após o plano ser colocado em prática:
 - freqüentemente existem diferenças entre o planejado e o construído. Experiências desse tipo tendem a motivar o planejador a preparar planos menos detalhados e menos cuidadosos considerando a programação de empreendimento;
 - no gerenciamento do empreendimento é mais freqüente comprometer o trabalho pelas datas alvo que detalhar a construção com recursos planejados, métodos e seqüências construtivas, que exige mais tempo para elaboração e conseqüentemente mais custo.

e) Quanto ao uso de programas de computação como ferramenta de programação.

- diferenças claras existem entre indivíduos no uso de programas computacionais, alguns planejadores usam programas computacionais para preparar planos detalhados cujo efeito nas dependências das atividades no tempo do empreendimento acaba sendo muito relevante, outros usam programas de computação meramente como uma ferramenta visual para produzir a programação final.

Outro objetivo do estudo desse autor foi relatar detalhes qualitativos na existência de vários tipos de dependência. Nesse contexto, o termo qualitativo significa uma análise que revela as diferentes classes de dependência, sua estrutura conceitual e os aspectos que caracterizem cada classe.

Na programação do empreendimento, a dependência das atividades é criada como resultado das decisões feitas pelos planejadores. Decisões típicas do planejador que resultam na criação de dependências são relatadas para seqüenciar as etapas e as atividades, justapor as atividades e utilizar os recursos. Essas etapas estão explicitadas a seguir:

- seqüenciar as etapas - refere-se a uma decisão inicial inserida no processo de preparação do planejamento. Nesse estágio o planejador determina a seqüência geral do trabalho necessária para acompanhar as principais fases do empreendimento. Essa estratégia geral é definida na ordem requerida para construir as etapas de uma edificação;
- seqüenciar as atividades - mostra a ordem nas quais as atividades individuais irão ser executadas, é a primeira decisão tomada pelo planejador depois de avaliar a lista de atividades;
- justapor as atividades - o planejador deve estudar a possibilidade de justapor as atividades, ou seja, duas atividades podem utilizar o mesmo espaço ao mesmo tempo. A justaposição faz com que se reduza o tempo de execução do empreendimento.
- utilizar os recursos – é resultado da identificação das dependências de recursos a qual pode impedir a justaposição das atividades. Por exemplo, duas atividades podem ser justapostas, mas por serem executadas pela mesma equipe, precisam ser vinculadas devido à dependência de recursos.

Depois das decisões tomadas nos estágios anteriores, a programação deve ser melhorada até se tornar exequível e praticável, representando como o empreendimento ou parte dele será executado. Dentro desse processo, o planejador tenta de forma lógica, levar em conta todos os fatores nos quais podem ter efeito na programação. A lógica da programação de uma edificação inclui:

- proposta de programação;
- quebra do projeto (*WBS*);
- suposições condicionais;

- sequência de trabalho;
- justaposição das atividades;
- utilização dos recursos.

Inicialmente, a proposta de uma programação estabelece um limite a ser praticado no nível de detalhes da programação. Eventualmente, o nível desejado de detalhes pode ser uma atividade individual. Por exemplo, quando a programação é preparada na fase de orçamento ela é menos detalhada devido a sua incerteza, pois grande parte dos projetos ainda não está definida. Assim a quebra do projeto (*WBS*) resulta no estabelecimento de atividades, cujo nível de detalhe corresponde à proposta global da programação.

O planejador irá identificar restrições estabelecidas pelo material a ser utilizado e seus componentes, a viabilidade de projetos e mão-de-obra, etc. Esses resultados são a base da programação.

As outras três etapas (sequência do trabalho, justaposição das atividades e utilização dos recursos) são resultados da identificação e análise da dependência das atividades. Essa identificação e análise são essenciais para a preparação de uma programação executável. Assim, pode ser concluído que a dependência das atividades é uma parte importante da lógica global de uma programação desde que, originalmente, determine a possível sequência das atividades, a possibilidade de justapor atividades e estabeleçam as restrições entre os recursos utilizados (KÄHKÖNEN, 1993).

Dentro dessa decisão o planejador utiliza etapas do projeto para organizar os dados do empreendimento. Gray e Little (1985) ressaltam que o planejador frequentemente divide a construção intuitivamente dentro da estrutura. Essa estrutura indica que o planejador identificará as atividades necessárias para concluir uma etapa (KÄHKÖNEN, 1993).

As etapas do empreendimento são as unidades de planejamento na qual são usadas para organizar dados de forma homogênea do ponto de vista operacional. Do ponto de vista do planejador, uma etapa do empreendimento é necessária para organizar e entender os dados de um empreendimento. Além disso, utilizar uma etapa de um empreendimento faz com que seja possível determinar e expressar a ordem geral de realização de um empreendimento (KÄHKÖNEN, 1993).

Segundo Gray e Little (1985), pode-se dividir o empreendimento em fases que representem as informações sumárias, mas essas fases estão em um menor nível de abstração que a etapa do empreendimento.

Na tomada de decisão, ao ordenar as etapas do empreendimento, o planejador tenta identificar todos os fatores que têm influência na decisão. Por exemplo, se um cliente solicitar que a torre oeste seja entregue antes de leste, esse fator contratual deve ser utilizado como restrição no sequenciamento.

Gray e Little (1985) sugerem que os praticantes usem regras gerais, começando a sequenciar da área maior a de menor complexidade, pois assim as áreas de maior risco são executadas primeiro, evitando

atrasos na fase final, e permitindo que os problemas apareçam no início, com chance de aumentar a velocidade das atividades na fase final sem alterar o prazo do empreendimento.

2.2.1 Determinação da seqüência das atividades individuais dentro das etapas construtivas

Depois de determinar a seqüência das etapas, o planejador deve analisar o possível seqüenciamento das atividades dentro de etapas individuais. Essa análise é similar ao seqüenciamento das etapas desde que o planejador tente identificar todos os fatores. Estes podem ser divididos (Quadro 1) em incondicionais e condicionais (KÄHKÖNEN, 1993).

Fatores	Influências
Incondicionais	
Estrutural	Local físico ou características da construção requer uma seqüência específica das atividades;
Tecnologia produtiva	Um método construtivo requer uma ordenação particular das atividades;
Condições locais	Condição, como clima, estabelece limites para iniciar certas atividades o mais cedo possível impactam ou justapondo nas atividades;
Contratual	Especificações de contrato: (a) datas de término de atividades particulares ou parte de uma construção ou; (b) datas para entrega de material;
Segurança	Uma atividade que pode ser perigosa, resultante de outra atividade realizada, não será iniciada até outra atividade ter sido concluída. Uma atividade que assegure segurança ao local precede outras atividades.
Condicionais	
Recursos	O uso contínuo dos recursos requerido em uma cadeia de atividades.
Área de trabalho	Restrições de área de trabalho estabelecem limites a algumas atividades serem executadas simultaneamente e estabelecem um período mais cedo para se iniciar uma atividade desde que: <ul style="list-style-type: none"> • Seu desempenho não seja interrompido pelas outras atividades; • Seus resultados não prejudiquem as outras atividades; • O desempenho de outras atividades não seja interrompido, e; • Os resultados de outras atividades não são prejudicados.
Práticas de trabalho	As equipes de trabalho preferem mover de uma área para outra as quais sejam situadas o mais perto possível.

Quadro 1 Fatores condicionais e incondicionais que influenciam na programação (KÄHKÖNEN; ATKIN, 1993)

Segundo Kähkönen & Atkin (1993) existe ainda o processo de justaposição entre as atividades de duas etapas do empreendimento. Esse processo é possível quando:

- existem mais de um recurso realizando a atividade em ambas as etapas do empreendimento;
- a atividade de uma etapa não é pré-requisito para início da atividade em outra etapa.

Na prática é usual que o trabalho em etapas diferentes ocorra no mesmo período. Normalmente, uma equipe locada em uma etapa ao concluí-lo move-se para a próxima etapa. Quando a equipe deixa o local, outra equipe irá ocupá-lo, algum tempo depois, para iniciar seu trabalho. Assim, quando a primeira equipe está trabalhando na próxima etapa, a segunda equipe está trabalhando ao mesmo tempo na etapa anterior.

Existe também a justaposição de uma atividade individual dentro de uma etapa. Essa determinação é feita em paralelo com a re-análise de requisitos contratuais, os quais podem, por exemplo, especificar uma data de término de uma atividade particular ou uma data de entrega de material. Vários fatores

podem causar a justaposição ou não das atividades. Pode ocorrer então uma folga entre o término de uma atividade e o começo de outra. Por exemplo, duas ou mais equipes de trabalho podem trabalhar ao mesmo tempo em uma área relativamente grande. Duas situações básicas podem ser identificadas quando a atividade pode ou não se justapor:

- justaposição de duas atividades causada pelo fator recurso - nesse caso, as duas atividades em questão são executadas pelo mesmo recurso. Não é possível justapor as atividades;
- justaposição de duas atividades causada pelo fator área - nesse caso a área de trabalho é ocupada pela atividade predecessora, e a atividade sucessora só poderá iniciar quando a área de trabalho estiver liberada.

Ao estudar a preparação dos planos, Gray e Little (1985) identificaram a área de trabalho como o fator freqüentemente usado para determinar o período da justaposição. Quando a área de trabalho é relevante, o tempo de início da atividade sucessora depende:

- do volume de local de trabalho liberado enquanto a atividade predecessora está sendo realizada;
- das características físicas dos materiais, por exemplo, se estão secos ou molhados.

O tempo necessário para assegurar a desocupação do local de trabalho para a atividade sucessora, depois de iniciar a atividade predecessora depende além do índice de produtividade, utilizado para definir o ritmo da atividade predecessora, de como o planejador compara o ritmo de ambas as atividades. Usualmente, as duas atividades precisam de um *buffer*⁵ de tempo ou de espaço. O *buffer* é necessário para impedir:

- o desempenho de uma atividade sofra interferência por outra atividade;
- o resultado de uma atividade seja prejudicado pela outra atividade.

A sobreposição da atividade pode ser usada com o objetivo de tornar a programação mais flexível, assim os problemas de produtividade se tornam evidentes. Isso se torna mais importante quando eventos futuros são planejados. Por exemplo, no início e término de uma atividade e durante o início de um empreendimento, tanto o movimento de terra quanto a fundação podem ser definidas com menor variabilidade. Por outro lado, a definição do tempo e duração da atividade localizada em uma etapa mais tarde do projeto, pode apresentar maiores incertezas na fase inicial de elaboração dos planos.

⁵ *Buffer* significa o pulmão segundo Goldratt (2002), usado para proteger o sistema produtivo contra as incertezas.

Variações que possam vir a ocorrer no processo construtivo podem aumentar a duração de uma atividade ou impedir o início da atividade sucessora e, além disso, pode afetar o tempo de realização da atividade.

O planejador deve listar os distúrbios potenciais e aumentar as durações das atividades atrasadas no empreendimento, se prevenindo utilizando a justaposição. Normalmente, isso torna a programação mais flexível e confiável. Caso contrário, o prazo do empreendimento pode ser estendido, o que é ruim na sua gestão.

Alguns planejadores introduzem um *buffer* de tempo na programação e verificam sua interferência. O *buffer* de tempo representa o prazo, por exemplo, uma semana, estimado para cobrir interrupções. Assim, no caso de melhora de desempenho, o *buffer* de tempo é redundante, mas no caso de distúrbio, o *buffer* de tempo aumenta a flexibilidade da programação.

2.3 ESTIMATIVA DAS DURAÇÕES DAS ATIVIDADES

A estimativa da duração da atividade envolve avaliar o período de trabalho que provavelmente será necessário para implementar cada atividade. Uma pessoa ou grupo da equipe que estiver mais familiarizada com a natureza de uma atividade específica deve fazer ou, no mínimo, aprovar a estimativa (PMI, 2006).

Estimar a quantidade ou número de períodos de trabalho exigidos para implementar uma atividade, freqüentemente requererá também considerações relativas ao tempo de espera (*elapsed time*).

A duração das atividades pode também ser estimada, utilizando ferramentas e técnicas como:

- a) avaliação especializada - é freqüentemente requerida para avaliar entradas desse processo. Tal habilidade pode ser provida por um grupo ou indivíduo com conhecimento especializado ou treinamento, e está disponível em várias fontes;
- b) estimativas por analogias – usam-se os valores reais das durações de projetos anteriores ou similares para estimar a duração de uma atividade futura. Isto é freqüentemente utilizado na estimativa de duração de uma atividade quando existe uma quantidade limitada de informações detalhadas sobre o projeto;
- c) simulações - calcular múltiplas durações com diferentes conjuntos de premissas. A mais comum é a análise Monte Carlo na qual a atribuição dos prováveis resultados é definida para cada atividade e usada para calcular a distribuição dos prováveis resultados para o projeto total.

Para esse processo, de acordo com o PMI (2006), utilizam-se como dados de entrada: lista de atividade; restrições; recursos requeridos; coeficiente de produtividade; informações históricas – arquivo de projetos anteriores, estimativas de duração em base de dados comerciais, conhecimento da

equipe. Os resultados a serem obtidos serão: estimativas de durações e demandas dos recursos por atividades; bases para a estimativa; e, atualização da lista de atividades.

Devem-se buscar processos de programação que sejam aptos a lidar com as múltiplas interfaces gerenciais, em particular com a incerteza inerente ao processo de transmissão de informações. Essa incerteza, principalmente quanto às estimativas de datas e durações de atividades, que são decorrentes da programação de recursos, aumenta proporcionalmente ao acréscimo de interface entre os fornecedores (SILVA, 1999).

À medida que se preconiza que a programação da produção, no nível operacional, seja conduzida por aquele que desempenha o papel de gerenciador, este deve dispor de meios que lhe permitam lidar com as condições de incertezas. Utilizando as técnicas de planejamento mais adequadas ao cenário atuante, provendo recursos que consigam gerenciar a variabilidade.

Está implícito no planejamento que redes de programações devem considerar tanto no planejamento inicial e como no controle a suposição que desvios devem ocorrer. A variabilidade é um fator normal e não uma exceção na indústria da construção. Apesar disso, alguns autores consideram os modelos determinísticos mais adequados que estocásticos para o ambiente da construção como o descrito no trabalho publicado por Heineck (1983), apesar deste autor atualmente ter opinião contrária a apresentada neste ano.

Então se a produtividade e a duração da atividade são consideradas determinísticas o efeito da variação é suficiente para justificar a necessidade de atualização dos dados considerados em um planejamento inicial face aos possíveis desvios futuros.

A duração determinística atribui um valor fixo para a duração de uma atividade. A duração de uma atividade, segundo Halpin e Riggs (1992) pode ser determinística pelas razões a seguir:

- a) a atividade deve ter uma duração fixa ou os recursos reais devem ser utilizados em um tempo específico;
- b) a duração da atividade pode estar sujeita as pequenas variações específicas, mas em alguma escala de tempo utiliza-se a duração da atividade constante;
- c) a proposta de alguns modelos de programação que variações probabilísticas podem ser ignoradas. Em alguns casos, se uma atividade está sujeita as variações aleatórias então, ela necessita ser desdobrada dentro do sistema estabelecido, em atividades menores as quais podem ser consideradas como quase determinísticas.

Halpin e Riggs (1992) ressaltam que a maioria das operações da construção é realizada dentro de um ambiente controlado. Quando se utilizam equipamentos, as atividades estão inseridas na categoria B acima. A maioria das operações concentra-se na categoria C porque consideram os fatores humanos. Assim, dentro das situações onde a aleatoriedade ou a variabilidade está presente é uma prática

comum desprezar a variação e usar os valores simples para definição da duração de uma atividade quando o impacto da variabilidade possa ser considerado pequeno ou pouco relevante.

Nesses casos, um valor para duração da atividade, constante ou determinístico, é selecionado para representá-la, desprezando pequenas variações. Assim, as práticas comuns no cálculo da produtividade dos processos relativamente simples da construção assumem valores determinísticos.

Outra forma utilizada, para cálculo das durações, baseia-se na experiência de quem realiza essa atividade, ou seja, no questionamento de pessoas com experiência na produção quanto aos prazos esperados. Na maioria das vezes, as pessoas questionadas não baseiam suas respostas em raciocínios analíticos do tipo mostrado anteriormente e sim em expectativas diretamente relacionadas aos prazos. Isto acontece muitas vezes, sem o cuidado de se analisar os cenários e as dificuldades executivas, características de cada situação. Portanto, esse método pode apresentar a maior variação.

2.4 MÉTODOS DE NIVELAMENTO DE RECURSOS

No contexto da construção civil, o emprego de técnicas de programação de empreendimentos, em particular para sua fase de produção, capazes de lidar de modo eficiente com os aspectos de prazo e recursos tem um papel fundamental para assegurar a competitividade e a lucratividade de suas operações. Neste sentido, a programação da produção de empreendimentos tem sido enfatizada como uma ferramenta chave no gerenciamento de seus recursos.

Ao longo do tempo, o gerenciamento de empreendimentos da Construção Civil tem focado sua atenção na questão do gerenciamento de prazos e seu relacionamento com a programação de atividades, com ênfase em métodos suportados por redes lógicas como o CPM (*Critical Path Method*), o mais disseminado no setor da construção, e eventualmente o PERT (*Program Evaluation Technique Review*).

Embora largamente empregadas, estas técnicas de programação apresentam algumas limitações relevantes. A principal limitação refere-se ao modo como os recursos são considerados nos algoritmos de cálculo das datas; estes algoritmos são aplicados em duas etapas – propagação a diante (datas cedo) e propagação de retorno (datas tarde) – e em nenhuma delas se faz qualquer consideração quanto ao uso dos recursos necessários à execução das atividades.

Quer seja pelo modo determinístico (CPM) ou pelo probabilístico (PERT), o cálculo das datas independe, em uma primeira instância, do volume, perfil ou disponibilidade dos recursos, a menos que alguma estratégia específica tenha sido previamente considerada quando da formulação da rede lógica que modela a execução do empreendimento.

No campo de estudos da programação de empreendimentos (*project schedule*), em particular na área que aborda o emprego de recursos para a programação da produção, este aspecto é conhecido como a

premissa de que os empreendimentos, na sua fase de implantação (produção) possuem capacidade de recursos infinita (MODER *et al.*, 1995; SILVA, 1999).

Os principais *softwares* para processamento de rede lógica dispõem de algoritmos tanto para nivelamento como para alocação de recursos. São aplicados a partir de um conjunto de regras de priorização atribuídas a cada atividade, como critérios para disputa e alocação dos recursos demandados.

Todos dispõem de um conjunto mínimo de regras e uma sequência padrão que são aplicados, a princípio, em todas as atividades da rede lógica, cabendo ao programador estabelecer os perfis de disponibilidade dos recursos. O *software* provê a identificação das situações de conflito e tem capacidade para prover soluções de re-arranjo da demanda simulada, só que são pouco usados, pouco divulgados e de difícil aplicação.

Atualmente, para a implantação de empreendimentos imobiliários, é comum a transferência de responsabilidade das atividades do planejamento operacional para consultores especializados, ao mesmo tempo em que se transferem as programações mais detalhadas para os próprios fornecedores (serviço e/ou mão-de-obra).

Isto pode trazer uma fragmentação do próprio processo de planejamento, inibindo o emprego de metodologias mais avançadas como o uso extensivo de programações orientadas a recursos. A própria aplicação, de modo extensivo, de ferramentas e *softwares* com estes recursos fica inibida.

Em muitos casos, torna-se mesmo impossível articular em uma única rede lógica as programações desenvolvidas pelos diversos envolvidos dada a diversidade de abordagens e de interfaces. Mesmo quando os fornecedores se dão ao cuidado de desenvolver programações suportadas por redes lógicas, estas não traduzem, necessariamente, uma estratégia coerente a todos os fornecedores envolvidos, face aos motivos já expostos.

Na verdade a integração de programações, possíveis de serem feitas ao nível operacional, passa a ser de datas associadas a eventos, e mais raramente a atividades, e não de estratégias e lógicas de condução.

Os conflitos por disputas de recursos só se tornam visíveis na medida em que for detectado um conflito nas programações de datas, posto que a crítica ao perfil de disponibilidade dos recursos a serem alocados é transferida, por decorrência, junto com a transferência da responsabilidade pelo cumprimento daquela parcela de escopo associada a um dado fornecedor.

Nestas situações, ainda que o gerenciador da produção desenvolva uma programação suportada por rede lógica, esta perde seu sentido sistêmico maior, dado que o tratamento das alocações de recursos foi transferido para outro nível da produção. Restringe-se esta rede a simular a condução da produção

apenas e tão somente em função da lógica de articulação das atividades nela representadas, sem nenhuma alocação de recursos à rede.

As durações das atividades resultam de estimativas apresentadas pelos fornecedores, sem que isto signifique que exista uma articulação formal das lógicas consideradas pelas partes envolvidas.

Como resultado, mais uma vez, se reproduz a situação de conflito potencial descrita anteriormente. Esse quadro leva a uma quase completa inibição do uso de ferramentas para a programação por recursos. As considerações feitas até aqui levam a prática da programação por recursos a uma situação contraditória no setor da Construção Civil. Por um lado é consenso a sua relevância, de outro também é consenso a extrema dificuldade na sua aplicação.

Programações que consideram apenas as restrições lógicas decorrentes dos processos tecnológicos ou de estratégias de implantação podem, e freqüentemente as fazem originar expectativas de prazo irreais ou inexecutáveis no contexto de uma dada obra.

Há, portanto que se considerarem os aspectos decorrentes das limitações que possam ocorrer quanto à disponibilidade de recursos ou relativos a um determinado contexto da produção sob análise.

Estas limitações ou restrições podem se manifestar sob vários aspectos, tais como limitações de volumes disponíveis, restrições de utilização ao longo do tempo, especificidades técnicas ou contratuais.

As modelagens baseadas no custo referem-se a métodos de programação voltados para o tratamento destas restrições. Os problemas do nivelamento e alocação de recursos são enfrentados por um enfoque primário nestas restrições, sejam elas custos ou recursos, e secundário nas atividades. Assim sendo, a aplicação de um método de nivelamento desta natureza, irá programar um dado conjunto de atividades a partir do acompanhamento do uso de um determinado recurso, o mais prioritário, a seguir de um segundo recurso e assim sucessivamente, até que se tenha uma programação capaz de tratar o uso desses recursos da forma mais eficiente possível de ser encontrada.

As modelagens com múltiplos objetivos são aquelas que procuram lidar simultaneamente com as restrições abordadas isoladamente nos métodos anteriores. As modelagens com restrições de custo procuram estabelecer priorizações na sequência de atividades observando de modo distinto se o recurso é renovável ou não. Isto significa que os critérios de prioridade para o uso de um recurso renovável, como a mão-de-obra, são diferentes daqueles para priorizar o uso de um recurso não renovável, que é consumido na execução de uma dada atividade e não repostado no cenário da obra.

Na maioria dos casos, podem-se tratar as restrições de custo como um recurso não renovável, na medida em que o custo associado à execução de uma atividade consome uma determinada parcela do montante de investimentos previsto para a produção da obra.

Para o nivelamento de recursos, devem-se estabelecer os seguintes pontos:

- quais recursos são mais importantes, bem como os respectivos critérios de seleção;
- quais os limites críticos para a execução – custos e/ou prazos.

A partir destes pontos, podem-se avaliar os perfis de demanda *versus* disponibilidade dos recursos e identificar as situações de conflito. Estas situações podem ser caracterizadas como desvios em relação aos requisitos de uso dos recursos. Com base nos critérios anteriores, devem ser identificados quais desvios são mais relevantes e qual a abordagem mais adequada para seu tratamento. São fatores de decisão, nesta análise:

- disponibilidade dos recursos;
- escassez relativa entre recursos;
- condições de uso extraordinário (sobrecarga ou uso por períodos extras);
- possibilidade de uso de recursos alternativos;
- duração aceitável para o prazo da produção;
- atividades que podem ser desdobradas;
- atividades que admitem emprego de recursos em condições de uso extraordinárias;
- possibilidades de re-arranjo na prioridade das atividades.

O procedimento de programar, tratando de restrições de recursos, pode ser dividido em dois grupos de acordo com os problemas encontrados: (1) nivelamento de recursos - restrição de prazo, (2) programação com restrições de recursos (MODER *et al.*, 1995). Assim se o limitante maior for prazo, teremos um caso de programação com restrição de prazo; mas, se o limitante de custo, ou a própria disponibilidade de um dado recurso, for o mais relevante, será um caso de programação com restrição de recursos. A partir daí estabelece-se qual o método de programação por recursos será empregado nas fases subseqüentes e quais os objetivos a serem alcançados por esta programação.

As programações com restrições de prazo consideram que a data de conclusão de um empreendimento, obtida a partir da aplicação do método CPM, é fixa; adicionalmente podem ser estabelecidas restrições quanto a datas de eventos intermediários. A resolução de conflitos entre atividades que disputam um mesmo recurso em uma mesma data será obtida na medida em que for possível reprogramar as atividades que não pertençam ao caminho-crítico na rede lógica.

Caso isto não seja possível em um determinado período da produção, será aceito um desvio na programação de recursos desejada. Este tipo de programação dá especial ênfase à redução das variações da utilização de um recurso durante uma operação, daí ser conhecido como **nivelamento de recursos** (HALPIN; WOODHEAD, 1998).

A programação com restrições de recursos assume que essas são mandatórias. Neste caso, os conflitos decorrentes da disputa de recursos são identificados e necessariamente resolvidos, ainda que a custa da postergação do prazo final do empreendimento, que tenderá a ser sempre o mais cedo possível.

Isto pode implicar em alterações substanciais nas seqüências de atividades e leva estes métodos de programação a lidarem com precedências adicionais, quais sejam: de ordem tecnológica ou da natureza do processo construtivo, consideradas inalteráveis, de ordem circunstancial, relativas às peculiaridades da obra e seu entorno e estabelecidas durante a programação de recursos, a ordem de preferência, que afetam a estratégia adotada para o seqüenciamento das atividades.

A abordagem, aqui proposta, discutirá o processo de nivelamento de recursos pela vertente da priorização das atividades, estabelecendo procedimentos para o emprego de regras heurísticas de priorização a partir dos atributos de tempo das atividades aplicando conceitos da Teoria das Restrições.

O uso de regras heurísticas na programação destaca que a tarefa de programar um conjunto de atividades de um projeto tais que a relação de precedência e restrição no emprego dos recursos sejam satisfatória, não é nada fácil para projetos de tamanho modestos. Esta dificuldade aumenta se simultaneamente alguns objetivos como menor prazo para o empreendimento e menor custo total são perseguidos (HALPIN; WOODHEAD, 1998).

A limitação de recursos na programação de empreendimentos cai na categoria de problemas matemáticos conhecido como problemas combinatórios. Isso implica que em um dado problema um grande número de combinações de datas de início das atividades pode ser estabelecido, como cada combinação representa uma programação do empreendimento diferente então o número de combinações é muito grande mesmo quando se trata de redes de 20 a 30 atividades, aumentando rapidamente quando se aumenta o número de atividades. Na prática o número é muito grande para problemas feitos sob medida realística não permitindo a enumeração para todas as alternativas, mesmo com a ajuda de computadores (MODER *et al.*, 1995).

Tantos os métodos analíticos quanto os matemáticos de programação não tem provido grandes sucessos na análise combinatória dos problemas. Até por conta deste aspecto, vários procedimentos com base heurística têm sido desenvolvidos.

Uma regra heurística consiste na aplicação de um processo, o qual deve ser simples, fácil de usar e capaz de reduzir o esforço necessário para se atingir uma determinada solução (MODER *et al.*, 1995). Existem dois métodos de aplicação de regras heurísticas no problema de alocação de recursos:

- a) programação em série – todas as atividades de um projeto são expressas na ordem de prioridade em um grupo simples, usando algumas regras heurísticas e programando cada uma no espaço de tempo. As atividades que não podem ser iniciadas o mais cedo possível são progressivamente atrasadas até que os recursos estejam disponíveis;

b) programação em paralelo - todas as atividades iniciadas em um dado período de tempo são expressas em um grupo na ordem de prioridade alocando recursos de acordo com a necessidade tão tarde quanto à disponibilidade.

Quando uma atividade não pode ser programada em um dado período de tempo por falta de recursos, ela será reprogramada para o próximo período. Sendo assim o método paralelo requer maior mensuração de tempo para reorganizar as atividades em cada período, ele é o mais usado dos dois métodos sendo empregado em um grande número de programas computacionais.

Segundo o PMI (2006) as análises matemáticas freqüentemente produzem um cronograma preliminar que requer mais recursos durante certos períodos de tempo do que os que estão disponíveis, ou requer mudanças nos níveis dos recursos que não são gerenciáveis. As heurísticas tais como alocar os recursos escassos primeiramente para as atividades do caminho crítico, podem ser aplicadas para desenvolver um cronograma que reflita tal restrição. O nivelamento dos recursos freqüentemente resulta em uma duração maior e em uma distribuição de recursos melhor, para o projeto do que o cronograma preliminar. Esta técnica é algumas vezes chamada de “Método Baseado em Recursos” (*Resource-based Method*). A programação com recursos restritos é um caso especial de nivelamento de recursos onde a heurística envolvida é a limitação da quantidade de recursos.

2.4.1 Definindo recursos

Os recursos considerados mais importantes na condução da produção do empreendimento são: financeiros; pessoal (mão-de-obra); materiais; equipamentos; espaço; insumos gerais (energia, água, etc.); e informações. Cabem considerações quanto aos seguintes aspectos na disponibilização desses recursos:

- perfil da disponibilidade do recurso (em volumes e ao longo do tempo);
- capacidade do recurso ser ou não armazenável;
- condições de mobilização e desmobilização.

O perfil da disponibilidade do recurso tem por objetivo caracterizar o comportamento dos recursos em termos de oferta e demanda, ao longo do tempo. Os itens mais relevantes deste aspecto são:

- se é ofertado por todo o período de produção ou apenas em determinados períodos;
- se é disputável ou disputado por atividades concomitantes;
- sua demanda – ao longo do período de produção e respectivo volume total;
- níveis de disponibilidade;
- capacidade de uso adicional ou extraordinário.

A capacidade de o recurso ser ou não armazenável, entenda-se por um recurso não armazenável aquele que estando disponível em um dado momento, caso não seja então usado, não poderá ser retido para uso em outro momento. Determinados tipos de equipamentos e categorias de mão-de-obra se enquadram nesta condição quando observados ao longo do ciclo de vida da produção. Já o recurso armazenável é aquele cujo momento de aplicação pode ser gerenciado durante o período de produção.

Para os recursos não armazenáveis a programação deve enfatizar a questão do volume total da demanda por período de tempo (homens/hora ou hora/máquina, por exemplo) para todo o ciclo de vida da produção. Caberá à programação estabelecer uma solução capaz de atender a esta demanda, seja com pequenas equipes ou poucos equipamentos e longos períodos de uso ou grandes equipes ou grandes conjuntos de equipamentos por curtos períodos.

Quanto aos recursos armazenáveis, o foco da programação é quanto ao seu fluxo ao longo do tempo, o volume instantâneo por período de tempo. Tomando-se como exemplo o recurso financeiro, que pode ser tratado como um recurso armazenável, o foco da programação será quanto ao fluxo de desembolso (ou fluxo de caixa), posto que os volumes totais de investimento já foram estabelecidos em etapas anteriores do processo de planejamento.

Portanto, um processo de programação por recursos, neste caso, deverá estabelecer uma solução capaz de compatibilizar as diversas metas de prazo da implantação e o volume total de investimento com as restrições nos níveis de desembolso a serem observadas ao longo do ciclo-de-vida da produção.

Quanto às condições de mobilização e desmobilização uma terceira consideração quanto à natureza dos recursos refere-se a sua prontidão para uso.

Para um dado recurso, estar disponível significa a existência de um compromisso de fornecimento de seu provedor para com a produção. Este compromisso é associado a um conjunto de condições – administrativas, financeiras e logísticas – que regem o seu fornecimento. Em função dessas condições devem ser consideradas as seguintes situações de disponibilização:

- acesso – é a situação na qual seu fornecimento é assegurado ou compromissado;
- mobilização - é a situação na qual ele se encontra pronto para emprego imediato junto ao processo de produção.
- uso - refere-se condição de efetivo uso junto à produção.
- desmobilização – retirada de um recurso caso não seja utilizado.

A abrangência dessas condições pode sofrer ajustes em função da natureza do recurso, como pode ser visto Quadro 2.

<u>Recurso</u>	<u>Acesso</u>	<u>Mobilização</u>	<u>Uso</u>	<u>Desmobilização</u>
Materiais	contratação do material.	Transporte e disponibilização no canteiro.	condição de consumo do material	situação não considerada neste nível de programação.
Serviços	contratação por unidade de serviço ou pagamento mensal.	curto prazo	uso conforme requisição	custo de rescisão
Recursos Financeiros	condição na qual o custeio (<i>funding</i>) da operação é assegurado, por exemplo, pela contratação de um financiamento.	é o processo de liberação dos montantes necessários ao custeio da produção.	custeio da produção	processo de administração de recursos que eventualmente não venham a ser empregados, como sobras de caixa.
Equipamentos	corresponde à condição de contratação de um dado equipamento, tal como compra ou aluguel	é a disponibilização junto ao canteiro ou local de uso;	Situação particular decorrente das condições nas quais o acesso foi contratado, pode existir uma distinção quanto a seu custo horário parado ou operando	situação de retirada do equipamento de seu local de uso; este evento também pode estar associado a determinados custos.

Quadro 2 Recursos *versus* condições de disponibilização (Adaptado de Silva, 1999)

Em síntese, a caracterização da disponibilidade ou prontidão de uso de um recurso passa por um conjunto de situações às quais podem ser associados distintos custos, ou restrições de quaisquer naturezas, capazes de balizar a decisão quanto ao seu emprego.

Estas decisões orientarão a solução de programação de recursos a ser adotada, quer para identificação da demanda a ser atendida, mas principalmente para a formulação da solução de designação de recurso destinado atendê-la.

2.4.2 Compressão e descompressão da rede

Ao estudar a literatura, pois iríamos aplicar a descompressão da rede visando a postergação do custo e o nivelamento de recursos, identificou-se esse método somente nos trabalhos publicados por Antil e Woodhead (1995). Esses autores descrevem que a duração e as folgas do projeto são consequência do método construtivo adotado. A escolha do método a ser adotado tem influência na análise do menor custo direto *versus* a duração do projeto. Em algum lugar, entre as soluções normais e a de menor prazo, encontra-se a melhor solução econômica para todo o projeto (Figura 1). Esta solução deve ser derivada do planejamento, examinando as vantagens do caminho crítico. Pode-se somente encontrar após

simular uma série de *soluções ótimas*⁶ analisando os custos do projeto. A melhor solução é derivada do menor custo direto para o projeto em relação a uma duração específica; ou seja, uma solução ótima fornece as coordenadas para um ponto de algum lugar na curva do custo/tempo direto para o projeto (ANTILL; WOODHEAD, 1995).

Figura 1 *Curvas do custo versus tempo do projeto que mostram a melhor solução econômica.*

A mensuração de uma série de soluções ótimas fornece assim uma curva real do custo/tempo direto para os trabalhos de construção que estão sendo planejados adicionando recurso incremental de mão-de-obra e de equipamento a solução normal, uma série de pontos na curva é obtida, mostrando como cada incremento (embora adicione custo direto) reduz o tempo da conclusão do projeto por até um determinado limite (denominado solução falência). Isto quer dizer, a avaliação é feita sucessivamente mexendo em várias atividades. Isto pode ser um processo contínuo buscando soluções ótimas consecutivas até um determinado limite do projeto. Este procedimento é conhecido como compressão da rede.

Para a utilização dos dados que mostram os tempos praticáveis da conclusão e os custos diretos correspondentes de cada atividade, é fácil mensurar a *inclinação (custo)* de cada atividade no projeto. A inclinação do custo é o custo direto incremental por unidade de tempo, e ele indica alteração do custo direto de uma atividade com a redução de sua duração.

Uma vez que os custos são introduzidos e os dados de custo para cada atividade estiveram introduzidos na rede, o diagrama transforma-se (pela definição) em um modelo de rede. Ou seja, a

⁶ Esta solução exata para uma determinada situação de programação e para um determinado cenário com um conjunto de restrições (ou funções objetivo) específico é denominada de ótima. Na verdade ela apenas representa uma solução de melhor eficiência para um dado cenário. Sua identificação como ótima somente poderia ser aplicada se ela o fosse para qualquer cenário que se apresentasse o que por si só já é uma contradição, posto que fosse identificada como ótima a partir de um determinado cenário e sem que se conduzissem especulações ou avaliações quanto a sua aplicabilidade e desempenho em outros cenários.

representação esquemática visível do projeto apresenta agora toda a informação relevante do tempo e do custo necessária para a mensuração de soluções ótima. Isto pode se transformar em um modelo matemático real dos trabalhos de construção sob esta consideração.

Se o modelo da rede for considerado, *é possível reduzir a duração do projeto comprimindo duração das atividades do caminho crítico*. Além disso, a solução de menor custo pode ser obtida antecipando as atividades mais baratas. Projetar a compressão envolve conseqüentemente à seleção das atividades críticas que podem ser comprimidas individualmente, ou na combinação, custo mínimo por unidade de tempo, até alcançarem seus limites, ou até os caminhos críticos adicionais aparecerem na rede; os custos diretos de todo projeto e as novas durações do projeto são salvos após cada compressão da rede. Com o aparecimento de novos caminhos críticos, as atividades adicionais tornam-se disponíveis para a solução econômica, e estas reduções, até que essa atividade se torne impraticável, finalmente, obtém a solução de menor tempo.

Desta maneira, cada estágio dos cálculos da compressão fornece as coordenadas para uma solução ótima, e assim é possível traçar a curva real de custos diretos do projeto ótimo em relação à duração do projeto. Nesta curva o custo/tempo direto pode ser adicionado a curva de custos indiretos em relação à duração do projeto. Adicionar estes dois itens produzirá a curva para custos totais do projeto em relação à duração do projeto.

Por enquanto, é necessário entender que ao iniciar com duas programações (normal, e a de menor prazo) e apropriar os dados das atividades que pertencem a cada curva, o planejador pode fornecer a curva do custo-tempo do projeto e a melhor solução econômica para cada empreendimento. Esta técnica da compressão não pode ser utilizada completamente para projetos mais complexos. Muito freqüentemente a solução normal, ou uma solução com uma ou duas compressões, irão prover o planejamento mais econômico; se todos os resultados forem descritos no gráfico do custo-tempo após cada estágio da compressão, a melhor decisão pode ser tomada e os demais resultados são abandonados (ANTILL; WOODHEAD, 1995).

Há outra abordagem ao problema de soluções ótimas. Se um planejador tiver os dados utilizados na solução normal e de menor prazo, é bem simples gerar um ponto na curva de custo/tempo direto começando os cálculos pela solução de menor prazo e realizando o procedimento da compressão de forma inversa. Isto é conhecido como *descompressão*. É mais útil quando a duração do projeto não é tão rígida. O mais comum é executar o cálculo da compressão na rede normal para obter o menor tempo.

Finalmente, uma combinação de descompressão e da compressão, realizada alternadamente, pode ser adotada para encontrar uma solução ótima quando se começa com estimativas não ótimas. Esta técnica é chamada *otimização de monosoluções ótimas* (ANTILL; WOODHEAD, 1995). Sua vantagem principal é poder começar os cálculos de toda a estimativa praticável não ótima, baseada em uma

duração aproximada especificada para o projeto, e usar o procedimento melhorando o planejamento inicial. Em cada estágio dos cálculos um novo planejamento, melhor do que precedente, é obtido usando somente compressão na solução normal ou descompressão da solução de menor prazo.

Aqui cabe uma ressalva, antes de se abordar este processo de programação de modo mais aprofundado, quanto ao emprego, nesta Tese, de expressões como otimização, modelos de programação por otimização, modelos de soluções exatas como identificadoras de tipos de abordagens ou classes de modelos de programação existentes no campo de estudo maior da programação por recursos. Estes termos são oriundos do campo da Pesquisa Operacional e seu significado deve ser desdobrado e analisado a partir da abordagem adotada nesta tese, o que será explicado a seguir.

Na Pesquisa Operacional desenvolvem-se modelos de programação que, a partir de um dado cenário, procuram encontrar uma solução matemática exata que atenda a um determinado conjunto de restrições ou objetivos impostos desde esse cenário. Esta solução exata para uma determinada situação de programação e para um determinado cenário com um conjunto de restrições (ou funções objetivo) específico é denominada de ótima. Na verdade ela apenas representa uma solução de melhor eficiência para um dado cenário.

Sua identificação como ótima somente poderia ser aplicada se ela o fosse para qualquer cenário que se apresentasse o que por si só já é uma contradição, posto que fosse identificada como ótima a partir de um determinado cenário e sem que se conduzissem especulações ou avaliações quanto a sua aplicabilidade e desempenho em outros cenários.

Ainda assim, termos como otimização, solução ótima e modelos de otimização têm sido usados no âmbito da Pesquisa Operacional e frequentemente transposto para o setor da Construção Civil sem que se façam as devidas críticas e considerações de contextualização.

Os modelos de programação de atividades caracterizados por estas expressões são baseados em processos de busca e identificação de soluções matemáticas exatas, tais como busca em profundidade associada a algoritmos *minimax* ou processos de programação linear, e é neste sentido, ou seja, apenas como identificadores de uma determinada classe de modelos é que devem ser encarados quando mencionados nesta tese.

A compressão e a descompressão, embora seja um processo puramente mecânico e repetitivo, conduzem a uma introspecção nos problemas do projeto. Para projetos entre 200 e 300 atividades, é geralmente praticável e vantajoso realizar procedimentos de solução ótima com métodos manuais. Para projetos maiores e mais complexos, entretanto, o uso da compressão manual é evitada porque envolve muito tempo e requer um maior entendimento do todo; esse recurso é então realizado por computador (ANTILL; WOODHAED, 1995).

2.4.3 Restrições no cálculo da compressão

As *soluções ótimas* consideram-se distantes das soluções mínimas do custo. Algum desvio na ordem lógica das compressões das atividades, ou na quantidade de sua compressão, implica automaticamente uma solução não ótima que custa mais do que custo ótimo (ou mínimo). O uso misto de dados utilitários e das inclinações artificiais de custo conduziram às soluções não ótimas bem distantes dos custos procurados.

A ênfase em custos como uma medida ótima resulta em uma série das soluções ou programações em que, para muitas atividades, não existe nenhuma possibilidade de decisão gerencial. Esta situação pode ser intolerável sob determinadas circunstâncias e sua rejeição implica que a otimização deve ter um significado mais amplo que somente o menor custo. Por exemplo, a gerência pode decidir-se ao aplicar uma decisão puramente estratégica ou política ao projeto, selecionar atividades para a compressão; em consequência, esta estratégia transforma-se numa restrição adicional nos cálculos da compressão. Certamente, a técnica de adiar uma atividade para a compressão usando uma curva artificial de custo é a mesma estratégia que produz resultados ótimos em outra base de custo. Dentro da estrutura desta outra estratégia, as soluções ótimas são possíveis desde as soluções consideradas previamente como não ótimas (no ponto de vista do custo) podem ser agora soluções ótimas que satisfaçam às restrições estratégicas impostas; os cálculos normais da compressão são rejeitados porque violam as restrições.

A execução de várias estratégias, restringindo os cálculos usuais da compressão, é uma característica muito comum e importante no controle dos projetos, e seus efeitos podem ser determinados e custeados. Para fazer isso, é necessário executar somente duas opções de cálculos de compressão da rede: um sem nenhuma estratégia, para fornecer a curva do custo direto ótimo para o projeto, e o outro com a estratégia a ser adotada. A análise de ambas as curvas do custo direto para o projeto mostrará a diferença nas ordenadas do custo, o valor a ser pago executando a estratégia para uma determinada duração do projeto. Esta abordagem adicional realça a importância de utilizar solução ótima com um custo menor que o usual.

Uma generalização desta abordagem conduz a adotar uma estratégia, onde arbitrar (ilógica) a ordem e seleção das atividades para a compressão seja, automaticamente, uma solução ótima. Este método é usado freqüentemente dentro dos projetos ao planejar uma solução normal, com compressões locais opondo-se a determinadas situações. Não obstante, deve-se realizar esta otimização representando uma aplicação ineficiente dos recursos puramente de um ponto de vista dos custos.

2.4.4 Cálculo de descompressão das redes

A duração do projeto pode ser considerada como o parâmetro na formulação de programação linear paramétrica do modelo de rede do projeto. Este parâmetro varia entre os dois limites: duração normal

e duração de *falência* (obtida quando o aumento de recursos não consegue mais reduzir a duração do projeto).

A compressão da rede é baseada na diminuição contínua da duração do projeto normal até a falência, ou seja, a maneira mais barata de reduzir a duração do projeto é determinar em cada estágio o uso de atividade com a menor inclinação do custo (ANTILL; WOODHEAD, 1995). É conveniente adotar este procedimento. Matematicamente, entretanto, os cálculos podem ser ainda baseados na solução de menor tempo como referência inicial, e executar procedimento na ordem reversa. Esta técnica é conhecida como *descompressão*.

A descompressão da rede é baseada no aumento contínuo da duração do projeto do menor prazo (estado de falência) ao tempo normal, ou seja, a maneira mais barata de aumentar a duração do projeto determinando em cada estágio o uso da atividade com a inclinação da mais íngreme do custo. Entretanto, visto que a solução normal e a solução ótima para o tempo normal é a base inicial para cálculos da compressão, o raciocínio inverso, ou seja, a solução de falência não serve como base inicial para o cálculo da descompressão. A primeira etapa da descompressão da rede é derivar a solução de menor prazo e usar subsequente esta programação como ponto inicial dos cálculos da descompressão.

O problema de calcular a solução de menor prazo para duração do projeto *em uma solução de falência não ótima* está claramente identificado na Figura 1: dado o modelo da rede, os dados utilizados, e as coordenadas do eixo x, são requeridos para derivar as coordenadas do eixo y. Nenhuma alteração será feita para projetar a duração, somente uma economia no custo. A diferença nos custos entre o estado de falência e a de menor tempo é devido à menor necessidade de utilização das atividades não-críticas, assim produzindo caminhos não-críticos utilizando totalmente suas folgas livres.

Daqui para derivar a solução de menor prazo, tudo que é requerido é *eliminado pela descompressão das atividades com folga livre no modelo da rede*. Naturalmente, a preferência é dada às atividades disponíveis com maiores inclinações do custo para ser descomprimido a fim obter reduções de custo estendendo as durações das atividades não-críticas. Nenhuma descompressão de atividades críticas deve ser considerada neste estágio, naturalmente, desde que não se possa alterar duração do projeto.

Os dados utilizados são aplicados para todas as atividades não-críticas capazes de serem descomprimidas. Ao realizar essa ação deve-se analisar o prazo do projeto, pois as atividades podem passar a serem críticas, para que isso não ocorra deve-se usar toda a folga livre disponível.

2.4.5 Otimização de soluções não ótimas: alternando descompressão e compressão

Na manipulação da duração de alguns projetos (tempo do contrato) a aplicação de recursos adicionais nem sempre é possível, especialmente quando o tempo é fixado em termos contratuais. Esta duração

especificada encontrar-se-á em algum lugar entre a solução normal e a de falência. Nesses casos, a determinação da solução ótima, para surtir a duração desejada, se comprimir a solução normal ou descomprimir a solução de falência (via a solução de menor prazo). Quando qualquer uma destas abordagens é usada, calculando continuamente até que a duração especificada seja alcançada, a solução ótima é obtida automaticamente.

Uma abordagem mais prática é preparar, inicialmente, um modelo da rede com uma estimativa convencional visando à duração especificada. Esta solução será uma solução não ótima mais cara do que a solução ótima e com a mesma duração. Esta solução ótima desejada pode ser derivada pela melhoria sucessiva, e barateando o modelo de rede não ótimo. As melhorias são afetadas sucessivamente descomprimindo e comprimindo a rede dentro de uma pequena variação sobre a duração especificada. Os caminhos críticos são alterados gradualmente do conceito original até a solução ótima (ANTIL; WOODHEAD, 1995).

Mesmo uma análise sumária de custo proporciona um planejamento melhor que o original. Outra grande vantagem desta técnica é que as características do modelo da rede analisam a duração do projeto, área de grande interesse. Uma série de soluções é produzida sem alterar a duração do projeto, alternando descompressão e compressão, em função do tempo especificado do projeto. Além disso, estas soluções são muito úteis no momento do controle do projeto, na fase de acompanhamento, porque uma variedade de planos relacionando custo *versus* tempo é disponível para tomada de decisão.

Por causa do *zigzag* das soluções sucessivas que são produzidas ao descomprimir e comprimir de forma alternada, este método de otimização das soluções não ótimas é conhecido coloquialmente como “a técnica *zigzag*” (ANTIL; WOODHEAD, 1995). Habilidade e um pouco de experiência são necessárias para determinar, eficazmente, soluções ótimas por este procedimento, porque não existem regras para isso.

Entretanto, a determinação da solução de menor custo a partir da rede inicial não ótima é forte e amplamente justificada para todo o projeto onde a estimativa convencional é baseada em uma duração normal. Depois que a solução de menor custo - ótima - foi encontrada, a técnica do *zigzag* pode, em alguns exemplos, iniciar por uma compressão, maior que a descompressão; também pode ser necessário alterar significativamente a duração especificada do projeto nas etapas intermediárias para assegurar produzir caminhos críticos corretos eliminando os incorretos. À exceção das etapas finais, todas as soluções obtidas por esta técnica são consideradas não ótimas, e conseqüentemente podem ser melhoradas economicamente. Sendo assim, para ser mais competitivo, são feitos cálculos adicionais até chegar à solução mais barata (ótima) para a duração contratual, que geralmente é o objetivo principal.

2.4.6 Os métodos de nivelamento de recursos existentes

Normalmente, ao elaborar uma programação, os recursos necessários e as freqüentes mudanças na quantidade de mão-de-obra ou picos de recursos necessários são indesejáveis ao longo do tempo e devem ser melhorados.

A concentração de muitos recursos em períodos mais cedo, ou a variação de um dado recurso ao longo do tempo, podem ser exemplos disso. Portanto, as técnicas de nivelamento de recursos são usadas em situações nas quais poderá proporcionar uma significativa distribuição de recursos ao longo do tempo, minimizando período a período as variações de mão-de-obra, equipamento, e dinheiro necessário.

A principal idéia do nivelamento de recursos concentra-se (ANTIL; WOODHEAD, 1995):

- na redistribuição das atividades dentro dos limites de folga (mais cedo e mais tarde) para obter a melhor distribuição do seu uso;
- no uso de folgas para deslocamento de atividades para o nivelamento de recursos;
- na proibição do aumento das durações do projeto.

O trabalho básico para a resolução deste problema foi conduzido por (BURGESS; KILLEBREW, 1962), propondo um enfoque heurístico. Posteriormente (GALBREATH, 1965), (WIEST; LEVY, 1977), (HARRIS, 1978), (ANTILL; WOODHEAD, 1982) e (MODER *et al.*, 1983) desenvolveram trabalhos relevantes a partir da mesma abordagem. Tanto (ANTILL; WOODHEAD, 1982) como (MODER *et al.*, 1983) podem ser considerados referências básicas.

No primeiro trabalho a resolução do problema é tratada como uma extensão do método CPM, através de regras de priorização de recursos de modo seqüencial. No segundo caso é apresentado um desdobramento das proposições de (BURGESS; KILLEBREW, 1962).

A proposição de Burgess e Killebrew (1962) foi a precursora, mas algumas pesquisas foram realizadas visando determinar qual o seqüenciamento heurístico produzia a menor duração de um projeto. Kelley (1963) foi o primeiro artigo publicado nesse tópico. A comparação de diferentes regras heurísticas para programação de projetos com restrição de recursos foi tratada em nove estudos: (BRAND *et al.*, 1964; CROWSTON, 1968 ; FENDLET, 1968; GONGUET, 1969; KNIGHT, 1966; MIZE, 1964; MUELLER, 1967; PASCOE, 1965; PATTERSON, 1973) até o trabalho publicado por Davis e Patterson (1975), referência até o momento.

Essas nove pesquisas testaram as mesmas regras, mas o tipo particular de rede de programação variava consideravelmente. A lista desses nove estudos cronologicamente ordenando e indicando o tipo de problema examinado, e a regra que encontrou maior eficiência na mensuração da duração do projeto encontra-se no Quadro 3.

<u>Pesquisas</u>	<u>Característica do problema</u>	<u>Melhor regra</u>
Brand et al (1964)	Projeto simples com múltiplos recursos	RSM (Resource Scheduling Method)
Mize (1964)	Múltiplos projetos jobshop	Regra complexa baseada na menor folga
Pascoe (1965)	Projeto simples com múltiplos recursos	LFT (Minimum Late Finish Time) LST
Knight (1966)	Multi projetos, múltiplos recursos e redes lineares	Utilização de recursos do projeto
Müller e Mehrback (1967)	Muitos projetos com multi recursos	LST (Minimum Late Start Time) e LFT
Crowston (1968)	Projeto simples com Jobshop	LST com ajustes na programação
Fendley (1968)	Muitos projetos com multi recursos	menor folga
Gonguet (1969)	Projeto simples com múltiplos recursos	LFT
Patterson (1973)		Primeiro os trabalhos menores
		Menor folga
		Maior recurso usado
		menor folga

Quadro 3 Regras heurísticas orientada a pesquisa comparativa

Quanto aos modelos de otimização deve ser destacada a contribuição de (PHILLIPS; GARCIA DIAZ, 1981) e, mais recentemente, por (EASA, 1989), propondo como uma extensão do método CPM um modelo de otimização linear-inteiro para recursos singulares e atividades contínuas, capaz de tratar empreendimentos de construção de porte pequeno a médio.

Mais recentemente contribuições de (HARRIS, 1978) e (SEIBERT; EVANS, 1991), este apresentando padrões para aceitação de processos de nivelamento de recursos.

Neste caso estão incluídos (DAVIS; PATTERSON, 1975) com importantes estudos comparativos de técnicas heurísticas, (PATTERSON, 1984) desenvolvendo análises semelhantes para métodos de otimização e (ÖZDAMAR; ULUSOY, 1995) aprofundando os processos de classificação sistematizada desta literatura.

No tópico das modelagens que consideram objetivos baseados no tempo e que buscam minimizar a duração dos empreendimentos empregando métodos de otimização, uma primeira abordagem foi feita por (PRISKER *et al.*, 1969), baseada em processo de programação linear (0-1); posteriormente (TALBOT; PATTERSON, 1978) desenvolveram um algoritmo que demonstrou grande eficiência na identificação de solução para problemas de porte médio.

Recentemente popularizaram-se os processos de busca baseados em algoritmos “*branch and bound*” como proposto por (DEMEULEESTER; HERROELEN, 1992). Levantamentos conduzidos por (HERROELEN, 1972) e (WILLIS, 1985) já abordavam especificamente este tipo de modelagem.

O emprego de métodos heurísticos tem se desdobrado na proposição de novos métodos (novas regras de priorização) e na combinação daqueles de mais reconhecida eficiência.

No primeiro caso encontram-se exemplos como (SHANMUGAYAGAM, 1990), que propõe o emprego do conceito de folga corrente como alternativa à regra de priorização pelas folgas totais. Esse autor conceitua o termo folga corrente como aquela remanescente para cada atividade, em um dado estágio do processo de programação e usa este elemento como identificador de prioridades, da maior folga para a menor folga verificada.

Já no segundo caso, Whitehouse (1983) conduz uma análise comparada entre alguns dos algoritmos mais populares e (MORSE *et al.*, 1996) desenvolvem extensa análise comparada de combinações de regras heurísticas a partir dos problemas-testes formulados por (DAVIS; PATTERSON, 1975).

A respeito deste trabalho, cabe comentar que se tornou referência para todos os estudos de análise comparada desenvolvidos a partir de sua publicação, tanto pela extensão do conjunto de problemas-testes formulados como pela apresentação das respectivas soluções ótimas – identificadas com o auxílio de algoritmos de programação linear.

Trabalhos envolvendo avaliações das regras heurísticas implementadas nos *softwares* de apoio a programação (incorporando tratamento de redes lógicas), como o publicado por (FARID; MANOHARAN, 1996), também são baseados no conjunto de problemas-testes de Patterson.

As pesquisas abordando modelos que tenham objetivos baseados em custos foram iniciadas por (RUSSELL, 1970), que propôs método baseado no emprego de programação linear; mais recentemente este mesmo autor voltou ao tema estudando o emprego de regras heurísticas (RUSSELL, 1986).

Posteriormente, (KARSHENAS; HABER, 1990) propuseram uma modelagem, também baseada no emprego de programação linear, voltada para a construção civil, enquanto que (MATTHEWS, 1994) conduziu uma revisão da aplicação da programação com restrição de recursos – considerando custos – também para a área de construção civil.

Apesar da importância deste tipo de programação, a complexidade dos processos de resolução, quer por soluções matemáticas exatas, quer por processos heurísticos, tem limitado as pesquisas no setor.

Por fim, quanto aos modelos que consideram múltiplos objetivos, as pesquisas são ainda mais escassas, podendo ser citados os trabalhos de (LI; WILLIS, 1992) e (ÖZDAMAR; ULUSOY, 1994).

Enquanto a idéia inicial do nivelamento de recursos é de fácil entendimento, sua implementação na prática pode ser muito difícil. A folga disponível em cada atividade é determinada a partir das programações computacionais, sem consideração de exigências ou de disponibilidades de recurso (DAVIS *et al.*, 1995). Para resolver esse problema alguns métodos foram propostos no meio acadêmico desde a década de 60, onde se identifica na Figura 2 a evolução dos estudos mais significativos:

Figura 2 Evolução dos Estudos sobre métodos Heurísticos

2.4.6.1 *Burgess e Killebrew(1962)*

Este método utilizou uma medida simples da eficácia dada pela soma dos quadrados das necessidades de recurso para cada dia (período) na programação do projeto. Os passos para realizar o nivelamento de recursos segundo Burgess e Killebrew (1962) serão descritos a seguir:

1. Listar as atividades do empreendimento na ordem da precedência organizando o número da predecessora a sucessora em ordem ascendente. Ao usar a flecha ligando duas ou mais atividades que tenham o mesmo número principal, liste-as de modo que o número da sucessora esteja também em ordem ascendente (isto supõe que os eventos da rede estão numerados de modo que os números da sucessora sejam sempre menores que o número da predecessora). Adicione a esta lista a duração, o início mais cedo, e os valores das folgas para cada atividade;
2. Inicie com a última atividade programada (a do final da rede), programando período a período, para dar a menor soma do quadrado de recursos necessários em cada unidade de tempo. Se mais de uma programação der a mesma soma total dos quadrados, a seguir programe as atividades o mais tarde possível usando as folgas o máximo possível em todas as atividades precedentes;
3. Mantenha a última atividade fixa repetindo o passo 2 para a próxima atividade até a última atividade da rede, examinando as vantagens da folga que pode ter ficado disponível ao reprogramar no passo 2;
4. Continue o passo 3 até que a primeira atividade na lista esteja considerada, isto conclui o primeiro ciclo reprogramado;
5. Realize uma programação adicional dos ciclos repetindo etapas 2 a 4 até que nenhuma redução adicional na soma total do quadrado de necessidades de recurso seja possível, notando que somente o movimento de uma atividade à direita (programação mais tarde) é permissível sob este esquema.
6. Se este recurso for particularmente crítico, repita etapa 1 a 5 requisitando diferentes atividades, que, devem reordenar a lista das atividades em relação a precedência.
7. Escolha a melhor programação obtida após os passos 5 e 6;
8. Faça os ajustes finais na programação após o passo 7, levando em consideração os requisitos do cliente não considerados na programação básica.

2.4.6.2 *Davis e Patterson (1975)*

Os autores, baseados em pesquisas anteriores, testaram em conjunto de 8 regras heurísticas (Quadro 4), a partir de um conjunto de 83 diferentes problemas (rede lógicas carregadas com dados de tempo e

recurso). Inicialmente, cada problema é solucionado pelo emprego de um algoritmo “*bounded enumeration*”⁷ de modo a se obter a duração ótima *versus* as restrições na alocação de recursos. A seguir o mesmo problema é solucionado por cada uma das regras heurísticas a serem avaliadas. Os resultados são tabulados, observando-se a frequência da distribuição percentual de acréscimo na duração obtida vezes a duração “ótima”.

Nome da Regra	Notação	Descrição da Regra
Atividade com menor folga	MINSLK	Programa primeiro as atividades com menor folga total.
Atividade com menor data de término tarde	LFT	Programa primeiro as atividades com valores menores (mais cedo) da data de término tarde.
Método da programação de recurso	RSM	Índice de prioridade calculado com base na comparação do par composto das datas de término cedo e início tarde. Proporciona prioridade de modo aproximado, a incrementar a data de término tarde.
Maior demanda de recursos	GRD	Programa primeiro as atividades com maior demanda de recursos, a fim de concluir as atividades que possam engarrafar.
Recurso com maior utilização	GRU	Da prioridade ao grupo de atividades que resultam no menor volume de recursos ociosos em cada intervalo de programação. Envolve os processos com programação linear inteira logaritmica.
Operação com conclusão iminente	SIO	Programa primeiro as atividade com menor tempo de duração, de modo a concluir o maior número de atividades em um dado intervalo de tempo.
Tarefas mais possíveis	MJP	Prioriza o maior grupo de tarefas que possam ser programadas em um dado intervalo. Envolve programação linear inteira logaritmica.
Atividade selecionada aleatoriamente	RAN	Prioriza as atividades selecionadas aleatoriamente.

Quadro 4 Regras heurísticas propostas por Moder e Phillips, 1970 (extensa avaliação de desempenho por Davis e Patterson)

Os autores concluem que, embora nenhuma heurística isolada tenha se destacado de forma absoluta, a regra de priorizar, na disputa por recursos, as atividades com menor folga total apresentam a melhor eficiência (MINSLK). Em 50 casos, dentre os 83 problemas, esta regra proveu as menores durações face às outras regras listadas.

Avaliação feita do conjunto de regras do Quadro 4 mediante a resolução de 83 problemas, aplicando-se primeiro um algoritmo de solução ótima (*branch and bound*) e a seguir cada uma das regras analisadas, isoladamente. Os resultados são observados no Quadro 5:

Crítérios	Regras	MINSLK	LFT	RSM	GRD	RAN	GRU	MJP	SIO
No de vezes que a regra obteve o menor prazo, incluindo empates		50	28	28	15	13	6	4	3
No de vezes que a regra obteve o menor prazo, isoladamente.		15	5	5	4	5	0	1	1
No de vezes que a regra proporcionou a maior duração, incluindo empates		2	4	2	20	14	14	30	33
No de vezes que a regra proporcionou a maior duração, isoladamente		1	0	2	11	8	1	14	18

Quadro 5 Resultados dos testes de Davis e Patterson (1975)

As conclusões de Davis e Patterson foram:

⁷ Para detalhes deste algoritmo ver Silva (1999), item 2.4.2.4.

- nenhuma regra apresentou um melhor desempenho em todos os testes;
- a regra MINSLK – menor folga total apresentou o melhor desempenho;
- a regra LFT – data de término tarde, apresentou o segundo melhor desempenho;
- não foram identificadas limitações no emprego de regras heurísticas em função do porte da rede lógica.

Essa última conclusão tornou-se extremamente relevante e propiciou a disseminação desse tipo de abordagem nos algoritmos de alocação de recursos para *softwares* de programação de empreendimentos com capacidade para processamento de redes lógicas. A grande restrição a essa análise é quanto à avaliação de cada regra de modo isolado. Isso foi contornado, parcialmente, por (MORSE *et al.*, 1996).

2.4.6.3 Wiest e Levy (1978)

Esses autores ilustram a abordagem para alocação de recursos em programação de empreendimentos considerando programas simples que se baseiam em três regras heurísticas:

- alocação de recursos serial no tempo. Isto é, iniciar no primeiro dia e programar todos os trabalhos possíveis, fazendo o mesmo no segundo dia e assim por diante.
- quando vários trabalhos competem os mesmos recursos deve-se dar preferência a trabalho com menor folga;
- reprogramar os trabalhos não-críticos, se possível, liberando recursos para programar trabalhos críticos ou sem folga.

Para demonstrar como essas heurísticas funcionam, foram aplicadas em pequenos projetos contendo 10 atividades. Um número de diferentes programas de alocação para programação de grandes empreendimentos foi desenvolvido. Um deles é chamado SPAR-1, descrito como o modelo base que pode ser discutido ao ser elaborado com uma heurística adicional.

2.4.6.4 Harris (1978)

Processo baseado na formulação de uma programação-base ou de um histograma-base com as atividades críticas e na reprogramação das atividades cuja folga total seja menor ou igual à sua duração.

Cada atividade não-crítica é progressivamente adicionada ao histograma de recursos de modo a contribuir com a menor variação possível. O resultado aproxima-se significativamente daqueles obtidos pelas heurísticas de momentos mínimos.

Os passos básicos são:

- estabelecer matriz de alocação dos recursos em função das atividades;
- identificar, na matriz, quais posições podem ser ocupadas por uma dada atividade, quais devem ser ocupadas por ela e quais nunca poderão ser ocupadas;
- atribui-se recursos às locações possíveis;
- inicia-se a reprogramação das atividades pelas seguintes prioridades :
 - as atividades com maior taxa de consumo de recursos;
 - folgas totais – das menores para as maiores;
 - seqüência de atividades (cadeias) – das menores para as maiores;
 - reprograma-se a primeira atividade;
 - as atividades seguintes vem em cascata, procurando-se minimizar as penalizações às subseqüentes;
 - em caso de empate de penalizações, prevalece a data mais cedo.

Este processo descrito acima tem a vantagem sobre o anterior de ser mais rápido, embora os processos de momentos mínimos nem sempre sejam tão eficientes como os que empregam a soma dos quadrados.

2.4.6.5 *Antill e Woodhead (1982)*

O nivelamento é conduzido a partir do critério básico de priorização do uso dos recursos. Cada recurso é nivelado individualmente, seguindo uma seqüência preestabelecida; um processo de nivelamento não altera as condições estabelecidas na etapa anterior, caracterizando um processo em cascata ou série. Reprograma as atividades comprimindo e descomprimindo as redes buscando a melhor solução prazo *versus* custo.

Esse método é considerado um processo com regras procedurais simples, porém de aplicação extremamente complexa e trabalhosa mesmo para redes de porte médio.

2.4.6.6 *Moder et. al.(1983)*

Os autores apresentam um algoritmo para a aplicação do processo proposto por Burgess (1962), o qual estabelece critérios de prioridade para atividades e não para recursos; o princípio do algoritmo é avaliar as flutuações no uso de um determinado recurso e buscar sua minimização pelo método da soma dos quadrados.

Os passos básicos são os seguintes:

- identificação, em uma matriz, das atividades pela ordem de precedência, incluindo duração, data de início cedo e folgas obtidas a partir de uma primeira versão de programação com o método CPM ;
- a reprogramação tem início pela última atividade, ao final da matriz;
- o processo prevê o estudo do remanejamento das atividades, da última para a primeira, período a período, buscando obter a menor soma dos quadrados dos recursos requeridos a cada unidade de tempo. Isto significa trabalhar em um nível de uso do recurso o mais baixo possível – menor soma. O emprego da soma de valores ao quadrado é uma forma de tornar as variações mais evidentes;
- caso mais de uma solução conduza ao mesmo total das somas dos quadrados, então a atividade sob análise será programada para a data mais tarde possível, valendo-se das folgas das precedentes;
- mantendo-se a última atividade fixa na data decorrente da etapa acima, repete-se o processo para a atividade imediatamente anterior;
- repete-se o passo anterior até que todas as atividades tenham sido analisadas, completando o primeiro ciclo do nivelamento;
- repete-se todo o ciclo até que não seja possível se obter maiores reduções nas somas dos quadrados dos recursos requeridos;
- caso exista algum recurso crítico, repete-se o processo com ordenações alternativas das atividades, respeitada a precedência lógica;
- escolhe-se a melhor programação e aplicam-se os ajustes finais.

Apesar de conter várias etapas e aparentar ser trabalhoso, é um algoritmo de reconhecida eficiência e empregado, com variações, por vários *softwares* de apoio à programação de empreendimentos.

2.4.6.7 Olaguíbel e Goerlich (1989)

Os autores conduzem simultaneamente uma revisão das regras heurísticas mais empregadas na solução de problemas de alocação de recursos e apresentam novas heurísticas baseadas em algoritmos de propagação reversa associados a critérios de priorização baseadas na folga livre, limite mínimo e máximo de conclusão das atividades.

São comentados dois estados prévios: Davis e Patterson, 1975 e Cooper, 1976, Estes são estudos referenciais para o emprego de regras heurísticas na resolução do problema de alocação de recursos.

Em ambos os casos, são estabelecidas raízes quanto à eficiência de regras heurísticas e são empregadas metodologias similares.

Dada a importância destas abordagens metodológicas, elas são sumarizadas a seguir:

- é estabelecido um conjunto de problemas a serem solucionados . Estes problemas são compostos por redes lógicas e carregamentos referenciais a serem relacionadas pelas regras heurísticas a serem testadas
- é relacionado um conjunto de regras heurísticas e cada uma delas é aplicada para a solução dos problemas referenciais.
- os mesmos problemas são solucionados, isto é, são obtidos as alocações “ótimas” de recursos a partir de algoritmos numéricos.
- os resultados são tabulados de modo a se estabelecer um *ranking* das regras testadas *versus* as respectivas soluções “ótimas”.

A estruturação dos problemas referenciais busca, conforme Davis e Patterson (1975), *apud* Olaguíbel *et al.* (1989), explorar as considerações feitas por Pascoe (1965), quando ressalta que os efeitos das regras heurísticas em pequenos problemas são também os mesmos efeitos para grandes problemas.

Olaguíbel *et al.* (1989) enfatizam e adotam abordagem de Cooper (1976), com o emprego de problemas com o porte e complexidade progressivamente crescente.

Os testes conduzidos por eles compreendem 27 heurísticas, Quadro 6, para os quais foram conduzidos 144 testes (em problemas relacionados).

As redes lógicas usadas foram de 3 portes: 27, 51 e 103 atividades. Os projetos com 27 atividades são similares aos considerados por Davis e Patterson, 1975; já os projetos de 51 atividades são análogos aqueles empregados por Cooper, 1976. Os projetos com 103 atividades serviram para estudar os resultados prévios para redes de porte mais próximas da realidade.

Nome da Regra	Notação	Descrição da Regra
Menor duração	SPT	Atividades de menor duração primeiro
Maior duração	LPT	Atividades de maior duração primeiro
Mais sucessoras	MIS	Maior quantidade de sucessoras imediatas
Menos sucessoras	LIS	Menor quantidade de sucessoras
Máximo de sucessoras	MTS	Maior quantidade total de sucessoras
Mínimo de sucessoras	LTS	Menor quantidade total de sucessoras
Mais dependências	LNRI	Mais predecessoras e sucessoras
Maior caminho	LPI	Maior caminho de sucessão
Max. sucessoras/nível	MS/L	Mais sucessoras com data tarde mais tarde
Maior classificação	GRPW	Duração atividade + duração sucessoras
Menor classificação	LPRW	Extensão da menor duração
Max clas. / menor dur.	GPRPW	SPT + GRPW
Início mais cedo	FCFS	Inicia primeiro – atendida primeiro
Menor data cedo	EFT	Início cedo + duração
Data início tarde	LST	Prioriza as atividades mais urgentes
Data término tarde	LFT	Prioriza por data de conclusão
Menor folga	MINSK	Menor folga total
Menor folga/sucessora	LF/S	Menor folga x quantidade de sucessoras
Program. de recursos	RSM	Menor incremento na data tarde
Duração recurso eq.	RED	Atividades com maior duração equivalente
Dur. acum. rec. equiv.	CUMRED	Maior duração equivalente acumulada
Maior demanda rec.	GRD	Maior utilização de recursos
Maior produto prior.	GPOP	Combinação de regras
Aleatória	Random	Prioridade aleatória
Branch e bound	BBN2	Baseada em estrutura <i>branch e bound</i>
Max. de atividades	MJP	Maior grupo de atividades em conjunto
Maior utilização rec.	GRU	Menor vol. recursos ociosos

Quadro 6 Regras heurísticas do levantamento conduzido por Olaguíbel e Goerlich (1989)

O parâmetro de tempo considerado pelos autores foi a folga livre. Já o carregamento de recursos considerou a disputa de 6 tipos de recursos em cada projeto (problema). Os resultados, visto o *ranking* de eficiência das heurísticas testadas, podem ser encontrados no Quadro 7. Esse quadro mostra na ordem crescente distanciando da solução ótima, que os resultados são similares aos obtidos por Davis e Patterson (1975), que encontrou LST (dinâmica MINSLK) como melhor seguida por LFT e RSM, resultados também relatados por Cooper (1976), com CUMRED, GRPW, MTS e LFT nas primeiras posições do *ranking*.

Ordem	Peso decrescente de eficiência	Algoritmo
1	0,74%	BBN10
2	0,83%	BBN5
3	1,24%	BBN2
4	3,30%	GRPW
5	3,41%	LFT
6	3,55%	MTS
7	3,57%	CUMRED
8	3,84%	RSM
9	3,97%	LST
10	4,13%	LPF
11	4,83%	MS/L
12	5,08%	GPRPW
13	5,32%	LF/S

Ordem	Peso decrescente de eficiência	Algoritmo
14	5,32%	GPOP
15	5,69%	LNJR
16	6,28%	MINSLK
17	6,73%	MIS
18	7,60%	FCFS
19	7,98%	Random
20	8,00%	EFT
21	8,03%	GRD
22	8,28%	RED
23	9,01%	SPT
24	9,02%	LPT
25	9,25%	LIS
26	11,96%	LTS
27	12,57%	LPRW

Quadro 7 Resultados obtidos por Olaguíbel e Goerlich (1989)

2.4.6.8 Morse et al. (1996)

Os autores reviram a abordagem de Davis e Patterson, 1975 aplicando uma combinação de regras heurísticas para a solução de um conjunto de 108 problemas, originalmente desenvolvidos por Patterson (1973). Enquanto Davis e Patterson (1975) estudaram as regras heurísticas de modo isolado, aqui os autores combinaram, progressivamente, as regras que previamente obtiveram melhores resultados. A metodologia empregada é análoga a de Davis e Patterson (1975) e Patterson (1984) em seus trabalhos anteriores.

Nessa avaliação foram empregados os mesmos testes formulados por Patterson, inclusive os resultados das soluções ótimas como referência para avaliação do desempenho das regras. Acrescentou-se ao processo de avaliação conjuntos de regras heurísticas combinadas, por ordem de aplicação e sem ponderação. As regras avaliadas encontram-se no Quadro 8.

Nome da regra	Notação	Descrição da regra
Atividade mais longa	LAF	Prioriza a atividade de maior duração
Atividade de conclusão mais cedo	SJF	Prioriza a atividade de menor duração
Primeira a iniciar, primeira a ser atendida	FCFS	Dá prioridade a atividade que começa primeiro
Data de término tarde	LFT	Prioridade para as atividades com data de término mais tarde
Menor data de término cedo	MEF	Prioridade para as atividades com menores data de término cedo
Menor folga primeiro	MSF	Prioriza as atividades com menor folga total
Maior folga primeiro	Max SF	Prioriza as atividades com maior folga total
Atividade de maior impacto	ACTIM	Atende primeiro as atividades que consomem mais tempo em um dado caminho da rede lógica
Atividade de maior demanda de recurso	ACTRES	Prioriza as atividades que apresentem a maior relação duração x volume de recursos
Taxa de consumo de recursos	ROT	Atende as atividades com a maior taxa de consumo de recursos em um dado caminho

Quadro 8 Regras avaliadas por Morse *et al.* (1996)

As combinações de regras citadas no Quadro 8 encontram-se abaixo.

- ACTIM, LFT, ROT.
- ACTIM, LFT, ROT, ACTRES.
- ACTIM, LFT, ROT, ACTRES, MEF.

Das cinco regras combinadas, três tratam especificamente de atributos de tempo, são elas:

- ACTIM – maior duração, no caminho sob análise;
- LFT – data de término mais tarde;
- MEF – menor data cedo.

Duas regras (MSF, menor folga e LFT, data de término tarde) apresentam desempenho relevante em ambos os testes, conforme Quadro 9. A regra de início cedo apresenta o melhor desempenho, após o critério de menor folga, no teste de Morse *et al.* (1996). Isto significa que é possível se aplicar o mesmo processo estabelecido para o nivelamento de recursos, apenas se introduzindo um aumento na restrição de prazo.

Critério	No de durações ótimas
Max SF	6
SJF	8
MEF	10
ROT	10
LAF	17
FCFS	18
MSF	20
Patterson	27
LFT	29
ACTRES	30
ACTIM	35
Combinação de 3 regras	45
Combinação de 4 regras	46
Combinação de 5 regras	48

Quadro 9 Resultados da solução de 108 carregamentos (MORSE *et al.*, 1996)

Cabe salientar que os autores não tratam de regras heurísticas que considerem a alteração da duração da atividade, mas uma regra heurística merece destaque, tanto por uma eficiência como por sua aproximação com as abordagens observadas na TOC. É a regra denominada ACTIM, pela qual se atende primeiro a atividade que consome mais tempo em qualquer dos caminhos não-críticos de uma rede lógica.

De acordo com os autores está é a regra que, de modo isolado, obtém o melhor número de durações ótimas para o conjunto de problemas resolvidos. Além de integrar todas as combinações de regras heurísticas listadas.

2.4.6.9 Halpin e Woodhead (1998)

Desenvolve um conjunto de teoremas e algoritmos para a solução de problemas de alocação de recursos aplicada a conjunto de projetos cuja única inter-relação seja a disputa de recursos comuns:

- emprega programação linear associada à compressão das redes para o estabelecimento de uma sequência de alocação de recursos. A seguir desenvolve um algoritmo para minimizar a duração da conclusão do conjunto de projeto mediante a busca pela minimização da combinação da curva de custos (decorrente da compressão do conjunto de projeto) *versus* a curva de data de conclusão do conjunto do projeto;
- permite a inclusão de atributos para a minimização da execução de projeto tardios (ALAP), bem como de limites máximos para a data de conclusão do conjunto de projetos;
- estende estas considerações para aplicações com múltiplos recursos.

Estas considerações permitem que sejam estabelecidos cenários para a relação de soluções quanto à sequência de projeto a serem conduzidos (dentro do conjunto de projetos) bem como o montante das sequências de alocação de recursos.

As premissas e considerações quanto à variação da duração dos projetos *versus* alocação de recursos são análogos aqueles descritos na abordagem de Antil e Woodhead (1995). Salienta-se que não é abordada a questão do nivelamento em si mesmo.

2.4.6.10 Lorterapong apud Silva (1999)

Lorterapong (1995) aplicou números nebulosos ao método CPM, propondo alocação de recursos expressa por *fuzzy numbers*. Casos que consideram números nebulosos trapezoidais são associados, por simplificação, a equivalentes triangulares e limitando a propagação da incerteza.

O método desenvolvido por Silva (1999) é aquele que consolida maiores avanços na resolução de redes lógicas com números nebulosos, ao incorporar os processos de McCahon, 1993 (emprego de números nebulosos triangulares). Esse autor propôs um método de nivelamento, variante do

algoritmo de Moder *et al.* (1983), utilizando alocação com número nebuloso para a construção civil e calculando folgas. Os critérios de priorização de atividades consideram as seguintes regras:

- maior duração;
- data de início cedo;
- data de término cedo;
- menor folga total;
- término tarde.

Aplicação do critério:

- tabulação das atividades não-críticas;
- classificação isolada a partir de cada regra;
- classificação geral por avaliação simples, sem ponderação, priorizando as atividades para programação seqüenciada, porém não em série;
- programações em paralelo são admitidas, observado o impacto na variação do carregamento do recurso;
- avaliação direta da variação do carregamento do recurso, sem emprego do método dos mínimos quadrados;
- desempates entre atividades concorrentes ao mesmos recurso obedecerão ao critério de menor impacto no carregamento e menor folga total.

Os critérios acima citados foram aplicados nas 4 redes elementares propostas por McCahon (1993), estendendo a 12 redes de médio porte utilizadas por Davis e Patterson (1975) e concluindo os trabalhos em uma rede de grande porte de 40 atividades.

2.4.6.11 Análise Geral

Ao fazer uma análise dos métodos descritos identificou-se na literatura que quando se trata de extensão de prazo, o algoritmo de Moder *et al.* (1983) é bastante eficiente, inclusive é aplicado em *softwares* de gerenciamento.

Todos os algoritmos estudados empregam o critério de priorização de recursos ou folgas não trabalhando com relaxamento de durações, apesar de ser proposta na bibliografia a possibilidade de aplicação desse item. Um resumo contendo os aspectos relevantes de cada regra como: atributo de tempo, algoritmo empregado e suas aplicações, são apresentadas no Quadro 10.

ASPECTOS RELEVANTES	MODER (1983)	HARRIS (1990)	ANTILL E WOODHEAD (1995)	LORTERAPONG (1995) e SILVA (1999)
Atributos de tempo	Ênfase na atividade aplica atributo de data e folga.	Ênfase na atividade, aplica atributos de data e folga.	Ênfase no recurso e não na atividade.	Ênfase na atividade aplica atributo de data e folga.
Algoritmo	Observa a sequência lógica e prioriza as atividades pelas datas e folgas - solução a partir daquela que cause menor impacto (carregamento da etapa anterior).	Observa a sequência lógica e prioriza atividades pelo critério de menor folga total, e as que apresentem maior taxa de consumo de recursos.	Processo em série, prioriza recursos e nivela os recursos por etapa, sucessivamente.	Observa sequência lógica e prioriza atividades cujo atributo de tempo seja expresso por número nebuloso.
Aplicações	O mais disseminado.	Algoritmo mais rápido.	Forte referência acadêmica.	Regras matemáticas.
	Aplicado em softwares de programação que processam redes lógicas.	Sem referências quanto ao seu emprego em softwares de programação de empreendimentos.	Poucas referências práticas.	Sem referências quanto ao seu emprego em softwares de programação de empreendimentos.

Quadro 10 Quadro comparativos dos algoritmos heurísticos

Analisando todos os métodos propostos acima se pôde concluir que:

- todos os métodos são de difícil aplicação;
- utilizam algoritmos complexos; e,
- os utilizados em *software* não são disseminados na prática.

Os métodos propostos acima utilizam a folga total e livre para o nivelamento de recursos, deslocando as atividades que tem folga para espaços onde os recursos necessários para sua execução são menos requisitados.

Mas para nivelar os recursos também se pode reduzir ou aumentar os recursos, de forma proporcional, variando assim a duração das atividades. Essa ação ocasiona a compressão ou descompressão da rede descrita no item 2.4.2.

Como as programações são apoiadas em estimativas dos ciclos não se estabelecendo uma correlação entre esses ciclos e as equipes necessárias, a compressão e descompressão são menos utilizadas no que se refere ao nivelamento de recursos. Isso justifica o fato que nenhuma regra heurística para nivelamento de recursos, proposta acima, considera essa ação.

Na bibliografia estudada neste capítulo observa-se uma extensa biblioteca de regras heurísticas voltadas tanto para a alocação de recursos como para o nivelamento de recursos.

Esta tem sido a solução mais empregada em *softwares* de programação disponíveis, visto que a aplicação de algoritmos numéricos para a determinação de soluções exatas ou ótimas somente tem sido possível para projetos de pequeno porte, dada a matriz combinatória para a solução destes problemas *versus* a capacidade de processamento dos equipamentos comercialmente disponíveis.

Estas soluções heurísticas por sua vez tanto podem ser soluções numéricas, tais como algoritmos *branch-and-bound*, como geração de seqüências de priorização por atributos das atividades (folga total, demanda de recurso, etc.)

O princípio básico destes algoritmos é a re-programação das datas de início das atividades de modo a diminuir o uso dos recursos sob análise, adequando as suas disponibilidades. Só observa abordagens que considerem a re-programação da duração das atividades para a solução do problema da alocação de recursos, na busca por uma otimização dos parâmetros de [prazo] *versus* [custo] de uma dada programação. Não há, nestas abordagens, considerações quanto ao menor prazo factível com uma dada disponibilidade de recursos, mas a ênfase na busca por um balanceamento ótimo de [prazo] *versus* [custo]. Observa-se isto em Antil e Woodhead (1982); Halpin e Woodhead (1998).

Ressalva-se que o uso da expressão ótima é feito em estrita observância aos textos originais, mas é uma expressão questionável, pois uma solução só pode ser considerada ótima face uma determinada situação de programação e para um determinado cenário esperado para a implantação de um dado projeto.

Como, conceitualmente, um projeto é considerado como único, não há como validar uma dada solução de programação como ótima, pois não há como se validar previamente na aplicação.

Na bibliografia estudada identificou-se que a prática de nivelamento de recursos com aplicação de regras heurísticas desde a proposição de Burgess (1962), assim como as propostas por Davis e Patterson (1975), Harris (1978), Antill e Woodhead (1982), Moder *et al.* (1983), Morse *et al.* (1996); até Lorterapong *apud* Silva (1999) apresentam pouca implementação prática. Este é um campo do estudo ainda em evolução.

Por não possuírem métodos simples e práticos para análise dos recursos os modelos de planejamento têm grande preocupação com prazo e desprezam a necessidade de balanceamento da alocação dos recursos, os considerando infinitos (MODER *et al.*, 1983). Além disso, todos os métodos tratam o nivelamento dos recursos analisando as atividades individualmente e não verificando a cadeia onde ela se encontra.

O Quadro 11 traz uma síntese das abordagens dos métodos de solução da programação por recursos, seja de nivelamento ou de alocação.

Autor	Utiliza	Prioriza	Busca
Burgess e Killebrew (1962)	Remanejamento da atividade a partir da folga	Recursos	Recurso Mínimo
Davis e Patterson (1975)	Remanejamento da atividade a partir da folga	Duração	Duração ótima
Harris (1978)	Remanejamento da atividade a partir da folga	Atividade	Recurso Mínimo
Levy e Wiest (1978)	Remanejamento da atividade a partir da folga	Recursos	Recurso Mínimo
Antil e Woodhead (1982)	Compressão e descompressão da duração	Recursos	Duração ótima x Custo
Moder et al (1983)	Remanejamento da atividade a partir da folga	Atividade	Recurso Mínimo
Olaguíbel e Goberlich (1989)	Remanejamento da atividade a partir da folga livre	Duração	Duração ótima
Morse et al (1996)	Remanejamento da atividade a partir da folga	Duração	Duração ótima
Halpin e Woodhead (1998)	Compressão e descompressão da duração e Folga	Duração	Duração ótima x Custo
Loterapong apud Silva (1999)	Remanejamento da atividade a partir da folga	Atividade	Recurso Mínimo

Quadro 11 Síntese das abordagens heurísticas

2.5 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Aqui serão apresentados alguns conceitos da Teoria da Restrição (TOC). Antes de discorrer sobre o assunto, vale ressaltar, que Goldratt, autor da TOC, não é um acadêmico, e sim um empreendedor, seus livros (tipo romance) e proposições têm sofrido restrições de boa parte da academia. Entretanto, não se podem negar algumas idéias que ainda tentam influenciar o ensino e a pesquisa acadêmica na área da gerência da produção e das operações (TRIETSCH, 2005). Ao se fazer uma revisão dos principais revistas e artigos de gerenciamento de empreendimentos identificou-se que pelo menos um artigo foi publicado ao ano sobre esse tema. Isso mostra a relevância desta abordagem. Nesse intuito serão apresentados alguns conceitos fundamentais para atender ao objetivo desta Tese.

2.5.1 A Teoria das Restrições

O OPT (*Optimized Production Technology*, ou tecnologia da produção otimizada), de Eli Goldratt, desenvolvido na década de 70, é considerado o gênesis dos sistemas de gargalos (SILPPER; BULFIN, 1998). Foi, inicialmente, fundamentada em programas de computação com o objetivo de desenvolver e implementar um sistema de programação para sistema de produção (chão de fábrica).

O Gerenciamento de Projetos com Cadeia Crítica (*Critical Chain Project Mangement* - CCPM), que foi desenvolvido e publicado por Eliyahu M. Goldratt (1997) em seu livro *Corrente Crítica*, é uma nova abordagem para controle de projetos. Goldratt é bem conhecido na comunidade de gerenciamento como o proponente da Teoria das Restrições (TOC). A TOC é uma “teoria” desenvolvida para controlar os sistemas de produção repetitivos baseados no princípio que cada sistema tem uma restrição, e o desempenho do sistema só poderá ser melhorado se aumentar o desempenho do recurso com restrição. O CCPM é uma extensão da TOC desenhado especificamente para ambientes do projeto. No livro original, tão bem como nas publicações de seus proponentes, por exemplo, Newbold (1998), Homer (1998), Simpson e Lynch (1999) e Leach (1999), o CCPM apresenta uma alternativa aos métodos clássicos para o planejamento e o controle do projeto, como aqueles contidos nos textos de gerenciamento de padrões profissionais.

A Programação da Cadeia Crítica e o Gerenciamento dos *Buffers* (CCS-*Critical Chain Schedule* /BM *Buffer Management*) - a aplicação direta da Teoria das Restrições (TOC) ao gerenciamento de projeto recebeu muita atenção na literatura. Subseqüente à publicação do livro de Goldratt *Corrente Crítica*, em 1997, outros livros (NEWBOLD, 1998; LEACH, 2000) e artigos (CABANIS-BREWEN, 1999; GLOBERSON, 2000; HERROELEN & LEUS, 2000; LEACH, 1999; MAYLOR, 2000; PATRICK, 1999; PINTO, 1999; RAND, 2000; UMBLE; UMBLE, 2000) foram escritos para esclarecer e discutir a filosofia CCS/BM. Grupos de discussão da internet também foram estabelecidos para discutir questões sobre programação com cadeia crítica. Estes grupos incluem o grupo de cadeia crítica do

Yahoo⁸, grupo de orientação da TOC avançado no Yahoo⁹ e grupo de interesse específico em gerenciamento das restrições - APICS¹⁰.

As publicações dos livros de Goldratt geraram alguma controvérsia na comunidade de gerenciamento de projetos (GLOBERSON, 2000). A proposta CCPM é a maneira nova, revolucionária de pensar que pode conduzir ao maior desempenho em termos de reduzir o tempo ciclo, aumentando as ações corretivas ao desenvolver uma programação comprometida com os orçamentos (RAZ *et al.*, 2003). Outros admitem este formato como *hype*, discutindo que os princípios que regem CCPM são conhecidos há décadas, e o único diferencial do CCPM está na terminologia e não em seu conteúdo (GLOBERSON, 2000).

Ao investigar aplicações práticas em empresas identificou-se que a Lucent Technologies e Harris Semicondutor foram descritos para demonstrar a eficácia da aplicação CCS/BM (LEACH, 1999; UMBLE; UMBLE, 2000), outras fontes (ZALMENSEN; ZINMAN, 2000, 2001) alertam ao leitor os sérios inconvenientes e as falhas da execução ou pelo menos as reclamações de que CCS/BM não são conceitos novos (WILKENS, 2000). Há ainda muita controvérsia sobre os méritos e as falhas da metodologia CCPM/BM.

Ao avaliar a bibliografia verificou-se na revista do PMI uma nota publicada em janeiro de 2001 após ser confrontado sobre muitas referências e críticas sobre o CCS/BM que uma em cada dez pessoas acredita ser verdadeiros ou não oferecem uma avaliação justa da técnica CCPM/BM empregada nos projetos.

A maioria dos artigos analisados como embasamento teórico mostra que todos não procuraram nem defender ou rejeitar CCS/BM. A metodologia de CCPM/BM tem muito a oferecer se aplicada sabiamente e se as implicações e as limitações práticas forem bem compreendidas (PINTO, 1999).

Na prática de gerenciamento de projetos a aplicação de CCPM requer o uso de um *software* especializado oferecido por um pequeno número de vendedores que não são necessariamente ligados ao mercado. Em consequência, alguma organização que pretende adotar o CCPM como uma maneira para melhorar o desempenho do projeto enfrenta os custos significativos, tanto em termos econômicos quanto nas mudanças da cultura de seus procedimentos de trabalho. Em um consenso geral, uma avaliação cuidadosa de CCPM e de seu potencial pode trazer melhorias significativas e sustentáveis no desempenho (RAZ *et al.*, 2003).

Como o simples uso de um *software* não iria garantir à empresa um processo auto-sustentado de melhoria contínua, foi necessário quebrar certos paradigmas que regem as organizações, mudando a forma de agir e pensar das pessoas. Tornou-se evidente a necessidade de desenvolver um método em

⁸ <http://groups.yahoo.com/group/criticalchain>

⁹ <http://groups.yahoo.com/group/toceexperts>

¹⁰ <http://www.apics.org/lists/default.htm>

que se permitisse criar, comunicar e implementar uma solução para a produção. Surgia desta maneira os alicerces do que é hoje conhecido como Teoria das Restrições, ou seja, um conjunto de pressupostos, regras e princípios capazes de orientar um processo focalizado de gerenciamento empresarial e que transcende o OPT enquanto metodologia de programação da produção (HERROELEN *et al.*, 2002).

Como explicitado por Cox e Spencer (1998), o uso do termo OPT deveria ser limitado à descrição do *software* como ele está atualmente disponível. O *software* fornece uma metodologia de programação finita baseada na maximização da produção através da operação do gargalo. Ele contém elementos de DBR (“*Drum-Buffer-Rope*” ou Tambor-Pulmão-Corda¹¹), mas não está solidificado como um sistema. Ele não contém um sistema de medidas de desempenho, idéias, ou outros conceitos fundamentais de como uma organização opera, ainda que o *software* OPT execute um programa que assume algum destes conceitos existentes no ambiente de produção.

A primeira experiência bem sucedida de abordar o que foi depois chamado de “O processo de raciocínio da Teoria das Restrições” se deu através da publicação de “A meta” não somente como uma base sedimentada da Teoria das Restrições, como também útil em aplicações industriais via implementação dos conceitos de programação da produção delineados.

Tornava-se evidente, desta forma, que o uso do *software* não deveria mais ser a prioridade número um dentro do processo de implementação de soluções de produção. Tal constatação levou à desvinculação de Goldratt com os produtores dos sistemas computacionais e a conseqüente fundação do *Avraham Y. Goldratt Institute* em 1986, com o propósito declarado de gerar e disseminar conhecimento através dos processos de raciocínio da TOC. A aplicação destes processos não se limitou ao desenvolvimento de soluções para a produção. Outras áreas de negócio também foram abrangidas pela Teoria das Restrições como logística de distribuições, gerenciamento de projetos, *marketing*, entre outras.

Diante disso, pode-se dizer que a Teoria das Restrições se divide em dois grandes grupos de trabalho: os processos de raciocínio (propõem ferramentas para lidar com situações marcadas por restrições não-físicas) e o processo decisório (propostos para ambientes com restrições físicas).

O caminho fornecido pela Teoria das Restrições para administrar os processos passa por dois pontos fundamentais que contempla (GOLDRATT, 1998):

- procedimento para enfocar - este procedimento é um processo de raciocínio que permite a avaliação dos impactos de decisões e ações locais no desempenho total do sistema produtivo,

¹¹ Drum (tambor) – é compreendida como o ritmo imposto a produção pelas restrições identificadas; *Buffer* (Pulmões) – são prazos (intervalos de tempo) usados para proteger o projeto ou sistema produtivo contra incertezas; *Rope* (corda) – é um mecanismo (processo ou procedimento) que força a todas as partes envolvidas a trabalharem sob o ritmo definido pelo tambor (GOLDRATT; FOX, 1992).

diferente do TQM (Total Quality Management) que enfoca o controle e melhoria de processos (DETTMER, 1995). Este mesmo procedimento é o ponto de partida para o gerenciamento das restrições, capacitando os gerentes a planejar todo o processo de produção e focar nos recursos que mais causam impactos (COX e SPENCER, 1998);

- mudança do paradigma do mundo dos custos para o mundo dos ganhos - esta mudança de paradigma implica necessariamente em proteger os ganhos antes de controlar os custos.

Além disso, é preciso identificar as restrições e verificar minuciosamente se existem conflitos entre elas. Desta forma, deve-se tratar a OPT como um método de planejamento e controle da produção, que utiliza os conceitos administrativos da Teoria das Restrições (TOC - *Theory of Constraints*), visando otimizar a programação pela maximização da utilização dos gargalos de um dado processo produtivo sob análise.

Na abordagem do sistema de gargalos, o processo em consideração é visto em termos de bens e serviços em movimento. Sempre que existir uma quantidade de bens ou serviços imediatamente antes do gargalo, o processo deve ser operado avaliando a capacidade máxima dos gargalos para permitir um fluxo constante.

No OPT há uma distinção entre gargalos e recursos com restrições de capacidade (CRR- *Capacity Constrained Resources*). Um gargalo se aplica ao caso de uma etapa, ou conjunto de etapas, quando um sistema que não puder processar o bem ou serviço com rapidez suficiente para prevenir atrasos, tanto em termos de estoque em processo como de atendimento da demanda. O recurso com restrição de capacidade (CCR) é um bem ou serviço necessário para a criação do produto final que é esgotado antes de o produto final ser entregue.

Para aperfeiçoar o fluxo através do gargalo de um dado sistema produtivo, este deve operar continuamente e com capacidade total. Uma vez que o gargalo é o componente mais lento do processo, ele acaba fixando o ritmo do sistema. A produção do processo é limitada pela produção do gargalo; assim ao diminuir a produção no gargalo existe uma redução da produção que não pode ser recuperada. Desta forma, um estoque de bens ou serviços é necessário antes do gargalo, de modo que o mesmo estará sempre operando em sua capacidade máxima. A capacidade de bens ou serviços enviados ao gargalo é chamada de lote de transferência. Dado que a finalidade do lote de transferência é manter o gargalo funcionando em um nível ótimo, a quantidade a ser estocada irá depender da taxa de processamento do gargalo.

A quantidade de bens ou serviços produzidos pela origem que alimenta o gargalo em um determinado momento é chamada de lote de processamento. Em sistemas com gargalos é necessário reconhecer que, para otimizar o sistema inteiro, o lote de transferência e o lote de processamento podem não ser do mesmo tamanho (em quantidade).

Com os componentes fundamentais do sistema de gargalos definido, pode-se agora concentrar a atenção na otimização da programação desse sistema produtivo a partir de cinco etapas básicas:

- a) determinar o gargalo e os CCRs;
- b) otimizar os CCRs;
- c) programar os gargalos para que atuem na sua capacidade produtiva máxima;
- d) programar o processo localizado antes do gargalo;
- e) programar o processo localizado depois do gargalo.

Existem nove regras básicas para programação com OPT (MORTON; PENTICO, 1993):

- a) balancear o fluxo e não a capacidade;
- b) a utilização de um não gargalo é determinada por uma restrição no sistema (um gargalo);
- c) a utilização e a ativação do recurso não são sinônimas;
- d) qualquer perda de produção em um gargalo se traduz em perda para o sistema como um todo;
- e) ganhos em um não-gargalo não se traduzem em ganhos no gargalo ou para o sistema como um todo;
- f) gargalos determinam o ganho e o nível de inventário (estoque, acumulado ao longo do processo produtivo);
- g) para otimização, os lotes de transferência podem não ser iguais aos lotes de processamento;
- h) o tamanho do lote de processamento, através do sistema, não deve ser fixo;
- i) a programação deve ser estabelecida após a avaliação de todas as restrições atuando simultaneamente;
- j) identificando a corrente crítica.

2.5.2 Definindo restrição

De acordo com os pressupostos presentes na Teoria das Restrições, restrição é qualquer coisa que limita um dado sistema produtivo em atingir maior desempenho em relação a sua meta (GOLDRATT, 2002). Analisando as organizações como sistemas onde seus elementos são dependentes entre si de

alguma forma (como elos de uma corrente), a TOC costuma fazer uso de uma corrente como analogia às organizações em geral.

Assim, da mesma forma que todo sistema possui um objetivo, a meta de uma corrente é resistir à tração (GOLDRATT, 1997). Pode-se afirmar devido às flutuações estatísticas que todo sistema possui pelo menos uma restrição ou que toda corrente possui sempre apenas um elo mais fraco (ponto onde se rompe quando tencionada acima de seu limite de resistência a tração). Tal afirmativa pode ser comprovada ao se analisar a realidade dos sistemas produtivos. Se tais sistemas não possuem restrições, ou seja, se nada limita seus desempenhos, qual seria então seu maior lucro líquido? Uma vez que não existe nenhuma organização capaz de gerar um lucro operacional infinito, fica claro que sempre existirá ao menos uma restrição que limitará o ganho de qualquer tipo de empresa.

Goldratt (1991) defende a existência de diversos tipos de restrições. Podem ser físicas, como máquinas com baixa capacidade produtiva, despreparo da mão-de-obra, baixo número de empregados, ou não-físicas, como a política da empresa, fatores comportamentais ou culturais. Entretanto, as restrições físicas podem ser consideradas, na maioria das vezes, como reflexos das restrições comportamentais ou de procedimentos da organização.

Fawcett e Pearson (1991), afirmam que o gerenciamento das restrições, para ser mais efetivo, deve considerar a existência de dois tipos de restrições: externas e internas. As restrições externas são governadas pelo mercado e estão freqüentemente fora de controle da administração. Entretanto, as restrições de mercado influenciam o *mix* de produtos da empresa e conseqüentemente a taxa de utilização dos recursos. Tais restrições, portanto, devem ser consideradas dentro de um processo decisório.

As restrições internas, por outro lado, podem surgir por diversas formas como capacidade limitada em uma estação de trabalho, inflexibilidade nas regras de trabalho, habilidades da mão-de-obra e filosofias administrativas. Ainda de acordo com os autores, as restrições físicas são as mais freqüentemente discutidas e as de mais fácil gestão. Nestes casos, o número total de recursos restritivos seria, na maioria das vezes, menor que cinco ou seis (GOLDRATT, 1997).

Segundo Csillag (1991), as diversas categorias de restrições podem ser relacionadas como de mercado, material, comportamental e de política. Ele ressalta, contudo, que em geral, os gerentes de produção se atentam às restrições referentes à falta de material ou capacidade insuficiente de alguns equipamentos, deixando de lado outras que deveriam receber maior atenção, como as relativas aos procedimentos ou políticas da empresa como não permitir segundo turno ou horas-extras.

Outra forma de restrição comportamental seria fruto de uma sistemática de controle de eficiência que procura incentivar tanto as pessoas quanto as máquinas a produzirem continua e ininterruptamente. Ainda que neste momento possa parecer difícil notar-se o verdadeiro impacto deste tipo de restrição, deve-se sublinhar aqui que o ganho de uma organização não está em manter o tempo todo equipes

produzindo, mas sim no balanceamento do seu fluxo, na redução do seu inventário¹², na redução do tempo do ciclo (*leadtime*) e principalmente na venda rápida do seu produto.

Para Plantullo (1994), além das restrições de capacidade podem aparecer aquelas localizadas no ambiente externo à organização. Aparecem deste modo, as restrições de mercado consumidor final que podem ser diretas, quando um produto ou serviço compete com o mesmo produto ou serviço da empresa ou então indiretas, quando a demanda do produto aumenta, mas por falta de capacidade, há uma redução na probabilidade do sistema em propiciar outro produto ou serviço equivalente. Outras formas de restrições próprias do ambiente externo são aquelas geradas pelos fornecedores, quando estes suprem os compradores de maneira inadequada.

2.5.3 Processo decisório da Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições propõe uma sequência de passos que deve ser seguida por qualquer organização que pretenda adentrar num processo focalizado de aprimoramento contínuo. Este processo, primeiramente descrito por Goldratt e Cox (2002), foi desenvolvido com o intuito de capacitar as empresas a reconhecerem sistematicamente os principais elementos do sistema que devem ser aprimorados (as restrições) a fim de melhorar o desempenho da organização como um todo. A partir daí, tal processo fornece um procedimento simples e intuitivo de focalização constituído por cinco passos para lidar com estes elementos restritivos denominados processo decisório da Teoria das Restrições.

Se um melhor desempenho organizacional está sempre limitado por alguma coisa, ou seja, por uma restrição, torna-se lógico e ao mesmo tempo intuitivo que o primeiro passo num processo decisório seja **identificar a(s) restrição (ões) do sistema**.

O bom senso também diz, pelo menos num primeiro momento, que o passo seguinte deveria ser a total eliminação da restrição. Entretanto, a Teoria das Restrições, propõe para o caso das restrições físicas, devido à necessidade de grandes investimentos, que a eliminação da maioria das restrições exigiria então, o segundo passo: **explorar da melhor forma possível a restrição identificada**.

Obtido o máximo aproveitamento da restrição, a próxima etapa deverá levar em conta a grande maioria dos recursos da empresa que são do tipo não-restrição. Se forem mal gerenciados, estes irão perder desempenho e rapidamente se tornarão restrições. Por outro lado, uma vez que as restrições, quando bem exploradas de acordo com o passo anterior irão consumir recursos, fica claro que os demais recursos devem fornecer o necessário, nem mais nem menos, o que as restrições precisam consumir. Caso a quantidade fornecida seja maior do que as restrições são capazes de consumir ter-se-

¹² estoque, acumulado ao longo do processo produtivo

ia então, não apenas um enorme desperdício de recursos, como também um total descontrole em todo o sistema produtivo. Por outro lado, se o fornecido for inferior a capacidade dos recursos restritivos, então todo o sistema será prejudicado pelo mau aproveitamento da restrição e conseqüente perda de ganho. O próximo passo deverá ser **subordinar tudo à decisão anterior.**

Com a situação atual sob controle, é hora de se preocupar com a eliminação das restrições. Este é o passo de **eleva a restrição do sistema.** É importante salientar aqui que, segundo Goldratt e Cox (2002), muitas vezes, após executado o segundo e terceiro passo, onde as restrições deixam de ser desperdiçadas elas começam a aparecer como tendo mais do que o suficiente, isto é, descobre-se agora que a real restrição da organização está em outro lugar do sistema. Assim, este quarto passo só deve ser efetivado quando os dois anteriores estiverem completos.

Csillag (1991) defende que esta etapa pode ser efetuada através de trabalhos de análise de valor, cuja metodologia permite encontrar melhores desempenhos as funções adequadas com um consumo reduzido de recursos. Tal aplicação seria uma boa alternativa aos grandes investimentos financeiros necessários na aquisição de novos equipamentos e ferramentas.

Quando no quarto passo, ao acrescentar-se aquilo que não se tem o suficiente, até o ponto da restrição não ser mais um fator limitante no desempenho da companhia, algo novo surgirá impedindo a empresa de alcançar melhores níveis de desempenho. Este fator limitante será a próxima restrição do sistema e deverá ser tratada com a mesma seqüência de passos da restrição anterior. Logo, ter-se-á como quinta etapa do processo decisório, a seguinte regra: **se nos passos anteriores uma restrição for eliminada, volte ao passo 1.**

Goldratt (2002) adverte que muito cuidado deve ser tomado neste ponto. De acordo com ele, durante a convivência e execução das quatro primeiras etapas do processo, algumas regras e princípios são desenvolvidos até mesmo de maneira formal pela empresa. Entretanto, quando uma restrição é eliminada, a realidade muda e estas regras ou princípios deixam de ter valor. Neste ponto podem surgir as chamadas restrições políticas. Goldratt (2002) ainda acrescenta que muitas políticas errôneas que as organizações tanto insistem em utilizar, são na verdade resultados de práticas bem sucedidas de uma realidade de trinta ou mais anos atrás. É o que ele costuma chamar de inércia organizacional. Desta forma, o quinto passo deve ser acrescido de um importante adendo, o que lhe dá a seguinte configuração: **se nos passos anteriores uma restrição for eliminada, volte ao passo 1, mas não deixe que a inércia se torne a próxima restrição do sistema.**

2.5.4 Processo de raciocínio da Teoria das Restrições

Os passos apresentados anteriormente são muito úteis quando se trata de restrições físicas, ou seja, recursos, fornecedores ou mercados. Entretanto, as verdadeiras restrições de uma empresa são geralmente representadas por políticas errôneas, que nem sempre se traduzem em restrições físicas.

A teoria das restrições propõe uma nova abordagem que permite proceder em favor de um aprimoramento contínuo em organizações que não possuem restrições físicas relativamente permanentes. Esta é denominada de Processos de Raciocínio (PCR) da Teoria das Restrições, definida pela TOC como um conjunto de ferramentas analíticas formais que permite responder as três perguntas fundamentais de qualquer processo gerencial decisório que são: **o que mudar, para o que mudar, e como motivar a organização para mudança** (GOLDRATT; COX, 1995).

Quando se está diante de restrições na forma de políticas, o primeiro passo do processo de tomada de decisão ainda é válido, ou seja, devem-se primeiramente identificar as políticas errôneas que limitam um melhor desempenho da empresa como um todo. Por outro lado, o número de situações indesejável resultante de procedimentos errôneos é tão alto que se torna impossível lidar com todas elas ao mesmo tempo ou mesmo fazer uso do princípio de Pareto¹³ para identificar quais são as mais importantes. O primeiro passo, portanto, deve também fornecer um método que capacite os administradores a identificar a verdadeira restrição do sistema.

Assim surge o primeiro dos processos de raciocínio, a Árvore da Realidade Atual (ARA), que parte de dois pressupostos básicos. O primeiro é que um problema ou “efeito indesejável” (EI na linguagem da TOC) é geralmente um sintoma, um efeito resultante de uma causa raiz. Este princípio básico dos processos de raciocínio afirma que a maioria dos problemas organizacionais são dependentes uns dos outros, existindo entre eles uma forte relação de causa-efeito (GOLDRATT; COX, 1995).

O segundo é que qualquer processo de otimização eficaz deve encontrar estes poucos elementos responsáveis pela maioria dos problemas com os quais as organizações convivem. A ARA é, portanto, usada para diagnosticar estas causas ou “problemas-cernes” constituindo-se num diagrama expresso de forma lógica, que através de conexões de causa-efeito, interliga todos os principais efeitos indesejáveis existentes.

Ao invés de fazer uso apenas da intuição para identificar a causa, a ARA possibilita um mapa formal de causa-efeito que interliga todos os elos considerados. As entradas da árvore, entidades que não se mostram como consequências de outras entidades constituem-se nas causas-raízes procuradas. Para a TOC, por mais amplo que seja o contexto estudado, é sempre possível construir uma Árvore da Realidade Atual (ARA) onde uma entrada leva à existência da maioria dos efeitos indesejáveis, ou seja, o problema raiz ou restrição do sistema no qual a organização deve enfocar seus esforços de otimização (GOLDRATT; COX, 1995).

¹³ O Princípio de Pareto foi criado no Séc. XIX por um economista italiano chamado Alfredo Pareto que, ao analisar a sociedade concluiu que grande parte da riqueza se encontrava nas mãos de um número demasiado reduzido de pessoas. Após concluir que este princípio estava válido em muitas áreas da vida quotidiana, estabeleceu o designado método de análise de Pareto, também conhecido como dos 20-80% e que significa que um pequeno número de causas (geralmente 20%) é responsável pela maioria dos problemas (geralmente 80%).

Ao analisar restrições não – físicas, os segundo e terceiro passos tornam-se sem importância. Explorar ou subordinar tudo a uma política errônea não faz o menor sentido e, portanto, deve-se passar ao quarto passo para elevar a restrição do sistema. Mas elevar uma restrição não física tem um significado diferente, não mais implicando num aumento de desempenho, e sim, em uma substituição de uma regra errônea por outra mais conveniente ou adequada. Obter esta política substituta é o próximo objetivo dos processos de raciocínio que através de duas ferramentas, o Diagrama de Dispersão de Nuvem (DDN) e a Árvore da Realidade Futura (ARF), procuram ajudar a responder a questão “para o que mudar”, eliminando todos os efeitos negativos advindos daqueles procedimentos incorretos sem criar outros efeitos negativos indesejados.

Para Goldratt (1994), as pessoas dentro de uma empresa têm intuição suficiente para reconhecer a existência do problema raiz e que somente a perpetuação de um conflito interno anulando os esforços organizacionais, “como num cabo de guerra”, explicaria o fato de tal problema ainda estar insolúvel. O diagrama de dispersão de nuvem seria a ferramenta adequada para eliminar tais conflitos que bloqueiam a solução. Este diagrama parte da definição do objetivo (oposto do problema raiz) explicitando as duas situações ou condições necessárias ao atendimento deste e os pré-requisitos que conduzem às condições requeridas. A verbalização do conseqüente conflito e dos pressupostos implícitos e inerentes ao mesmo permite que não se faça concessões e, sim que se elimine efetivamente o problema através de mudanças na realidade, suprimindo ao menos uma das razões da existência do conflito.

A Teoria das Restrições reconhece que a maioria dos problemas ou situações indesejáveis com que convive uma organização fica perpetuada durante tanto tempo sem solução devido a dois motivos: a) existência de algum tipo de conflito que bloqueia a construção de uma boa solução para todos os envolvidos; b) elevado grau de inércia ou continuísmo das pessoas que faz com que estas se acostumem com determinada forma de conduzir suas tarefas diárias sem se questionarem se estes procedimentos estão ou não contribuindo para o alcance da meta da empresa.

2.5.5 O método CCPM (*Critical Chain Project Management*)

O ponto inicial do CCPM é uma lista das tarefas junto com suas dependências e estimativas da duração. A primeira etapa consiste em desenvolver uma programação inicial para tarefas do projeto. Isto é feito ao analisar as dependências entre as tarefas (com reflexo na rede do projeto) e a disponibilidade de recursos. Porque pelo menos alguns dos recursos são limitados em sua disponibilidade, a programação resultante é provavelmente a mais longa do que a programação obtida com o algoritmo do método do caminho crítico básico, pois as atividades do caminho crítico são atrasadas enquanto aguardam os recursos necessários (RAZ *et al.*, 2003).

CCS/BM (*Critical Chain Scheduling/ Buffer Management*) constrói uma programação da linha de base usando as estimativas da duração da atividade baseadas em um nível da confiança de 50%. As datas

reais das atividades, assim como os marcos dos projetos são eliminados, e as tarefas simultâneas devem ser evitadas. Os fundamentos de CCS/BM são:

- estimar a duração da atividade com probabilidade de 50%;
- eliminar as atividades com datas esperadas;
- eliminar *milestones* do projeto;
- eliminar as tarefas simultâneas;
- ter como objetivos da programação a minimização do tempo de processamento de todas as tarefas e do trabalho em andamento;
- determinar a precedência e os recursos necessários na programação da linha de base;
- identificar a corrente crítica;
- agregar as incertezas permitidas com a inserção dos *buffers*;
- manter a programação da linha de base e a corrente crítica fixa durante a execução do projeto;
- determinar o início mais cedo sem *buffers* para a programação projetada e relacionar as datas mais cedo (aplique a mentalidade *roadrunner*¹⁴);
- usar os *buffers* como um mecanismo de advertência proativa durante a execução da programação.

Neste momento, CCPM (*Critical Chain Project Management*) identifica a corrente crítica como um conjunto de tarefas que resulta no caminho mais longo para conclusão do projeto após nivelar os recursos. A corrente crítica fornece a data prevista da conclusão do projeto. Os recursos requeridos pelas tarefas na corrente crítica são definidos como recursos críticos. Deste modo, CCPM é igual ao gerenciamento de projeto convencional à exceção da terminologia “corrente crítica”, que na outra visão é chamada “caminho crítico”.

Este conceito não é novo, Wiest (1964) introduziu o conceito de uma sequência crítica há mais de 40 anos. Foi usado por muitos pesquisadores na programação de projeto visando calcular o menor prazo de um projeto (HERROELEN; DE REYCK; DEMEULEMEESTER, 1998).

A etapa seguinte do planejamento CCPM consiste no recálculo da programação baseada em estimativas reduzidas da duração da tarefa. O raciocínio usado para reduzir as estimativas originais da duração é (GOLDRATT, 1997):

¹⁴ Aplicada a redes colaborativas impõe que as entidades participantes devem executar as suas atividades na rede interna das empresas tão rapidamente quanto possível, e participar a conclusão das suas atividades logo que os requisitos das mesmas sejam atingidos, procurando-se aproveitar as antecipações que possam ocorrer durante a execução do projeto (Goldratt, 1997).

- todas as tarefas no projeto são sujeitas a algum grau de incerteza;
- quando solicitado a fornecer uma estimativa da duração, o executor adiciona uma margem de segurança por não estar quase certo do término da tarefa. Isto significa que, no geral, as durações da tarefa são superestimadas;
- na maioria dos casos, a tarefa não requererá a quantidade de margem de segurança e deve ser concluída antes do programado;
- porque a margem de segurança é interna à tarefa, se não for necessária, será desperdiçada. Os recursos para as tarefas seguintes não estarão disponíveis até o tempo programado. Consequentemente, se torna óbvio que o *buffer* é desnecessário, o proprietário da tarefa usará o tempo de *buffer* de qualquer forma, porque há pouco incentivo a terminar mais cedo. Por outro lado, o atraso na conclusão de tarefas propaga-se na cadeia crítica e nas atividades sucessoras. Assim, os ganhos são perdidos, atrasos são passados, e o projeto provavelmente terminará mais tarde, pois os *buffers* serão adicionados à duração da tarefa.

CCPM indica que as estimativas originais da duração são tais que a probabilidade da conclusão é 95%, e ele deve ser reduzido ao ponto onde a probabilidade de conclusão é de 50%. A diferença entre a duração do projeto baseada em novas estimativas e a duração do projeto original é chamada *buffer* do projeto e deve ser indicado na rede como uma tarefa separada (GOLDRATT, 1997).

O tempo de segurança, que é eliminado das durações das atividades da cadeia críticas, selecionando estimativas agressivas de duração é deslocado à extremidade da corrente crítica em forma de *buffer do projeto* (BP). Este BP deve proteger a data final do projeto comprometida com o cliente, das variabilidades das atividades da cadeia críticas.

É improvável que todas as tarefas da cadeia críticas excedam suas estimativas da duração da probabilidade de 50%. Sob suposição da independência estatística, sobre a metade das tarefas excederá a marca de 50%, quando a outra metade será concluída antes de completar os 50%. Pelo conjunto de tarefas com margem de segurança individuais, a proteção contra a incerteza é melhorada, assim que CCPM sugere que a combinação do *buffer* do projeto pode ser menor do que a soma das margens de segurança das tarefas individuais. Este argumento é suportado pela teoria estatística que indica o desvio padrão da soma de um número de variação aleatória mutuamente independente (neste caso, nas durações reais de parte das tarefas) é menor do que a soma do desvio padrão individual. Embora a suposição da independência estatística da duração das tarefas seja questionável, Goldratt (1997) usa esse argumento para justificar a redução da duração total do projeto.

O mesmo processo de definir margens de segurança explícitas pode ser aplicado às correntes não-críticas. Como antes, a margem de segurança em cada tarefa é identificada, removendo a

margem da duração, e juntando na extremidade da cadeia crítica. Quando esse *buffer* é colocado na cadeia não-crítica que alimenta uma cadeia crítica, é chamado de *buffer* de alimentação (BA).

De acordo com CCPM, um *buffer* de alimentação representa uma grande proteção da corrente crítica de encontro a uma incerteza na corrente não-crítica que a alimenta, e o seu tamanho pode ser ajustado como desejado.

Os *buffers* de alimentação (BA) são introduzidos sempre que uma atividade da cadeia não-crítica estiver conectada, topologicamente, à corrente crítica. Seu alvo é proteger corrente crítica dos desvios nas atividades que alimentam e para permitir que as atividades da cadeia críticas comecem cedo caso o cenário não saia como previsto. Embora mais trabalhoso, os métodos podem ser usados calculando os *buffers* sob medida (NEWBOLD, 1998), o procedimento padrão é usar como regra um *buffer* de 50%, isto é, para usar um BA da metade da duração do projeto e ajustar o tamanho de um BA à metade da duração da cadeia não-crítica.

O terceiro tipo de *buffer* usado na CCPM é chamado *buffer* de recurso, que é uma tarefa virtual introduzida previamente nas cadeias críticas que requer recursos críticos. Sua finalidade é emitir um sinal ao recurso crítico atribuído às tarefas da corrente crítica que inicie logo (RAZ *et al.*, 2003). Os *buffers* de recurso (BR), geralmente, são colocados em forma de aviso, sempre que um recurso tem que executar uma atividade na corrente crítica, e a atividade predecessora da corrente é feita por um recurso diferente (HEROELLEN *et al.*, 2002).

De acordo com a CCPM, esse aviso chamará o recurso crítico envolvido antes do trabalho não crítico estar concluído, para iniciar o trabalho na tarefa da cadeia crítica assim que seus predecessores forem concluídos. O *buffer* de recurso não consome nenhum recurso, e não adiciona nem tempo, nem o custo ao projeto.

Os *buffers*, que foram *escondidos* previamente em cada tarefa, agora são *explícitos*. Foi observado que ao calcular os *buffers* do projeto, a duração total do projeto não aumenta. Sob CCPM, os *buffers* do projeto são considerados parte do projeto. O gráfico de Gantt que mostra os *buffers* do projeto serve para comunicar a incerteza inerente no projeto como oposto ao gráfico de Gantt convencional (Figura 3) que apresenta um falso ar de certeza (HERROELLEN, 2002).

Figura 3 Gráfico de Gantt proposto pela TOC versus Convencional.

Para minimizar o trabalho em andamento, uma programação de precedência é construída com datas das atividades e suas datas de início mais tarde baseadas em cálculos da corrente crítica. Se ocorrer conflito de recurso, esses são resolvidos movendo as atividades para mais cedo, este é o método de nivelamento proposto pela TOC, o mesmo proposto no trabalho de Harris (1978). A corrente crítica é definida como a cadeia de precedência composta por atividades dependentes do recurso que determina a maior duração de um projeto. Segundo HERROELEN *et al.* (1998) durante a execução do projeto, a corrente crítica e a programação da linha de base devem ser fixas.

Analisando os itens acima o CCPM criou uma programação nova, a qual consiste nas tarefas iniciais com durações reduzidas e vários tipos de *buffers*: o *buffer* do projeto, o *buffer* de alimentação e o *buffer* do recurso. Para elaboração do planejamento do projeto, CCPM prescreve princípios a seguir:

- Para os recursos que trabalham em tarefas da cadeia críticas, espera-se que trabalhe continuamente em uma única tarefa em um determinado momento. Não trabalhe em diversas tarefas paralelas ou parem as tarefas da cadeia crítica para fazer outros trabalhos;
- Os recursos são comprometidos às tarefas o mais cedo possível, garantindo as datas programadas;
- Se a tarefa for concluída antes do prazo programado, o trabalho em sua sucessora é iniciado imediatamente. Se a tarefa sucessora utilizar um recurso crítico um *buffer* de recurso é inserido no ponto onde o recurso é necessário;
- Se a tarefa for finalizada após sua data de conclusão planejada, não existe motivo para preocupação, pois o *buffer* absorverá o atraso.

Com o acompanhamento, a programação de CCPM é recalculada, mantendo a data final do projeto constante, ao ajustar os tamanhos dos *buffers*. O foco do controle é no consumo dos *buffers*. A proporção que os *buffers* são consumidos, uma indicação para executar ações corretivas, caso haja comprometimento dos recursos da corrente crítica conduzindo ao *buffer* em questão. Desse modo, a extensão da utilização do *buffer* serve para monitorar a probabilidade de conclusão do projeto na sua data de contrato.

O CCPM fornece também alguns procedimentos para controle de multiprojetos que compartilham um grupo comum dos recursos. Ao programar os vários projetos, CCPM sugere que se identifiquem, inicialmente, os recursos cuja disponibilidade restringe o sistema (o “tambor,” de acordo com a terminologia do TOC) e programe então os projetos em torno dele. Durante a execução, se um dado recurso for requerido para trabalhar simultaneamente em várias tarefas, o CCPM prescreve que a prioridade deve ser dada a tarefa de um projeto que está em maior risco em relação ao prazo final, medido pela fração restante do *buffer* do projeto. Naturalmente, não são permitidos trabalhos simultâneos em tarefas que pertencem a projetos diferentes.

Em um ambiente de projetos simultâneos, CCS/BM (*Critical Chain Schedule/ Buffer Management*) conta com as seis etapas base resumidas:

- a) dê prioridade ao projeto da organização;
- b) planeje os projetos individualmente de acordo com fundamentos de CCS/BM;
- c) escalone os projetos;
- d) introduza *buffers* de ritmo;
- e) controle e relacione os *buffers*;
- f) gerencie os *buffers*.

A Etapa 1 tem o objetivo de evitar as tarefas simultâneas (*multitarefa*s) entre os projetos. A Etapa 2 alerta para a identificação de restrições das empresas como os “Gargalos” (estratégico ou recurso de ritmo). Os projetos são escalonados (Etapa 3) com base na programação de recursos estratégico (plano de ritmo). Isto é feito colocando um *buffer* de capacidade na frente de uma atividade com recurso estratégico que está na corrente crítica. Um *buffer* de ritmo (etapa 4) é colocado antes das atividades que possuem recurso estratégico para proteger o recurso estratégico de interferências dos recursos não estratégicos. Os *buffers* então podem ser controlados da mesma maneira que com um único projeto (etapas 5 e 6).

Como o gerenciamento de projeto pelos métodos convencionais, o CCPM ressalta o sucesso da gerência de projeto, como um dos sucessos do projeto. Além disso, CCPM focaliza em um único aspecto do gerenciamento de projeto, priorização da programação.

Dentro do escopo da programação o objetivo CCPM focaliza, principalmente, na sua incerteza inerente. Tanto que se dirige à causa da raiz da incerteza - a duração. O CCPM a aceita como dado e tenta garanti-la por meios do gerenciamento dos *buffers*. Em contraste, a maioria das metodologias de gerência de risco trabalha com a identificação e redução das fontes de incerteza, aplicando metodologias de estimativas que trabalham para melhorar a qualidade das estimativas da duração. Embora CCPM não impossibilite a aplicação dessa técnica, uma análise de risco mais detalhada da gerência, aborda seu foco e não deve se limitar a ser a única ferramenta para tratar a incerteza do projeto. No melhor dos casos, pode ajudar a controlar a incerteza da programação que requer a aplicação de ferramentas de mitigação e análise de risco.

Além disso, segundo Raz *et al.* (2003) o CCPM é apresentado como um revolucionário conceito que substitui, de forma mais completa, atuais conhecimento e práticas de gerenciamento; e, ainda não integra corretamente a teoria com a prática. Esta situação põe certo dilema às organizações que estão com novas metodologias de gerenciamento e controle de projetos e estas se perguntam qual deve escolher se o CCPM ou as metodologias convencionais, tais como aquelas contidas no PMBOK (PMI, 2004).

2.5.5.1 Identificando a corrente crítica

Um dos méritos fundamentais de CCS/BM é que reconhece explicitamente a interação entre durações da atividade, relações da precedência, exigências de recurso, e disponibilidades do recurso que determina a duração do projeto. Esta interação resulta em uma ou mais seqüências de atividades - consistindo em segmentos de precedência - relacionando os segmentos de recursos dependentes, isso determina a dimensão da programação da linha de base. Goldratt (1997) identifica uma seqüência como a corrente crítica

CCS/BM revelou a importância desta corrente crítica para os praticantes e apresenta um papel crucial no processo despertando o desaparecimento do conceito tradicional do caminho crítico na presença de restrições de recurso. Além disso, o argumento de CCS/BM que protege os prazos contra as incertezas não deve ser alocado às atividades individuais, mas deve ser agregado e concentrado em pontos particulares na programação da linha de base. Em resumo, a idéia de gerar uma programação determinística da linha de base e de protegê-la contra as incertezas é a maior exigência da gerência. CCS/BM consolidou uma forma de introduzir recentes mecanismos de proteção (*buffers*) no *software* comercial de planejamento. Os exemplos incluem os *softwares ProCadeia* e *add-in* para *Microsoft Project®* e as funções do planejamento das cadeias críticas no pacote de *PS8 Scitor* (HORROELEN *et al.*, 2002).

Uma programação da linha de base pode conter mais do que uma corrente crítica, e a composição das correntes críticas são inteiramente dependentes do procedimento usado para gerar essa programação. Criar uma precedência e alocar recursos em uma linha de base que minimize a duração do projeto é o objetivo número um ao usar a CCS/BM na programação da linha de base, isso não é fácil porque a maioria dos problemas de alocação de recursos na programação de projetos é NP-hard (não podem sempre ser resolvidos ao otimizar o tempo polinomial). Goldratt (1997) parece minimizar essa questão ao sugerir que “o impacto no prazo de entrega do projeto é menor que o *buffer* de 50% do projeto adotado”.

Também, há uma falta do consenso na literatura de CCS/BM sobre as estimativas da duração da atividade a serem usadas gerando a programação inicial da linha de base. Goldratt (1997) sugere o uso de mediana, enquanto que o produto desenvolvimento pelo Instituto recomenda o uso da média. Herroelen e Leus (2000) concluem que os fatores experimentais do uso da duração média das atividades fornecem estimativas mais seguras na duração do projeto.

Para ilustrar o tamanho da programação da linha de base e o número possível de correntes críticas dependente diretamente do procedimento de programação utilizado, Harroellen *et al.*, (2002), utilizaram uma rede lógica de nove atividades e fizeram varias simulações onde supuseram que a estimativa das durações das atividades não incluía provisões de segurança individuais. Esses

autores aplicaram os conceitos de Goldratt (1997) utilizando os *softwares* *MSPProject*, *ProCadeia*, *PS8* e *Add-in*.

As simulações feitas por Harroellen *et al.*, (2002) aplicados por quatro programações diferentes da linha de base foram obtidas para o mesmo projeto, prazos variando de sete a nove períodos, e cada uma forneceu ao planejador diferentes equipes e diferentes correntes críticas. Goldratt (1997) afirma que não importa realmente qual corrente crítica será escolhida. Este exemplo simples prova que gerar uma boa programação de linha de base é importante, que as indicações como “a corrente crítica nunca é ambígua (LEACH, 2001 a e b) deve ser interpretado com muito cuidado. O prazo da programação da linha de base, nos exemplos acima e a definição das atividades da corrente crítica dependem do procedimento usado para gerá-la.

Ao adicionar o BP de 50% no prazo do projeto (de acordo com a lógica CCS/BM) às programações da linha de base, os prazos aumentaram e variaram de 11 a 13 períodos. Isso faz com que a gerência se comprometa com o cliente com prazos de entrega maiores que os iniciais. Estes devem ser interpretados como “limites pessimistas“. A inserção do BP pode conduzir o projeto a uma duração maior e poderá gerar uma perda de contrato.

2.5.5.2 Inserção e gerenciamento do *Buffer*

CCS/BM discute que as inseguranças e incertezas devem ser eliminadas das estimativas individuais de duração da atividade e ser agregada na formação dos *buffers* em posições cruciais. Os *buffers* devem oferecer proteção estatística às variações e deve agir como um mecanismo proativo de proteção. A experiência de Herroelen e Leus (2000) revelaram que a definição de 50% para os *Buffers* pode conduzir a uma superestimação do tamanho necessário do BP e, conseqüentemente, aumentar a duração do projeto comprometida com o cliente.

Protegendo a programação da linha de base de modo que a conclusão da última atividade da cadeia crítica ocorra muito mais tarde do que a conclusão de toda a corrente de atividades não-crítica, CCS/BM evita a incômoda tarefa de executar cálculos generaliza do PERT (ELMAGHRABY, 1977) para fazer predições de confiança sobre a conclusão do projeto na presença de restrições do recurso. O BP decompõe a corrente crítica das atividades restantes na rede, e ajuda a gerenciar focalizando e estabelecendo datas realísticas. Como um resultado, há uma substancial diferença entre a interpretação de um BP e a noção de folgas das atividades do caminho crítico (HERROELLEN, 2002).

Por outro lado, o gerenciamento dos *buffers* durante a execução do projeto não difere do gerenciamento das folgas na ausência de restrições do recurso. Como já foi observado por Wiest (1964, p. 370), “*nós devemos reconhecer a natureza condicional da folga quando os recursos são limitados: Os valores de folgas devem ser associados com uma programação particular*”. Além disso, a política de reprogramação adotada também influenciará a folga da atividade, que trabalha em um ambiente onde a alocação de recurso é mantida sem alteração (BOWERS, 1995).

Ao inserir o BP o prazo da cadeia crítica é aumentado, mas a inserção dos *buffer* de alimentação e a aplicação da mentalidade *roadrunner* que dita o início das outras atividades podem fazer com que a corrente crítica não seja a corrente mais longa na rede definida inicialmente, conduzindo aos conflitos imediatos do recurso. Estes conflitos devem ser resolvidos com cuidado, evitando um desnecessário aumento do prazo da programação da linha de base.

Então o uso a abordagem CCS/BM para simplificar o adiantamento e atrasos até que os conflitos dos recursos sejam resolvidos, recomendam tratar os *buffers* como atividades fictícias na reprogramação da rede. Também, o mecanismo da proteção do *buffer* pode apresentar falhas como ação proativa.

Nas programações citadas acima, ao se aplicar a regra de *buffer* com duração adicional de 50% do projeto, haverá um aumento na duração da cadeia crítica. Se os *buffers* introduzidos aumentam o tempo da corrente crítica, ocorrerá imediatamente um conflito de recursos que deverá ser contornado deslocando atividades não-críticas, mas respeitando as predecessoras de cada atividade.

Se, entretanto, os *buffers* forem tratados como atividades fictícias com duração positiva e as datas mais cedo da programação forem calculadas, mantendo a cadeia crítica inalterada, o resultado será uma programação com exatamente o mesmo tamanho da programação da linha de base diferindo somente no planejamento das atividades na cadeia não-crítica.

O fato é que a inserção de BA pode conduzir a conflitos na alocação de um dado recurso proibindo o BP de agir como um mecanismo de advertência proativa. Ao definir na programação na linha de base a cadeia crítica e ao inserir os *buffers* equivalentes, supondo que durante a execução do projeto, uma atividade não-crítica fique sujeita a um pequeno atraso, esse atraso causará o consumo do *buffer*. Entretanto, os atrasos também podem conduzir a um conflito imediato do recurso como a atividade, que irão requer do mesmo recurso.

Então se pode retardar uma das atividades em conflito, enquanto este consumo for tão pequeno que não necessite de uma ação da gerência, também conduzirá a um conflito dos recursos da corrente crítica, que requer o mesmo recurso. O BA não protege a corrente crítica desse viés. O resultado é imediato – atraso na corrente crítica. Este será o mesmo caso se um *buffer* do recurso alertar para um recurso e permitir antecipar uma atividade. Fica claro que a ação de agir como um mecanismo de advertência e antecipação das dificuldades futuras passa a ser falha.

O BA usado por CCS/BM é um *buffer* do tempo. Os *buffers* de tempo podem falhar como amortecedores de conflitos do recurso. Esse conflito de recursos deve ser resolvido requerendo ações para corrigir a programação. Em redes simples a ação de correção é bastante trivial. Mas em redes complexas, em estruturas da rede de atividades múltiplas e múltiplos tipos do recurso é mais difícil uma solução.

Os tamanhos dos *buffers* devem ser atualizados enquanto o projeto progride. O BA fornece uma estimativa do tempo da conclusão do projeto que possa ser realizada com uma probabilidade

apropriada e a partir daí uma estimativa da data devida do projeto. Como mostrado nas experiências conduzidas por Herroelen e Leus (2000), pode ser benéfico atualizar o tamanho do BP durante a execução do projeto, como uma reação ao processo dinâmico de reavaliar possibilidades de se encontrar uma data mais real. Uma idéia seria antecipar os pontos iniciais alertas do consumo do *buffer* ao longo do tempo, avaliando o prazo do projeto em relação aos *buffers* ou a conclusão da cadeia crítica.

2.5.6 Análise Crítica da Teoria das Restrições

Ao estudar os princípios da Teoria das Restrições identificou-se que alguns pontos ainda precisam ser estudados, pois sofrem críticas na bibliografia levantada. No texto abaixo será feita uma análise dos princípios que serão aplicados nos estudos posteriores:

- a restrição ao uso de tarefas simultâneas;
- o desperdício ao aplicar as margens de segurança;
- o uso dos *buffers* no planejamento; e,
- o uso dos recursos.

2.5.6.1 A restrição ao uso de tarefas simultâneas

Patrick (1999, P.62) sugere: “*Evite as tarefas simultâneas, pois elas provocam a multiplicação do tempo de ciclo (lead-time). A gerência tem como responsabilidade proteger os recursos prioritários dessas tarefas simultâneas*”.

Superficialmente, a indicação de Patrick faz sentido. Segundo Pinto (1999), as tarefas simultâneas são as “assassinas” na segurança de um projeto. Quanto mais comprometidos os membros da equipe sejam, menos tempo podem dispor exclusivamente ao seu projeto. No período atual que significa fazer mais com menos, menos pessoas têm que atender mais tarefas, em um crescente portfólio de novos projetos e realizar maiores economias de escala internas eliminando a inflação dos mercados, tudo isto tem contribuído para que as tarefas simultâneas não sejam uma necessidade marginal, mas uma maneira de vida para a maioria (PINTO, 1999).

2.5.6.2 O desperdício ao aplicar as margens de segurança

Quanto ao desperdício ao aplicar as margens de segurança (*buffers*), Pinto (1999) faz uma comparação entre Parkinson, Murphy, e Brooks: onde ele ressalva que a TOC tem muito a contribuir sobre como eliminar algumas das principais fontes de segurança que todo participante de projeto realiza rotineiramente ao estimar as durações das atividades.

Majorar o fator de segurança é um fenômeno comum. E é geralmente compreendido não apenas pela equipe de produção, como também pela gerência, que tentam reduzir as estimativas originais. Então Patrick (1999, p.59) argumenta corretamente outro ponto de Goldratt:

“nós temos pouco incentivo para entregar um trabalho antes do prazo, por medo que as estimativas futuras serão conseqüentemente reduzidas. Se eu estimar um prazo para uma atividade e terminar antes, eu uso essa folga para evitar as pressões futuras”.

De acordo com as notas de Goldratt (1997, p.121) na corrente crítica *“o atraso de uma etapa é transferido, completamente, à etapa seguinte. Um avanço de uma etapa é geralmente desperdiçado”*. Ambos os pontos ilustram a famosa lei de Parkinson: O trabalho estende para preencher todo o tempo alocado a ele. Mensagem de Patrick (1999) a respeito de como evitar os efeitos da lei de Parkinson¹⁵ e de Murphy¹⁶ é entendida da seguinte forma: nós precisamos desenvolver programações apertadas que suportem alerta de recursos onde se possa enfatizar programar particulares, sem perda de qualidade.

Um dos “assassinos” da segurança dos projetos identificados pela TOC é o aqui também chamado de modelo de estudo em que atividades com durações explicitamente conhecidas possuem seu tempo de espera (*Lead-Time*) desperdiçado, pois tiveram seu início atrasado (*Late Startups*).

Ou seja, todos tendem a realizar as tarefas o mais tarde possível, assim também os membros da equipe de projeto não se focarão nos compromissos do trabalho até que uma quantidade grande de tempo das atividades programadas tenha decorrido.

O problema com o modelo é que ele ignora outras razões óbvias para esse atraso, tal como a da curva de aprendizado. Brooks (1975) notou à 40 anos atrás que o tempo do aprendizado necessário de um grupo poderá não ser alcançado antes do término do trabalho. Assim como a TOC, o modelo de curva de aprendizado nos mostra o percentual de trabalho realizado em função do tempo da atividade, é representado por uma curva clássica. Inícios lentos são seguidos de rápidas inclinações nas durações das atividades até sua conclusão.

Figura 4 *Modelo de curva de aprendizagem*

¹⁵ “O volume de trabalho a ser feito sempre se expande de forma a ocupar todo o tempo disponível à sua conclusão” - *Lei de Parkinson* (adágio popular).

¹⁶ “Se alguma coisa pode dar errado, vai dar errado” - *Lei de Murphy* (adágio popular).

A linha tracejada nos mostra o modelo perfeito, assumindo que cada ponto na linha de tempo uma parte da atividade específica foi realizada. Por exemplo, se passou 25% do tempo deverá ter 25% das atividades concluídas.

Na prática, esse modelo perfeito não existe. O modelo curvilíneo é a melhor explicação para os comportamentos observados. A TOC também reconhece essa relação; entretanto, o argumento de que, por ser outro método, que aplica como princípio a redução das durações como margem de segurança, também não é sustentável. Ainda recorrendo a Brooks (1975), ele descobriu que o tempo da curva de aprendizado deve ser majorado em função da duração estimada. Lançar recursos neste modelo de curva, somente irá alongá-la em função da lei de Brooks¹⁷.

CCPM supõe que todos superestimam a duração das tarefas por um determinado fator de segurança, e que a duração real de cada tarefa irá aumentar o tempo total. Estas duas suposições são plausíveis, mas os princípios do CCPM não fornecem nenhuma evidência científica. De fato, em um estudo recente de estimativa das durações das tarefas pelo *software* desenvolvido por Hill *et al.* (2000) forneceu alguns resultados contraditórios. O estudo analisou a durações estimadas e reais de mais de 500 tarefas executadas pelo departamento de desenvolvimento do sistema de informação de uma das principais organizações financeiras internacional. Somente 8% das tarefas tiveram a duração real igual à duração estimada, enquanto que em aproximadamente 60% das tarefas a duração real era menor que a duração estimada. Isso contradiz a suposição que os donos das tarefas alocam durações maiores. Em 32% das tarefas, a duração real excedeu a estimativa, indicando que o fator de segurança, se existisse em tudo, não era certamente suficiente para o nível da confiança de 95%.

Entretanto, pode-se deixar de lado a evidência contraditória e prosseguir com a suposição do CCPM. Há ainda duas questões importantes que CCPM não responde satisfatoriamente. A primeira é como fazer o gerente de projeto determinar o fator de segurança para a duração que o proprietário da tarefa estimou. A única maneira para obter a resposta correta é ter outro método para estimar as durações que forneçam valores exatos para subtrair essa estimativa de quem a forneceu. A CCPM sugere reduzir as estimativas por uma determinada porcentagem, normalmente de 33% a 50% (RAZ *et al.*, 2003). Tal aproximação é problemática, não somente devido à necessidade de justificar a redução da porcentagem escolhida, mas também devido ao fato que nem todo mundo superestima a mesma quantidade. Existem limitações nas variações que são baseadas na personalidade, na experiência do trabalho, na natureza da tarefa, na carga de trabalho, ou por outras razões.

Mesmo se os gerentes de projetos aceitarem que existe uma fórmula apropriada para reduzir as estimativas da duração fornecida pelos donos das tarefas, a segunda questão é ainda mantida: Eles irão concordar em reduzir as durações estimadas e qual margem de segurança individual

¹⁷ Lei de Brooks – adicionar mais gente a um projeto que já está atrasado aumenta ainda mais o atraso (Brooks, 1975).

adotada como *buffer* de alimentação? Estimativas que reduzem as durações impostas pelos donos das tarefas reduzirão seu compromisso com as estimativas. Em adição, o conhecimento que suas estimativas estarão reduzidas, provavelmente incentivará os proprietários das tarefas a adicionar margens maiores de segurança, fazendo uma correção. No geral, os aspectos ambientais de identificar a quantidade precisa de margem de segurança e a forma do proprietário das tarefas analisá-la são tratados, superficialmente, pela literatura de CCPM e requerem ainda a sustentação empírica.

2.5.6.3 *Uso dos buffers no planejamento*

Os vários tipos de *buffers* representam um papel chave na teoria de CCPM. Inicialmente, o tamanho dos *buffers* do projeto deve refletir a quantidade de proteção requerida contra as incertezas na soma das durações das tarefas da corrente crítica. Enquanto os tamanhos dos *buffers* de alimentação devem refletir a quantidade de proteção apropriada para as cadeias não-crítica que alimentam as críticas. Para isso deve-se reduzir a duração total do projeto e o tamanho dos *buffers* deve ser menor ou igual a soma das margens extraídas das tarefas que correspondem a cadeia não-crítica. Entretanto, CCPM não fornece nenhuma base científica ou objetiva para determinar o tamanho dos *buffers*. Isto levanta diversos problemas.

Primeiramente, o conceito cadeia de alimentação é baseado na abordagem que uma rede de um projeto consiste em diversos caminhos paralelos e se unem conduzindo ao produto final do projeto.

Esta estrutura da rede é aplicável aos projetos que consiste da construção, montagem e com tarefas integradas, comuns em ambientes de manufatura. Mas muitos projetos começam com um núcleo pequeno de atividades centrais, isto é, projeto e análise, que se dividem em trilhas paralelas que se unem em vários pontos intermediários. Isto conduz topologias de redes mais complexas onde uma tarefa pode ter várias predecessoras e sucessoras de diversas correntes. Nesses casos, não está claro quanto de um *buffer* de alimentação deve ser distribuído à ligação de cada tarefa.

Schonberger (1981) mostrou que os projetos sempre irão atrasar em relação à determinação do caminho crítico. Uma quantidade de atraso deve ser contingenciado variando o tempo de atividades e a quantidade dos caminhos das redes paralelas. Nesse respeito, a corrente crítica não é diferente do caminho crítico, especialmente em redes não-arborescentes¹⁸.

Uma segunda abordagem pertence à validade e à estabilidade da programação que serve como base para determinar os *buffers*. De acordo com CCPM, a corrente crítica e os *buffers* associados são identificados através de uma programação obtida com um algoritmo de nivelamento de recursos. O

¹⁸ Redes não-arborescentes são redes cuja organização da *estrutura* de arestas e nós assume um caráter predominantemente de cadeia e não em desdobramentos sucessivos.

problema matemático de programar as tarefas do projeto sob restrição do recurso é conhecida por ser muito difícil de resolver de forma otimizada. De fato, este problema pertence à classe dos problemas onde não há nenhum algoritmo eficiente que forneça uma solução ótima para projetos grandes. Uma comparação de três abordagens exatas para resolver as restrições de recurso na programação e suas limitações pode ser encontrada em Patterson (1984). Conseqüentemente, os algoritmos de nivelamento usam regras heurísticas para gerar as soluções que são esperadas perto do ótimo (Wiest, 1967).

A teoria de CCPM não prescreve um algoritmo específico de nivelamento para recursos; isso foi publicado na literatura da pesquisa de operações e está longe de proporcionar uma solução ótima. Assim, é difícil avaliar como boa a programação na qual os *buffers* são baseados. As redes do projeto nem sempre são arborescentes, a determinação do tamanho dos *buffers* é avaliada pela variabilidade da duração das atividades e na partes paralelas da rede de trabalho. Novos estudos de simulação são solicitados, como sugerido por Schonberger (1981).

Por outro lado, a própria corrente crítica pode mudar por diversas razões. Hoel e Taylor (1999) mostram que se a incerteza em uma corrente de alimentação for tal que o planejador defina um *buffer* de alimentação maior que a folga livre da corrente de alimentação, essa corrente torna-se corrente crítica. Além disso, durante a execução do projeto, a corrente crítica pode mudar em consequência das mudanças na disponibilidade do recurso ou na utilização do *buffer*. Mudanças no estabelecimento das tarefas que constituem a corrente crítica são prováveis para afetar o significado dos vários tipos de *buffers*, trazendo à terceira questão, que esta relacionada ao uso dos *buffers* no controle do projeto.

De acordo com CCPM, o controle da programação é baseado no monitoramento do tamanho dos *buffers*, definido como a quantidade de tempo, das datas da linha de base do início do *buffer* até a corrente crítica, denominado *buffer* de alimentação. As datas projetadas são baseadas sobre as estimativas da “duração projetada” para as tarefas. A estimativa de quanto trabalho remanescente será feito é sujeito também à alteração pelas margens de segurança. A CCPM tenta resolver muitos problemas usando *buffers*. Entretanto, isto nos deixa supor que o tamanho dos *buffers* nem sempre são exatos e não podem garantir que as tarefas da corrente serão concluídas na data final do *buffer*. A CCPM prescreve que, em caso da disputa para recursos restritos, a prioridade deve ser dada à tarefa que pertencer à corrente crítica seguida pela cadeia que mais consumiu o *buffer*. A razão para essa regra é clara: tarefas críticas que consomem maior percentual dos *buffers* possuem riscos elevados de não atender as datas comprometidas e, conseqüentemente, deve ser dada uma prioridade maior ao decidir alocar o recurso. Entretanto, esta consideração não é única e não pode ser a mais relevante. Por exemplo, um gerente pode preferir dar a prioridade às tarefas que pertencem a um projeto com penalidades muito elevadas em relação ao atraso do prazo contratual, ou para aqueles que têm um impacto estratégico. De qualquer maneira a quantidade de *buffer* deve ser gerenciada.

Os vários tipos de *buffers* são mostrados na programação do projeto e no gráfico de Gantt como tipos especiais de atividades. Como há um *buffer* de alimentação na extremidade de cada corrente da rede e um *buffer* de recurso quando os recursos da cadeia crítica são diferentes dos das cadeias não-críticas que as alimentam, então *buffers* adicionam pelo menos 10% a 15% ao número de itens do gráfico Gantt. Estes itens adicionais têm que ser interpretados de modo diferente das atividades, para que não adicione desordem à programação.

Embora os *buffers* de alimentação e do projeto tenham alguma apelação intuitiva, deve-se estar ciente das limitações em suas validade e utilidade com o critério principal da tomada de decisão no controle do projeto.

2.5.6.4 Utilização do recurso

A CCPM preconiza a não execução de mais de uma tarefa simultaneamente por um mesmo recurso. A organização poderia reduzir a extensão de tarefas simultâneas sem aplicar a CCPM, mas não existem evidências que a eliminação destas seja um fator positivo. De fato, um estudo de 64 empresas de alta tecnologia realizado por McCollum e Sherman (1991) apresentou evidências contrárias. Os pesquisadores examinaram a eficácia da matriz organizacional e encontraram uma relação entre o número dos projetos, as pessoas que os desenvolviam e os indicadores de desempenho da empresa. Especificamente, avaliaram as medidas de desempenho - retorno no investimento (ROI) e a taxa de crescimento, concluindo que em até dois projetos os resultados são satisfatórios, enquanto que para três ou mais começam a aparecer problemas.

Ao analisar os *buffers* do recurso evidencia-se que estes são uma característica da CCPM aplicados também no Sistema Toyota da Produção no planejamento de médio prazo (SHINGO, 1996). *Esses buffers* são tarefas fictícias que alertam para o uso dos recursos críticos, pré-requisitos para tarefas a serem comprometidas, logo após as tarefas não-críticas serem concluídas, preparando as tarefas críticas para iniciar o trabalho o mais cedo possível.

Este método de orientar os membros das equipes de projeto para a troca de recursos ainda é rudimentar e requer uma comunicação programada. Ele não pode ser utilizado na prática caso os recursos ainda não estiverem sido contratados, sem flexibilidade de concluir seus trabalhos e voltando sua total atenção nas tarefas atribuída a um projeto. Há um ponto positivo em alertar os recursos para importância das atividades da cadeia críticas, tendo oportunidade de iniciar mais cedo. O CCPM está correto ao criar subsídios que controle a conclusão das atividades ao longo tempo, pois não são as mesmas que controlam o término do projeto. Entretanto, é a opinião de alguns autores que este é um suplemento, e não um substituto, para a maneira tradicional de implementação das programações a que todos os proprietários da tarefa se comprometem, os *buffers* de recurso, ao ser utilizado reflete muito mais uma mudança gerencial, do que a aplicação de uma nova técnica.

2.6 SÍNTESE DA APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A revisão bibliográfica da Teoria das Restrições apontou a existência de recursos, critérios ou elementos de programação adicionais em relação aos métodos clássicos de programação abordados neste capítulo.

Uma organização que considere adotar o CCPM como sua metodologia principal de gerenciamento de projeto tem que fazer uma análise de dois custos: aquisição das ferramentas do *software* e mudança de cultura. A execução de CCPM requer o uso de uma ferramenta que suporte o conceito, a criação e o gerenciamento dos *buffers*. Atualmente, somente o gerenciamento de projetos de médio porte possui *software* compatível com os conceitos CCPM e dois produtos add-in estão disponíveis no mercado - um dos quais requer o uso de uma base de dados específica. Assim, a escala de opções de *software* como ferramentas são limitadas e sua aquisição é relativamente cara.

Entretanto, os custos de adquirir, desdobrando-se e aplicando ao *software* que suporta CCPM é provavelmente secundário em relação aos custos resultantes da necessidade mudar a cultura da organização. CCPM é apresentado como a metodologia que tem que ser adotada em sua totalidade, desde o emprego dos *buffers*, atribuição do pessoal, e medições de progresso até os critérios para determinar as datas de entrega em um ambiente de projetos simultâneos. Como o CCPM requer a instrução maciça em vários níveis e funções para toda a organização e pode mesmo requerer dos gerentes de projeto experientes o abandono de alguns de seus conhecimentos convencionais a fim absorver a metodologia nova. Alguns dos pontos chaves que envolvem uma mudança na cultura organizacional são:

- redimensionar a duração da tarefa e confiar nos *buffer* da programação para absorver desvios no desempenho individual da tarefa;
- substituir o conceito “da data devida” com estimativa da data da conclusão, representada pelos *buffers* de alimentação do projeto;
- evitar as tarefas simultâneas.

Na análise crítica de CCPM é importante indicar o seu lado positivo. Primeiramente, CCPM é uma metodologia, e alguma metodologia é melhor do que nenhuma metodologia. Mesmo se CCPM é simplista e bem vendável, vale a pena estudar as suas diversas partes. Neste respeito, CCPM:

- esclarece a incerteza da duração fazendo *buffers* explícitos, compartilhando do conhecimento de tamanhos dos *buffers* e colocação com trabalhadores, a gerência, e os *stakeholders*;
- considera a disponibilidade do recurso;
- foca nas tarefas e nos recursos chaves;
- monitora constantemente a quantidade de *buffers* em sua programação;

- fornece a observação avançada do trabalho destacando os recursos críticos;
- não divide sua atenção entre muitas tarefas.

Alguns dos princípios CCPM fazem sentido em determinadas situações e sua aplicação de forma cuidadosa pode melhorar execução, desde que as condições e as suposições sejam inteiramente compreendidas. Entretanto, a avaliação quanto à conveniência de uma organização adotar CCPM como metodologia de controle de projetos, a maioria dos autores aqui citados oferece a seguinte resposta: Se sua organização perde eficiência no processo de planejamento e controle dos projetos e trabalha com número de projetos em ambientes completamente similares, e seu interesse principal é o prazo final, CCPM poderia ser benéfico. Se não, estes autores sugerem que se pese com cuidado as limitações de CCPM e de seus custos em encontro ao potencial para contribuir com o sucesso à longo prazo, no negócio de uma dada organização.

Talvez a solução ótima esteja na adoção de alguns princípios de CCPM aplicável em seu ambiente, que pode ser uma metodologia convencional mais ampla de gerenciamento de projeto. Ao implementar a TOC é necessário que a programação possua:

- escopo definido;
- duração das atividades estabelecidas;
- rede lógica montada;

O próximo passo será aplicar os princípios conforme revisão bibliográfica, entre os quais se destacam:

- identificação do gargalo;
- definição dos *buffers* na programação e das margens de segurança;
- priorização de recursos da cadeia crítica;
- agregação de valor *ganho* para a empresa fazendo balanceamento de capacidade.

Esses princípios ainda apresentam deficiências na sua aplicação para isso essa Tese se propõe a estabelecer alguns artifícios que viabilize sua implementação. Os seguintes aspectos serão discutidos a seguir:

- estimativa de duração das atividades;
- alocação e dimensionamento dos *buffers* a topologia da rede;
- identificação de gargalos e balanceamento de capacidade;
- *ganho*;
- priorização dos recursos da cadeia crítica.

2.6.1 Estimativa da duração das atividades.

Goldratt (1997) propõe que as estimativas de duração das atividades desenvolvidas para a programação dos cenários mais esperados sejam reduzidas por arbitragem em 50%.

Os autores Demeulemeester e Herroelen (1997); Pinto (1999); Herroelen e Leus (2000); Raz et.al (2003); Treitsch (2005) criticam a Teoria das Restrições, quando descrevem que na definição das durações existe uma superestimação das pessoas responsáveis, pois as pressões para não cumprir o prazo final do projeto são maiores que os incentivos existentes para concluí-lo antes do contratado.

2.6.2 Alocação e dimensionamento dos *buffers* topologia da rede

Os *buffers* são atividades fictícias destinadas, como o próprio nome indica, a absorver aspectos de desvios de prazo. São divididos em:

- *buffers* de alimentação: são destinados a proteger a cadeia crítica de atrasos decorrentes das cadeias não-críticas.
- *buffers* de projeto: destinado a proteger a execução da própria cadeia crítica.
- *buffer* de recurso: destinado a proteger os recursos da cadeia crítica.

A bibliografia estudada sugere que os *buffers* de alimentação tenham a dimensão de 50% da duração da cadeia não-crítica ao qual esta inserida, esse dimensionamento é empírico e não existe nenhum trabalho que proponha como fazer o dimensionamento. Além disso, outro problema encontrado é que ao inserir esse *buffer* a rede não-crítica pode passar a ser crítica, por isso a bibliografia sugere que se congele a rede antes da inserção dos *buffers*.

Observe-se que, de uma maneira geral, os *buffers* recompõem as durações das atividades que tiverem suas durações arbitrariamente reduzidas. Dois aspectos merecem ser ressaltados.

- o *buffer* de projeto, em função do seu dimensionamento altera a data prevista na programação do cenário mais esperado.
- o *buffer* de alimentação, também em função de seu dimensionamento, podem afetar o caminho crítico da programação do cenário mais esperado.

Quanto ao uso dos ***buffers de alimentação e de projeto*** duas questões merecem reflexão, quais *buffers* adotar? Qual o tamanho? Os autores Cabains-Brewin (1999), Patrick (1999), Pinto (1999) Golberston (2000), Leach (2000), Maylor (2000), Rand (2000), Herroelen *et al.* (2002), descrevem que o *buffer* de projeto e o de alimentação devem ser adotados, o primeiro para proteger o prazo final e o segundo para proteger a cadeia crítica. A bibliografia ainda faz uma ressalva: ambos devem ser dimensionados com 50% da duração do projeto e 50% da duração da cadeia não-crítica.

As pesquisas realizadas indicam a ausência de uma base conceitual de conhecimento formal para este dimensionamento, chegaram a conclusão que como as durações foram reduzidas nesse percentual os *buffers* adotaram os mesmo valores para proteger a programação.

2.6.3 Identificação do gargalo e balanceamento de capacidade

Quanto à **identificação de gargalos**, Goldratt e Cox (2002), definem gargalo como o componente mais lento do processo, aquele que acaba fixando o ritmo do sistema. Cada etapa de produção de um processo é limitada pela produção do gargalo; assim ao diminuir a produção no gargalo existe uma redução da produção que não pode ser recuperada. Todo o foco do sistema deve ser priorizado para a cadeia onde o gargalo está inserido. Além disso, se faltar recursos no gargalo a produção do sistema sofrerá uma redução automática. Para que não existam perdas no sistema, ou seja, estoques antes e depois do gargalo, o ideal seria que todas as atividades trabalhassem com o mesmo ritmo.

Diante desse conceito, no processo de planejamento duas questões vêm a tona, a primeira é qual seria o gargalo do sistema? E a segunda é como garantir sua produção máxima. As respostas para essas perguntas serão respondidas adiante.

Deve-se lembrar que a Teoria das restrições tem origem em processos industriais repetitivos, sejam contínuos ou por bateladas. Daí a definição de que o gargalo é caracterizado como o componente mais lento de seu processo produtivo.

Esta também é a razão de se controlar o ritmo de produção a partir do controle de desempenho dos seus gargalos, o que explica uma das corônias da Teoria das Restrições: para que não existam perdas no sistema produtivo, preconiza-se que as demais atividades acompanhem o ritmo de produção observado em seus gargalos.

As referências bibliográficas analisadas são unânimes em associar as definições do gargalo de produção ao caminho crítico de uma dada programação de implantação de um empreendimento.

Quanto ao balanceamento dos gargalos, as referências bibliográficas também são unânimes em associá-lo ao balanceamento de regimes de trabalho de frentes de serviços, prática usual na programação convencional da Construção Civil.

A identificação do gargalo é primordial para o balanceamento da capacidade. Ao definir a cadeia crítica identifica-se que o gargalo seria a atividades de menor velocidade, e toda a capacidade do sistema deve ser balanceada em função da definição do gargalo, atendendo assim as propostas de Goldratt.

No processo de planejamento devem ser verificadas três situações. A primeira acontece quando a atividade predecessora possui velocidade maior que a sucessora (**Eq. 01**), ou seja, a atividade anterior vai abrir várias frentes de trabalho fazendo com que apareça um intervalo entre o que foi produzido e a

próxima atividade a ser realizada. Isso implica na redução do ganho, pois recursos foram investidos para realização da atividade predecessora, além do que o produto semi-acabado fica exposto a danos e como não pode ser processado para entrega não existe entrada de dinheiro.

$$V_{ap} > V_{as} \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

V_{ap} = velocidade da atividade predecessora;

V_{as} = velocidade da atividade sucessora.

A segunda situação acontece quando a atividade predecessora é mais lenta que a sucessora (**Eq. 02**), ou seja, caso a atividade posterior inicie logo após a conclusão da anterior, essa equipe ficará parada durante um período aguardando frente de trabalho para dar sequência à atividade. Isso também implica na redução dos ganhos, pois o tempo de espera é considerado como tempo improdutivo.

$$V_{ap} < V_{as} \quad (\text{Eq. 02})$$

A terceira situação (**Eq. 03**) é quando a atividade predecessora possui a mesma velocidade da atividade sucessora. Nesse caso só será necessário abrir uma frente de serviço da atividade anterior para início do próximo serviço. Em alguns casos recomenda-se manter uma folga entre as atividades, pois caso ocorra algum imprevisto não haverá paralisações.

$$V_{ap} = V_{as} \quad (\text{Eq. 03})$$

Para aplicar o primeiro conceito “*balanceamento de capacidade*” conforme preconizado pela TOC é necessário, inicialmente, verificar as considerações acima fazendo uma analogia as cadeias e:

- o tamanho do lote;
- restrições do sistema (mão-de-obra, local, produtividade máxima, restrição técnica, equipe máxima);
- tipo de ligação

Para definir o tamanho do lote é necessário analisar o fluxo da produção no sentido inverso (do produto acabado até os serviços iniciais).

Em todos os casos deve se ter a visão do fluxo da menor quantidade do produto acabado. Isso é fundamental para visualizar as folgas ou as esperas que acontecem no fluxo de trabalho.

Em todos os casos é necessário verificar como a equipe poderá se movimentar sem ocorrer esperas da mão-de-obra ou do produto semi-acabado ou acabado.

Ao definir o tamanho do lote devem ser analisadas as restrições que podem ocorrer. Vale salientar que no âmbito da Teoria das Restrições essas podem ser físicas ou não-físicas. Nesse contexto, ambas deverá ser identificada antes do balanceamento do fluxo.

Vale ressaltar também que, uma atividade pode ter uma ou mais restrições e uma das restrições podem sofrer interferência de outra restrição, por exemplo, o local pode ser um limitante do tamanho da equipe. A seguir serão detalhados alguns exemplos a serem considerados.

- equipe máxima e mínima – deve-se definir a equipe máxima que poderá realizar essa atividade, considera-se aqui a produtividade máxima e a limitação de espaço. Quanto à definição da equipe mínima deve-se também levar em conta a produtividade e analisar o número mínimo de pessoas necessário para desenvolver a atividade;
- local – a limitação de espaço acaba restringindo o tamanho da equipe, a sequência da atividade, pois em um mesmo local duas equipes não podem trabalhar ao mesmo tempo;
- produtividade máxima – qual a produtividade máxima que pode ser considerada na elaboração dos planos sem que haja esforços sobrenaturais para realização da atividade;
- seqüenciamento – pode ser definido pela restrição de equipe ou por um seqüenciamento técnico.

2.6.4 Ganho

Quanto ao **aumento do ganho**, Goldratt ressalta que esse é um dos princípios básicos da Teoria das Restrições (GOLDRATT, 1997 p. 81 a 84), esse autor destaca que a empresa deve: *aumentar o seu ganho (entrada de dinheiro) e reduzir o inventário (dinheiro dentro do sistema) e as despesas operacionais (dinheiro que deve ser pago para criar o ganho)*¹⁹.

Esta é uma expressão derivada da análise de Goldratt sobre sistemas produtivos industriais e que traduz a doutrina na busca pelo aumento do ganho (resultado econômico do processo produtivo) a partir da redução do inventário (estoques e recursos alocados ao sistema produtivo) e das despesas operacionais.

Conforme pode ser observado nas referências bibliográficas deste trabalho, está é uma terminologia inadequada para representar a equação de custo de um dado empreendimento da Construção Civil.

2.6.5 Priorizando os recursos da Cadeia crítica

Quanto à **priorização dos recursos da cadeia crítica**, a TOC identifica que devem ser introduzidos os *Buffers* de recursos após a última atividade da rede não-crítica que é predecessora de uma crítica cujos recursos utilizados sejam diferentes. É inserido na rede logo após a conclusão da tarefa não-crítica como um alerta, para que esse recurso não falte e como consequência haja extensão do prazo final.

¹⁹ Nesta síntese da revisão bibliográfica não são feitos juízos de valor quanto à oportunidade e adequação da terminologia e conceituação adotada por Goldratt (1997)

Na TOC uma atenção especial precisa ser dada aos recursos da corrente crítica, para isso após montar a rede lógica e identificar à corrente crítica os recursos que a compõe deverão ser identificados e sua alocação priorizada.

A única regra heurística estabelecida pela Teoria das Restrições para a alocação de recursos quando da elaboração da programação de referência que irá balizar a implantação de um empreendimento é um critério de priorização: toda vez que um recurso escasso for disputado por duas ou mais atividades em um determinado intervalo de tempo, terá prioridade de alocação a(s) atividade(s) que pertence(m) ao caminho crítico.

A partir desta síntese da revisão bibliográfica conduzida neste capítulo são reunidos os elementos básicos para a formulação da tese, que orienta a elaboração do presente trabalho a ser desenvolvido no próximo capítulo.

3 METODOLOGIA PARA PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DESTA TESE

A partir da revisão bibliográfica contemplada no capítulo anterior cabem as seguintes conclusões:

- a) alguns autores discutem soluções de programação para implantação de empreendimentos envolvendo alterações nas durações das atividades, mas sempre com o propósito de buscar um balanceamento entre as expectativas do prazo de implantação e do custo do empreendimento. São freqüentes as comparações com algoritmos orientados para a identificação de soluções classificadas como “ótimas”. Cabe aqui, a ressalva já feita anteriormente quanto ao uso desta terminologia na implantação de empreendimentos que, por princípio, são considerados singulares.
- b) são escassas as referências ao emprego destas abordagens, acima mencionadas, para soluções de nivelamento de recursos. São mais escassas ainda as referências quanto ao emprego de regras heurísticas que permitam hierarquizar um processo de nivelamento de recursos a partir de um conjunto de atividades cujas durações possam ser alteradas.
- c) por outro lado, a revisão bibliográfica da Teoria das Restrições enfatiza o tratamento das atividades em grupos (cadeias) dentro da topologia de uma rede lógica que simule sua implantação de um dado experimento. Também propõe o emprego de recursos de modelagem que permitam estabelecer mecanismos de proteção a programação, como um todo e de suas principais cadeias de atividades.

A combinação destas observações permite se identificar um campo de trabalho, na área de programação de empreendimentos, voltado para a obtenção de soluções de programação para o problema de nivelamento de recursos, a partir do emprego de referências teóricas derivados da Teoria das Restrições.

Admitindo que um dado empreendimento tenha seu processo de implantação modelado com um nível mínimo de consistência, é possível se formular um conjunto de regras heurísticas capazes de tratar a programação de cadeias de atividades, de acordo com o preconizado na Teoria das Restrições, obtendo soluções de nivelamento de recursos satisfatórias.

Este é o campo de desenvolvimento desta Tese, conforme já comentado no Capítulo 1. O desenvolvimento de um método de nivelamento de recursos composto de um conjunto de regras heurísticas, derivadas da Teoria das Restrições, aplicáveis desde que a modelagem da implantação e a estruturação de escopo de um dado empreendimento satisfaçam a um determinado conjunto de requisitos.

Desta forma, esta Tese estabeleceu, inicialmente, quais os requisitos mínimos que uma programação de implantação de empreendimento deve observar para que se possa aplicar a solução de nivelamento de recursos a ser proposta e a seguir um conjunto de regras heurísticas para o nivelamento de recursos.

Assim o desenvolvimento deste capítulo contempla uma análise de aplicabilidade da Teoria das Restrições no desenvolvimento da programação, uma reflexão quanto aos requisitos mínimos que esta programação deve atender para a formulação da Tese, propriamente dita, e o desenvolvimento da metodologia para sua validação.

Em termos gerais a metodologia desta pesquisa está delineada conforme a Figura 5.

Figura 5 Delineamento Geral da pesquisa

Inicialmente, partiu-se de uma revisão bibliográfica que serviu como embasamento para análise dos dados obtidos em aplicação prática, onde quatro tópicos foram estudados inicialmente: os métodos de nivelamento de recursos, critérios para mapeamento de escopo, modelos referenciais de rede lógica elementares e os princípios da Teoria das Restrições.

A partir da revisão bibliográfica foi avaliado o processo de planejamento operacional aplicado no gerenciamento de 16 empreendimentos de edifícios residenciais verticais executados entre o período de 2000 a 2006, visando estabelecer um modelo de *WBS* e levantar uma biblioteca referencial de redes lógicas elementares de acordo com decisões estratégicas de ataque dos empreendimentos.

A seguir são desenvolvidos quatro grupos de testes suportados por redes lógicas. O primeiro deles para avaliar a aplicabilidade dos princípios da Teoria das Restrições na resolução de redes lógicas de

pequeno porte, o segundo para o desenvolvimento as regras heurísticas, o terceiro para realizar uma análise de desempenho das regras obtidas, e, finalmente, o quarto grupo para demonstrar a aplicabilidade da Tese em um empreendimento residencial vertical, objeto deste trabalho.

Adota-se, portanto, como metodologia geral o princípio da indução finita: regras heurísticas voltadas a solução do problema de nivelamento de recursos, cuja aplicabilidade e eficiência possam ser progressivamente demonstradas para redes de pequeno e médio porte, poderão ser aplicadas à redes de grande porte com a mesma expectativa de desempenho, conforme Olaguíbel e Goerlich (1989), e Morse *et al.* (1996).

3.1 PROCESSO PARA MAPEAMENTO DE ESCOPO E MODELAGEM DE REDE LÓGICA

A estratégia de pesquisa adotada baseia-se na aplicação de estudos de casos múltiplos. De acordo com Yin (1994), está é a estratégia mais adequada quando se quer responder a questões de pesquisa do tipo "por quê" e "como" e os fenômenos estudados são contemporâneos. Essa estratégia de pesquisa permite que sejam observados aspectos temporais e contextuais do fenômeno em estudo, além de permitir a utilização de formas qualitativas e quantitativas de análise, sem exigir, no entanto, a documentação de frequências ou incidência dos fenômenos estudados ao longo do tempo ou a manipulação dos mesmos (YIN, 1994; MEREDITH, 1998).

Yin (1994) ressalta que, antes de se iniciar um estudo de caso, é importante que seja feita uma revisão bibliográfica para que seja desenvolvida uma base teórica a respeito do fenômeno a ser analisado. De acordo com Wacker (1998), a pesquisa bibliográfica é de grande importância para a construção de uma teoria, pois fornece informações a respeito de domínios de aplicação desta, das relações entre seus elementos constituintes e suas definições e, além disso, indicam quais são as relações importantes a serem investigadas no desenvolvimento de uma pesquisa.

A base teórica, além de guiar a coleta e análise de dados, irá auxiliar na generalização dos resultados obtidos com o estudo de caso (YIN, 1994). Desta forma, mesmo que existam dificuldades em replicar as mesmas condições contextuais de um estudo de caso para outro, uma mesma teoria pode servir de base para outros estudos e ser testada em ambientes com diferentes condições que irão sustentar um mesmo conjunto de conceitos e princípios (MEREDITH, 1998).

A estratégia adotada, estudo de caso, diferencia-se da pesquisa-ação por não apresentar algumas das características básicas desta última: (a) é focada nos processos de mudança organizacional e de aprendizagem dos participantes, decorrentes do processo de mudança, e não no resultado da intervenção em si (WESTBROOK, 1995); (b) as fases não são bem definidas e sequenciadas, sendo que estas vão se estruturando no decorrer da pesquisa a partir das perspectivas do grupo de trabalho (EDEN; HUXMAN, 1996); e (c) o trabalho se encerra somente quando os problemas forem

solucionados (HULT; LENNUG²⁰ *apud* BARROS NETO, 1999). O presente estudo, por sua vez, apresentou fases bem definidas, a partir de um planejamento previamente estabelecido, incluindo os procedimentos de avaliação utilizados, cabendo à pesquisadora fazer o papel de facilitadora e instrutora na implantação de algumas das melhorias introduzidas.

Os estudos que visam obter os critérios para mapeamento de escopo e uma biblioteca referencial de redes lógicas, em empreendimentos residenciais verticais, foram divididos em três etapas (Figura 6). A primeira fase é denominada de “Definição”, a segunda fase recebe o nome de “Estudo de Caso” e finalmente a terceira e última fase intitulada de “Avaliação/ Análise”. O apêndice 1 apresenta o protocolo dos estudos de caso realizados nesta etapa.

Figura 6 *Delineamento da pesquisa – Mapeamento de Escopo e Modelagem de Rede lógica*

Na primeira etapa foi avaliado o banco de dados de uma empresa de consultoria em planejamento e controle operacional que presta serviço para 30 construtoras no Brasil, nos estados da Bahia, Sergipe, Pernambuco, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Paraíba; além de Angola e Chile.

Foram selecionados 16 empreendimentos observando-se os seguintes critérios:

- tipologia residencial e vertical;
- mesmo sistema construtivo;
- disponibilidade de rede lógica;
- dados de programação e controle desagregado;
- análise de desempenho e desvios de prazo.

²⁰ HULT, M. & LENNUNG, S. Towards a definition of action research: a note and bibliography. **Journal of Management Studies**, Oxford, 17, 1980: pp. 241-250.

Desses empreendimentos foram coletados o mapeamento dos escopos e os modelos de rede lógica aplicados em cada empreendimento com o propósito de obter: o modelo de *WBS* a ser proposto e uma biblioteca básica de rede lógica.

Esses dados sobre definição de escopo foram analisados visando sustentar a proposição de um *WBS* referencial. Os indicadores de desempenho serviram para extrair critérios de identificação e mapeamento de escopo.

O campo principal de estudo destes empreendimentos foi a implantação da Torre, visando a aplicação do método, obtenção do modelo de WBS e biblioteca de redes lógicas, mas as áreas de periferia também podem ser consideradas em estudos posteriores.

Os resultados dos estudos de caso quanto a modelagem das redes lógicas são apresentados no Apêndice 2. A proposição de um mapa de escopo referencial para esta tipologia de empreendimento é apresentado no Apêndice 3. A biblioteca referencial de redes lógicas para modelagem de programações desta tipologia de empreendimento é apresentada no Apêndice 4.

3.2 APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC) NO NIVELAMENTO DE RECURSOS

O estabelecimento de um processo que simule a condução de uma dada produção, baseado em redes lógicas e a determinação de um conjunto de datas de execução associadas às atividades envolvidas nesta produção é o ponto de partida para a aplicação de métodos heurísticos na programação por recursos.

Esta é a razão pela qual a primeira etapa da Tese aborda o estabelecimento de referenciais para mapeamento de escopo e de uma biblioteca de redes lógicas para o cálculo do método CPM. O propósito é assegurar que as regras heurísticas de nivelamento, objeto desta Tese, sejam aplicadas as programações com um nível mínimo satisfatório de consistência e abrangência.

Conforme já comentado, esta etapa contempla a aplicação de 4 grupos de testes desenvolvidos em acordo com o disposto na Figura 7. O primeiro grupo contendo **testes exploratórios** em redes lógicas elementares visando identificar a aplicação dos princípios da Teoria das Restrições para nivelamento de recursos. O 2º grupo para **calibração do método de nivelamento a ser proposto** a partir dos testes visando obter as melhores regras para o dimensionamento de *buffer* e o rateio da folga no nivelamento de recursos. O 3º grupo **análise de desempenho** do método de nivelamento visando realizar uma comparação da regra heurística proposta nesta tese com as melhores regras existente. E o quarto grupo para **demonstração de aplicabilidade** com um estudo de caso final, visando testar o método de nivelamento de recursos proposto em um empreendimento da construção civil.

Figura 7 Delineamento da pesquisa – Formulação e Validação da Tese para Nivelamento de Recursos

O 1º grupo de testes inclui a definição de um conjunto de redes lógicas e de um conjunto de dados referentes às durações das atividades e recursos que assegurem uma avaliação suficientemente abrangente e consistente, observado um dos objetivos da tese que é propor a validade, por indução, do processo.

O processo de cálculo do método CPM com a utilização de princípios da Teoria das Restrições, contemplando as novas soluções de cálculo é aplicado na resolução dos testes e os resultados avaliados quanto à efetividade na identificação da cadeia crítica e das atividades que apresentam folga.

A tese estabelecerá, ao final desta etapa, um processo de cálculo adequado para servir como suporte à avaliação dos métodos de programação por recursos, além do resultado significativo de inovar e consolidar um processo de aplicação do método CPM incorporando princípios da Teoria das Restrições.

Adotou-se, como referência inicial a abordagem aplicada por McCahon (1993), que consiste em testes com redes lógicas desenvolvidas a partir de 4 grafos elementares, cuja representação ADM encontra-se no Quadro 12. Essas redes possuem porte variando de 4 a 8 arcos e com a relação entre arcos e nós (R) variando entre 1 a 1,5.

Quadro 12 Topologia de redes elementares (McCahon, 1993)

No 1º grupo de testes procurou-se avaliar:

- a inserção dos *buffers* de alimentação (entre as cadeias não-críticas e as críticas) e dos *buffers* de projeto;
- o efeito do relaxamento das cadeias não-críticas no nivelamento de recursos;
- a alteração da topologia da rede com a inserção do *buffer* de projeto.

Os carregamentos foram dimensionados de forma a explorar todas as configurações da cadeia crítica possíveis para cada topologia. O detalhamento desta metodologia, os testes e os respectivos resultados encontram-se no Apêndice 5.

O processo de cálculo, após essa avaliação, foi aplicado a um segundo grupo de testes envolvendo redes lógicas de maior porte. As avaliações desta segunda fase envolveram 20 redes lógicas (Quadro 13, Quadro 14, Quadro 15), com porte variando de 7 a 49 arcos e com a relação entre arcos e nós variando entre 1,10 e 1,67.

As redes foram às mesmas utilizadas nos trabalhos de Wiest e Levy, 1977 (configuração 15, 16 e 17); Ahuja, 1984 (configuração 9, 14 e 18); Shanmuganayagam, 1989 (configuração 12); e Davis e Patterson, 1975 (demais redes lógicas).

Quadro 13 Topologia de redes do 2º grupo de testes- configuração 1 a 8

Quadro 14 Topologia de redes do 2º grupo de testes- configuração 9 a 16

Quadro 15 Topologia de redes do 2º grupo de testes- Configuração 17 a 20

O segundo grupo de testes é dividido em dois conjuntos, pois nos testes exploratório anterior sentiu-se a dificuldade de explorar e avaliar:

- Qual o melhor critério para relaxação das cadeias de atividades, a partir do desdobramento da folga disponível (60 testes):
 - alocado na atividade de maior duração;
 - alocado na atividade de menor duração;
 - alocado na atividade de maior quantidade de recurso;
 - alocado na atividade de menor quantidade de recurso
 - proporcional a duração de cada atividade na cadeia não-crítica
 - proporcional ao recurso total de cada atividade na cadeia não-crítica
- Qual o melhor tamanho do *buffer* de alimentação (50 testes):
 - 10% da duração da cadeia não-crítica;
 - 20% da duração da cadeia não-crítica;
 - 30% da duração da cadeia não-crítica;
 - 40% da duração da cadeia não-crítica;
 - 50% da duração da cadeia não-crítica;

Com o melhor resultado do 1º conjunto de testes foram realizados os 50 testes do 2º conjunto. E após a análise dos 110 testes foram consolidadas as regras heurísticas e feita uma análise comparativa das regras: melhor dimensionamento de *buffer* e melhor critério para relaxação da cadeia com as melhores regras obtidas nos trabalhos de Davis e Patterson (1975) e Morse *et al.*(1996), compondo assim o 3º grupo de testes.

Essa análise comparativa tem como objetivo avaliar a consistência e o desempenho das regras propostas nesta Tese com os trabalhos já publicados nesse campo de pesquisa que se tornaram referência na solução do problema de nivelamento de recursos.

Os resultados dos 170 testes obtidos nesta etapa dos trabalhos, assim como os referenciais teóricos encontram-se no Apêndice 6.

A próxima etapa será a consolidação do método proposto nesta Tese, como um todo, reunindo os resultados dos 16 estudos de caso sobre modelagem de rede lógica e mapeamento de escopo com a heurística obtida a partir dos 170 testes.

A aplicabilidade desse método será avaliada no último estudo de caso, empregando uma rede lógica com 473 atividades. A rede lógica selecionada para este teste final enquadra-se na tipologia de empreendimentos objeto desta Tese: empreendimentos residenciais verticais.

O detalhamento da metodologia deste item, mais as respectivas referências teóricas, a aplicação dos testes e seus resultados detalhados encontram-s no Apêndice 7.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS E PROPOSIÇÃO DO MÉTODO DE NIVELAMENTO DE RECURSOS PARA PLANEJAMENTO OPERACIONAL

Neste tópico são discutidos os resultados obtidos dos 177 testes e nos 16 estudos de caso cuja metodologia foi apresentada no capítulo 3 e a descrição dos resultados estão detalhado nos Apêndices de 2 a 7 . Aqui se pretende obter uma análise crítica dos resultados, assim como requisitos mínimos para modelagem das redes capazes de suportar soluções de nivelamento de recursos a partir do emprego da TOC, e, finalmente propor o método de nivelamento de recursos utilizando regras heurísticas a partir dos princípios da TOC para planejamento operacional.

O desenvolvimento e validação desta Tese está dividida em 3 fases, podendo-se destacar:

- 1) estudos de caso para avaliar e propor um modelo de *WBS* e uma biblioteca de redes lógicas;
- 2) testes para avaliar os princípios da TOC aplicados ao nivelamento de recursos e sustentar a proposição e validação da regra heurística para nivelamento de recursos;
- 3) 01 estudo de caso visando à demonstração da aplicabilidade do método de nivelamento de recursos.

4.1 REQUISITOS MÍNIMOS PARA MODELAGEM DE REDES LÓGICAS CAPAZES DE SUPORTAR SOLUÇÕES DE NIVELAMENTO DE RECURSOS A PARTIR DO EMPREGO DA TOC.

Para proposição de regras heurísticas para nivelamento de recursos é necessário se estabelecer um cenário básico contemplando o escopo a ser executado, os recursos demandados, critérios de produtividade que permitam estimar as prováveis demandas de recursos e as durações das atividades a serem executadas. Além disso, observaram-se quando a topologia da rede lógica propicia o surgimento de cadeias (seqüência de atividades) os processos se mostram de mais fácil aplicação.

Assim, pode-se estabelecer que a proposição de regras heurísticas para o nivelamento de recursos, a partir da Teoria das Restrições, necessita que a modelagem destinada a suportar o processo de programação observe os seguintes aspectos:

- mapeamento exaustivo do escopo a ser realizado, com seu desdobramento em um conjunto de atividades inter-relacionadas por regras de precedências claras - esta é a base de dados que permitirá a formulação de redes lógicas consistentes;
- redes lógicas cuja a topologia favoreça a articulação de cadeias (seqüências lineares) de atividades;

- emprego de critérios de arbitragem para a estimativa da duração das atividades e demanda de recursos baseados em dados paramétricos calibrados por históricos de desempenho – para se evitar dimensionamento de *buffers* de projeto conforme recomendado por Goldratt (1997).

Como resultado da análise dos estudos de caso iniciais (Apêndice 1 e 2) foi estabelecido um *WBS* referencial para edifícios residenciais verticais (Apêndice 3) e uma biblioteca referencial de redes lógicas (Apêndice 4) para esta classe de edificações. Estes resultados têm o propósito de subsidiar o atendimento aos requisitos preconizados para a elaboração da programação capazes de suportar a solução de nivelamento de recursos a partir da Teoria das Restrições a ser proposta a seguir.

4.2 REGRAS HEURÍSTICAS PARA NIVELAMENTO DE RECURSOS A PARTIR DE PRINCÍPIOS DA TOC

Os estudos realizados, nesta etapa seguiram a mesma metodologia proposta por Pascoe (1965) e posteriormente aplicada nos trabalhos de Davis e Patterson (1975), Harris (1978), Moder *et al.* (1983), Olagübel e Goerlich (1989), Morse *et. al.* (1996).

A avaliação da aplicação dos princípios da TOC (1º conjunto de testes) indicou as seguintes observações:

- a) inserção dos *buffers* de alimentação – estes elementos podem ser aplicados como proteção à cadeia crítica de uma dada rede, procurando evitar que eventuais atrasos na cadeia não-crítica impactem no prazo final do projeto, e no momento do balanceamento das cadeias ele é um limitante à relaxação impedindo que a cadeia não-crítica se torne crítica;
- b) inserção do *buffer* de projeto – este elemento atua como protetor da data alvo de uma dada programação. A abordagem da TOC arbitra seu dimensionamento em 50% da duração da cadeia crítica recomenda-se que o dimensionamento destes elementos seja consequência de uma análise de risco da própria programação. Este elemento tem a capacidade de modificar a reprogramação inicial da rede lógica e arbitrar seu dimensionamento como proposto pela TOC não se encontrou nenhum suporte tanto teórico como prático. Esse elemento poderia ser aplicado desde que haja uma aplicação de metodologia de risco como PMI (1992) entre outras existentes no campo do gerenciamento.
- c) balanceamento de capacidade – a aplicação deste conceito leva a formulação da proposta de relaxar todas as cadeias de atividades que não sejam críticas. Esta relaxação deve se valer dos prazos disponíveis para isto em cada cadeia de atividade, ou seja, nas respectivas folgas de cadeias ou folgas totais destas cadeias. Estas folgas devem ser usadas para atender a dois requisitos de uma programação que seja orientada pelos princípios da TOC: dimensionar os *buffers* de alimentação e o limite de relaxação de cada cadeia. Portanto, há que se

estabelecerem critérios para o desdobramento da folga de cada cadeia de atividades inicialmente entre o *buffer* de alimentação e a relaxação e, depois, o rateio da folga em cada atividade que compõe a cadeia. Foram analisados critérios tais como: proporcional a duração de cada atividade da cadeia não-crítica; proporcional ao recurso de cada atividade da cadeia não-crítica; alocada na atividade da cadeia não-crítica de maior duração; alocada na atividade da cadeia não-crítica de menor duração; alocada na atividade da cadeia não-crítica de maior recurso; e, alocada na atividade da cadeia não-crítica de menor recurso.

Isto permite um primeiro esboço da regra heurística a ser formuladas, a saber:

- inserção de *buffers* de alimentação nas cadeias não-críticas;
- relaxação das cadeias.

Este processo deve ser capaz de modificar o perfil da demanda de recursos que pode ser obtido a partir de uma programação de partida inicial.

Há que se estabelecer critérios para o dimensionamento dos *buffers* como dos limites para relaxação das cadeias de atividades. Isto foi feito na etapa de testes subsequente, quando foram realizados 110 testes em 20 redes lógicas.

Os resultados indicaram os seguintes critérios:

- a) o *buffer* de alimentação deve ter uma duração equivalente a 10% da duração da cadeia não-crítica na qual deverá ser inserido;
- b) a folga da cadeia remanescente, após a inserção do *buffer*, deve ser desdobrada (rateada) entre as atividades que compõem a cadeia, de modo proporcional às suas durações;

Estes testes não só indicam os melhores critérios para o dimensionamento destes elementos de regras heurísticas, como permitiram sua validação.

Para verificar sua eficiência foi feita uma análise comparativa com as melhores regras encontradas na bibliografia estudada até o momento na qual a MINSLK, proposta por Davis e Patterson (1975) e que apresentou resultado positivo em 51% dos casos, a ACTIM, analisada por Morse *et al.* (1996) que apresentou resultado positivo em 50% dos casos testados. A regra proposta nesta Tese apresentou resultado positivo em 54% dos casos.

Esta tese desenvolve um método de nivelamento de recursos a partir de princípios da TOC aplicado ao planejamento operacional de edificações residenciais verticais valendo-se do fato que estas programações, pela sua própria natureza, se enquadram nos requisitos expostos aqui.

Cabe antecipar o seguinte comentário: a solução aqui proposta pode, a princípio, ser empregada em topologias de rede que não sejam unicamente lineares (cadeias), mas, certamente, sua aplicação será

mais trabalhosa e não foram feitos testes que permitam estabelecer expectativas quanto ao seu desempenho. Por outro lado, empreendimentos cuja programação de implantação permita sua modelagem por redes lógicas que propiciem o mapeamento de cadeias de atividades, tais como obras lineares de infra-estrutura (estradas, redes de abastecimento de água, etc.) poderão se valer da solução aqui proposta.

Esta Tese considera o princípio de que toda regra heurística deve ser simples e de fácil aplicação. Desta forma a regra heurística proposta é a seguinte:

- Admite-se a disponibilidade de uma programação de partida, baseada em uma rede lógica, contemplando os dados de escopo, durações e demandas de recursos por atividades;
- Calculam-se as datas de programação das atividades pelo método CPM tradicional;
- Identifica-se a(s) cadeia(s) crítica(s) da programação.
- Inserem-se as atividades fictícias sem consumo de recursos, porém com durações, representando os *buffers* de alimentação destinados a proteger a(s) cadeia(s) crítica(s) das flutuações de prazo que venham a ocorrer na(s) cadeia(s) não-crítica(s);
- Limitam-se as durações dos *buffers* a 10% da duração da cadeia na qual serão inseridas;
- Devem ser calculadas as folgas das cadeias após a inserção dos *buffers*;
- Relaxam-se as durações das cadeias não-críticas, até o limite da folga da cadeia remanescente após a inserção do *buffer*, mediante o aumento da duração das atividades que a compõem. Este acréscimo de duração é feito de modo balanceado respeitando a proporcionalidade das durações das atividades que compõem uma dada cadeia;
- Dimensionam-se as demandas de recursos, ao longo do tempo, para as condições pré e pós relaxação, de modo a se observar o grau de nivelamento na demanda de recursos obtida.

Essa regra atende o processo de focalização sugerido por Goldratt, 2002:

- a) identificar a(s) restrição(ões) do sistema – identifique a cadeia crítica;
- b) explorar da melhor forma possível a restrição identificada – verifique a maior capacidade da cadeia crítica (menor prazo e maior equipe possível);
- c) subordinar tudo à decisão anterior – a cadeia não-crítica deve ter sua capacidade igualada a da crítica, tendo suas durações relaxadas;
- d) elevar a restrição do sistema – preservar cadeia crítica a protegendo com *buffer* de alimentação;
- e) se nos passos anteriores uma restrição for eliminada, volte ao passo 1. – se houve alteração da cadeia crítica volte a o passo 1.

Observe-se que a heurística, aqui proposta, demanda critérios de dimensionamento para os *buffers* de alimentação e para os limites de relaxamento na duração das atividades da cadeia não-crítica.

Isto foi feito na etapa de validação da heurística hora proposta. Cabe um comentário quanto a metodologia de validação desta Tese. A proposição acima parte do princípio que há uma correlação entre a demanda de um conjunto de recurso, ao longo do tempo, e a duração da atividade para cuja execução este recurso é demandado.

Este princípio pode ser observado não só na Teoria das Restrições quando ela trata do balanceamento das cadeias de atividades não-críticas, mas nas abordagens propostas por Antill e Woodhead (1983) e Halpin e Woodhead (1998) quando desenvolveram algoritmos de compressão e descompressão de redes.

Embora esta tese não se aprofunde nas questões ligadas ao gerenciamento de custos, há que se lembrar que esta correlação, custo ou recurso *versus* tempo, tem limitações até pela natureza das tarefas e custos envolvidos na execução de uma dada atividade.

Algumas tarefas contribuem de forma direta para a execução de uma atividade, enquanto outras estão ligadas ao ambiente, do empreendimento e da empresa na qual ela é executada.

Estas tarefas que contribuem de forma indireta para a execução de uma dada atividade não apresentarão uma correlação custo *versus* prazo ou demanda de recursos *versus* prazo de maneira análoga aquela das tarefas que contribuem diretamente na execução da atividade.

Por exemplo, os custos associados à [Conta Geral de Administração] de um empreendimento tendem a ser crescentes com o tempo, posto que o nível de alocação dos recursos que elas demandam apresenta pouca variação em face de uma extensão na duração de uma atividade.

Já os recursos diretamente envolvidos na execução de uma dada atividade são conseqüências do escopo a ser cumprido, o qual tem a princípio, pouco impacto decorrente de alterações na duração desta atividade. Isto significa que para maiores prazos de duração, têm-se menores níveis de alocação de recursos.

Além disso, soluções de nivelamento que impliquem em ajustes na duração do prazo final de um dado empreendimento poderão incorrer em acréscimos dos custos cujo conjunto esteja diretamente associado ao prazo como é o caso da [CGA] anteriormente mencionada.

Por outro lado, mesmo entre as tarefas que contribuem diretamente para a execução de uma dada atividade, poderão existir recursos cujos custos sejam acrescidos em uma condição de relaxamento. Este é o caso de equipamentos cuja utilização fique vinculada exclusivamente a uma dada atividade. Mesmo sendo uma condição de baixa probabilidade de ocorrência ela é possível.

Estas considerações explicam porque esta tese não incorpora uma das proposições básicas da Teoria das Restrições, que é o *buffer* de proteção da cadeia crítica. Embora, este recurso de programação não consuma, diretamente, recursos, por princípio, estende o prazo de implantação do empreendimento. Isto significa que determinados recursos devem ter uma mobilização prevista durante estes *buffers* (tais como recursos financeiros) para o caso de ocorrência de desvios de prazo ao longo da cadeia crítica. Estes são aspectos de difícil tratamento em qualquer solução heurística de nivelamento de recursos atualmente disponíveis e ignorados pela Teoria das Restrições.

A regra heurística aqui proposta segue a mesma abordagem considerada por Moder *et al.* (1983), de restringir os processos de nivelamento aos recursos diretamente envolvidos na execução das atividades objeto da programação e cujo comportamento possa ser correlacionado as respectivas prazos de execução.

4.3 PROPOSIÇÃO DO MÉTODO DE NIVELAMENTO DE RECURSOS A PARTIR DOS PRINCÍPIOS DA TOC PARA PROGRAMAÇÃO OPERACIONAL

Como consequência dos trabalhos desenvolvidos e após a análise dos resultados foi formulado o método de nivelamento de recursos utilizando regras heurísticas a partir da aplicação dos princípios da Teoria das Restrições. O método é formado de:

- modelo de *WBS* proposto no Apêndice 3;
- biblioteca de redes lógicas descritas no Apêndice 4 e mais uma rede utilizada no Apêndice 7 totalizando 17 modelos;
- processo de nivelamento composto de regras heurísticas baseada nos princípios da TOC (item 4.1).

Finalmente, para avaliar a aplicabilidade deste método foi feito um estudo de caso relativo a uma edificação vertical de 5 pavimentos formando uma rede lógica de 473 atividades aplicando as regras obtidas anteriormente, utilizando o modelo de *WBS* e uma adaptação da rede lógica 07, contida na biblioteca de redes lógicas do Apêndice 4.

Na rede de 473 atividades foram inseridos os *buffers* de alimentação de 10% nas cadeias não-críticas. E as atividades que possuíam folga tiveram sua duração relaxada, conforme os critérios já enunciados.

Ao analisar o histograma com 12 tipos de recursos identificou-se: os recursos R01, R02, R05, R06 e R08 não estavam nivelados na programação inicial. Após a aplicação das regras heurísticas os recursos R01, R02 e R05 ainda apresentaram pequenas oscilações nos seus níveis de demanda. Os recursos R06 e R08 (comum em quase todas as tarefas) foram completamente nivelados em relação ao inicial.

Os recursos R03, R04, R07, R09, R10, R11 e R12 se mantiveram nivelados com uma distribuição melhor e picos de demanda menores que os da programação inicial. Estes resultados demonstram a aplicabilidade do método propostos nesta Tese em redes de grande porte.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho realizado, utilizando múltiplos métodos de pesquisa, buscou respostas para várias particularidades do Setor da Construção Civil quanto à programação de edifícios residenciais verticais. A seguir são destacados os pontos mais relevantes da pesquisa e trabalhos que ainda poderão ser desenvolvidos.

5.1 CONCLUSÕES

Conforme apresentado no capítulo 1, o objetivo desta tese consistiu na proposição de um método de nivelamento de recursos a partir de princípios da Teoria das Restrições para planejamento operacional.

Este objetivo foi desdobrado em duas etapas, inicialmente a obtenção de um modelo de *WBS* referencial e de uma biblioteca de redes lógicas que irão sustentar o método como todo provendo os requisitos mínimos para sua aplicação. E na segunda etapa foram desenvolvidas e validadas regras heurísticas para o nivelamento de recursos a partir de princípios da TOC.

As conclusões específicas de cada etapa já foram apresentadas no Capítulo 4 e nos Apêndices de 2 a 7. Cabe, agora, uma avaliação final quanto à abrangência e consistência dos resultados atingidos.

Ao longo do Capítulo 2 foi apresentada uma abordagem sistêmica para a programação por recursos, encontrando lacunas na bibliografia quanto à aplicação de princípios da TOC, regras heurísticas simples e de fácil aplicação, falta de um modelo de *WBS*, no nível operacional, voltados para topologia de edificações objeto do estudo nesta Tese; e, falta de uma biblioteca de redes lógicas que pudessem ser utilizadas nesta mesma tipologia de edificações. No Capítulo 3 foi proposta uma metodologia de desenvolvimento contemplada ao longo desta Tese para suprir as lacunas expostas.

A partir dos princípios da Teoria das Restrições, formularam-se regras de nivelamento para programação por recursos capaz de tratar de modo sistêmico os problemas de restrições quanto a prazos, nivelamento e alocação de recursos.

Dessa forma, o método aqui proposto compreende desde o tratamento da incerteza nas estimativas de durações de atividades até a consolidação das programações dessas atividades, como decorrência de processos de nivelamento ou alocação de recursos.

Os testes conduzidos para a validação das regras heurísticas foram consistentes e permitem admitir, por indução, sua aplicabilidade a redes lógicas de grande porte.

Ao mesmo tempo, o emprego de um conjunto de regras heurísticas cuja eficiência já foi comprovada por testes anteriores, assegura a qualidade do algoritmo de programação por recursos, seja quanto a sua convergência, ou quanto sua capacidade em identificar soluções satisfatórias de simulação de demanda de recursos.

Quanto à análise dos resultados, vale destacar, na comparação com o conjunto de regras existentes que:

- nenhuma regra se mostrou absolutamente superior em todos os casos;
- quanto maior o porte da rede mais difícil o nivelamento;
- quanto maior o número de recursos envolvidos mais difícil a aplicação das regras;
- na regra proposta nesta Tese as cadeias devem sair e chegar à cadeia crítica. Quando uma cadeia deriva da cadeia crítica e ramifica em duas cadeias, a duração dessa cadeia deve ser considerada em uma única cadeia e deve ser subtraída da folga livre da outra cadeia;
- a regra aqui proposta demonstra um nível de eficácia igual ou superior ao das melhores regras propostas até o momento.

Como conclusão final, merece comentário o atendimento a um objetivo subjacente, qual seja o de tratar de forma estruturada e aberta o processo de programação por recursos, posto ser este um aspecto raro nos trabalhos até aqui desenvolvidos.

Outro fator importante é que o método de nivelamento aqui proposto pode ser aplicado em outros modelos de planejamento operacional, mas sua completude foi testada e avaliada a partir do modelo de *WBS* e da biblioteca de redes proposta para determinada tipologia de empreendimentos objeto desta tese.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA NOVOS ESTUDOS

Este trabalho de pesquisa, mesmo tendo sido abrangente, ainda assim deixa indicações de caminhos a serem seguidos. Algumas questões ainda podem ser exploradas em outros trabalhos visando obter resultados ainda mais eficazes como:

- aplicação da compressão da cadeia crítica visando a redução do prazo final preenchendo os espaços onde os picos de demanda de recursos são baixos;
- acompanhamento do método proposto para controle de edificações;
- aplicação do método proposto em outras tipologias de edificações;
- análise de outras regras em conjunto com a aplicada nesta tese;

- o desenvolvimento de ferramentas de *software* capazes de processar os algoritmos aqui propostos, buscando seu processamento em um tempo menor. Apesar de ser utilizado com os *softwares* existentes no mercado e não demonstrar dificuldade na aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, H. N. **Project Management: techniques in planning and controlling construction projects**. John Wiley and Sons, 1ª. Ed., 465 p., 1984.

AKKARI, A.M.P **Interligação entre o planejamento de longo, médio e curto prazo com o uso do pacote computacional Msproject: proposta baseada em dois estudos de caso**. 2003. 146 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ANTILL, J.M.; WOODHEAD, R.W. **Critical Path Methods in Construction Practice**. John Wiley and Sons, 1995. 4a Ed. (Copyright 1982), 422 p.

ASSUMPÇÃO, J.F.P. **Gerenciamento de empreendimentos da construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. 1996. 206 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. 192 p. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BERNARDES, M.M.S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento da produção para micro e pequenas empresas de construção**. 2001. 285 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BRAND, J. D.; MEYER, W. L.; SHAFFER, L. R., “ The Resource Scheduling Method in Construction,” **Civil Engineering Studies**, 1964, Report N° 5, University of Illinois.

British Standard Institution. Use of network techniques in project management – Part4 . **Guide to resource analysis and cost control**, 1981. 19 p.

BOWERS, J.A. Criticality in resource constrained network, **Journal of Operational Research Society**, 1995,46 (1), p.80-91.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Project Management – Guide to Project Management – BS 6079 -1:2000**. London, 2002.

BROOKS, Fred. **The Mythical Man-Month**. 1995. 3a. Edição. Addison-Wesley.

BURGESS, T. & KILLEBREW,H. "Variation in Activity Level on a Cyclic Arrow Diagram," **Journal Of Industrial Engineering**, 1962, 13(2), p. 76-83.

CABANIS-BREWIN, J.. "So ... So What?" Debate over CCPM gets a verbal shrug from theory of constraints gum Goldratt. **Project Managment Network**, 1999. 13 (12), p. 49-52.

CIB Report, **A pratice manual on the use of Sfb the calssification system for project and general information in the building industry**, Publication 55, 1985.

COX, J.F.; SPENCER, M.S. **The constraints management handbook**. [S.I]: St. Lucie Press/APICS, 1998.

COOPER, D. F. Heuristics for Scheduling Resource-Constrained Projects: An Experimental Investigation. **Management Science**, 22, pag 1186-1194; 1976.

CROWSTON, W. B. S., "**Decision network planning models**" Unpublished Ph.D. Thesis Carnegie-Mellon University, 1968.

CSILLAG, J. M. **Análise do Valor**. São Paulo: Editora Atlas, 3ª edição. 1991.

DAVIS, E.W.; PATTERSON, J.H. A Comparison of heuristic and optimum solutions in resource-constrained project scheduling. **Management Science**, April 1975. Vol. 21, p. 944-955.

DEMEULEMEESTER, E.; HERROELEN, W.S. New Benchmark results for the resource-constrained project scheduling problem. **Management Science**, 1997. 43 (11), p. 1485-1492.

_____. A branchand-bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem. **Management Science**, 1992. 38 (12), p. 1803-1818.

DEMEULEMEESTER, E.; HERROELEN, W.S.; SIMPSON, W.P.; BAROUM, S.; PATTERSON, J.H.; YANG, K.K. On a paper by Christofides *et al.* for solving the multiple-resource constrained, single project scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, 1994. 76 (1), p. 218-228.

EASA, S. M. Resource Leveling in Construction by Optimization. **Journal Of Construction Engineering And Management**, June 1989. 115 (2), p.302-316.

ELMAGHRABY, S.E.E. Activity networks-Project planning and control by network models. **Wiley Interscience**. New York, 1977.

ELTON, J.; ROE, J. Bringing discipline to project management. **Harvard Business Review**, *march-april*, 1998. 76 (2), p.153-163.

EVANS, G.W.; KARWOWSKI, W.; WILHELM, M.R. Applications of Fuzzy Sets in Industrial Engineering. **Elsevier Science Publisher**, 1989, Netherlands, 333 p.

FARID, F.; MANOHARAN, S. Comparative Analysis of Resource-Allocation Capabilities of Project Management Software Packages. **Project Management Journal**. June, 1996. 27 (2), p. 35-44.

FENDLEY, L. G., "Toward the Development of a Complete Multiproject Scheduling System," **Journal of Industrial Engineering**, October 1968. Vol. 19, N° 10 p. 505-15.

FORMOSO, C.; BERNADES, M.M.S.; OLIVEIRA, L.; OLIVEIRA, K. **Uma Proposta de Protocolo para o Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras**. Porto Alegre: NORIE/UFRS, 1998.

GLOBERSON, S. PMBOK® and the critical chain. **Project Management Network**, 14 (5), 63-66, 2000.

GOLDRATT, E.M. **Mais que sorte...um processo de raciocínio**. São Paulo Editora Educator e Desenvolvimento Empresarial 1994. 303 p.

GOLDRATT, E.M. **Critical chain**. Great Barrington, MA: The North River Press Publishing Corp. 1997.

GOLDRATT, E.M.; COX, J. - **A síndrome do palheiro: garimpando informação num oceano de dados**. São Paulo: Educator, 1991.

_____. **A Meta, um processo de melhoria continua**. 2ª Edição Editora Nobel. 2002.

GOLDRATT, E.M.; FOX, R. **A corrida pela vantagem competitiva**. Editora Educator e Desenvolvimento Empresarial. 1992, p.182.

GONGUET, L. "Comparison of Three Heuristic Procedures for Allocating Resources and Producing Schedule". **Project Planning by Network Analysis**. North-Holland, 1969.

GRAY, C.; LITTLE, J. **The classification of work packages to determine the relationship between design and construction**, University of Reading, Department of Construction Management. Occasional paper no 18. 1985.

HALPIN, D. W.; RIGGS, L.S. **Planning and Analysis of Construction Operations**. N.Y. John Wiley & Sons, 1992. 1a Ed.

HALPIN, D. W.; WOODHEAD, R. W. **Construction Management**. 2a Ed. N.Y. John Wiley & Sons, 1998.

HARRIS, R.R.N; McCAFFER, R. **Modern Construction Management**, London, Granada, Publishing Company, 1977.

HARRIS, R.R.N, **Precedence and Arrow Network Techniques for Construction**, 1st ed., New York, John Wiley & Sons, 1978.

HEINECK, L.F. M. **On The analyses of activity durations on three house building sites**. 1993. 275 p. These (Doutorado) - The University of Leeds, Department of Civil Engineering, 1983.

_____. **Modelos para o Planejamento de Obras.** In: ENCONTRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 1984, Santa Maria. **Anais.** Santa Maria: UFSM, 1984.

HERROELEN, W. S. **Resource-Constrained Project Scheduling – The State of Art,** Operational Research Quaterly, V.23, n.3, p261-275, 1972.

HERROELEN, W., De REYCK, B., & DEMEULEMESSTER, E. **Resource-constrained project scheduling: A survey of recent developments.** *Computers and Operations Research*, 1998. 25 (4), p. 279-302.

HERROELEN, W., & LEUS, R. On the merits and pitfalls of critical chain scheduling. *Proceedings of the 1st PMI Research Conference 2000*, Paris, France, 2000. Newtown Square, PA: PMI, p. 283-295.

HERROELEN, W.; LEUS, R.; DEMEULEMESTER, E. Critical Chain Project Scheduling: Do not Oversimplify, **Project Management Journal** December 2002, p. 48- 59.

HILL, J., THOMAS, L.C., & ALLEN, D.E. Experts' estimates of task durations in software development projects. **International Journal of Project Management.** 2000. 12 (1), p.13-24.

HOEL, K., & TAYLOR, S.G. Quantifying *buffers* for project schedules. **Production and Inventory Management Journal**, 1999, 40 (2), p. 43-47.

HOMER, J.L. Applying the theory of constraints to projects. **Proceedings of the 29th Annual Project Management Institute 1998 Seminars & Symposium.** CD-ROM, Newtown Square, PA: Project Management Institute.1998.

KÄHKÖNEN, K.; ATKIN, B. **Modeling activity dependencies for construction project planning,** Proceedings of the International Symposium on Building Economics and Construction Management, Volume 6,CIB W55 and W 65 Joint Symposium, Sydney, Australia, March 1990, p.251-262.

_____. Modeling activity dependencies for building construction project scheduling, Espoo 1993, Technical Research Centre of Finland, **VTT Publications** .1993. 153, 137p.

KARSHENAS, S. and HABER D. Economic Optimization of Construction Project Scheduling. **Construction Management and Economics**, 8 (2), pp 135-146.1990.

KELLEY, J. E., “The Critical Path Method: Resources Planning and Scheduling, J. F. Muth and G. L. Thompson, eds., Industrial Scheduling, Prentice-Hall, 1963.

KING, W.R. **Network Simulation Using Historical Estimating Behavior**, AIIE Transactions, Vol. 3, no 2, 1971, p. 150-155.

- KLIR, G.J. e YUAN,B. **Fuzzy+AI27 Mathematical Models in Engineering and Management Science**. Elsevier Science Publisher, Netherland, 2a Imp., 337p. 1995
- KNIGHT, R. M.,”**Resource allocation and multi-project scheduling in a research and development environment**,” Unpublished M. S. Thesis, School of Management, MIT, June 1966.
- LAUFER, A.; TUCKER, R. Is Construction Planning Really Doing Its Job? A Critical Examination of Focus, Role and Process. **Construction Management and Economics**, London, May 1987. V. 5, n.3, p.243-266.
- LEACH, L. Critical chain project management improves project performance. **Project Management Journal**, 1999, 30 (2) ,p. 39-51.
- LEACH, L.P. **Critical chain project management**. Boston: Artech House Professional Development Library.2000.
- LEACH, P. Putting quality in project risk management-Part 1: Understanding variation. **Project Management Network**, 15 53-56. 2001a
- _____ Putting quality in project risk management-Part 2: Dealing with variation. **Project Management Network**, 15 47-52.2001b
- LI, K.Y.; WILLIS, R.J. An Iterative Scheduling Technique for Resource-Constrained Project Scheduling. **European Journal of Operational Research**, N. 56, pag 370-379, 1992.
- LIPOVETSKY, S., TISHLER, A., DVIR, D.; SHENHAR, A. **The relative importance of project success dimensions**. *R & D Management*, 27 (2), 97-106.1997.
- LORTERAPONG, P. **Fuzzy Project – Network Scheduling under Resource Constrained**. Thesis (PhD), Concordia University, 199. 223 p.
- MATTHEWS, M. Resource Scheduling : Incorporating Capacity into Schedule Construction. **Project Management Journal**, June 1994, 25 (2), p. 44-54.
- MAYLOR, H. **Another silver bullet? A review of the theory of constraints approach to project management**. Paper presented at the 7th International Annual European Operations Management Association Conference, Ghent, Belgium. 2000.
- McCAHON, C.S. **Using PERT as an Approximation of Fuzzy Project-Network Analysis**. IEEE Transactions on Engineering Management, 40 (2), May, pp 146-153.1993.
- McCALLUM, B.T., "A Linearized Version of Lucas's Neutrality Model," **Canadian Journal of Economics**, Canadian Economics Association, February 1984, vol. 17(1), p. 138-145.

McCOLLUM J.K.; SHERMAN, J.D. **The effects of matrix organization size and number of project assignments.** 1991.

MEREDITH, J. Building operations management theory through case and field study. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, July 1998.V. 16, n. 4, p. 441-454.

MIZE, J. H., “**A Heuristic Scheduling Model for Multi-Project Organizations**”. Unpublished Ph. D. Thesis, Purdue University, 1964.

MODER, J.J.; PHILLIPS, C.R. **Project Management with CPM and PERT**, 2nd. Ed, London, Van Nostrand Reinholds, 1970.

MODER, J.J.; ELMAGHRABY, S. **Handbook of operations research: foundations and fundamentals.** Van Nostrand Reinhold Company, USA, 1978. 621 p.

MODER, J.J.; PHILLIPS, C.R.; EDWARD, W. **Project Management with CPM and PERT and Precedence Diagramming**, Blitz Publishing Company, USA, Copyright: 1983, Van Nostrand Reinhold Company. 1995.

MORSE, L. C.; MCINTOSH, J.O.;WHITHOUSE, G.E. Using Combinations of Heuristics to Schedule Activities of Constrained Multiple Resource Projects. **Project Management Journal**, March 1996. 27 (1), p. 34-40.

MORTON; PENICO, **Heuristic Scheduling Systems.** Nova York: John Wiley and Sons, 1993, p.28.

MUELLER-MEHRBACH, H., “**Ein Verfahren Zur Planung des Optimalen Betriebsmitteleinsatzes Bei der Terminierung Von Grossprojekten,**” AWF – Mitteilugen, Frankfort, February 1967.

NEWBOLD, R.C. **Project management in the fast lane-Applying the theory of constraints.** Boca Raton, FL: The St. Lucie Press.1998.

OLAGUIBEL, R. A.V; GOERLICH, J.M.T. Heuristic Algorithms for Resource-Constrained Project Scheduling : A Review and a Empirical Analysis. in **Advances in Project Scheduling.** Slowinsk, R. and Weglarz, J. (ed.), Elsevier Publisher, Netherlands, p. 113-134. 1989.

OLIVEIRA, K. **Desenvolvimento e implementação de um sistema de indicadores no processo de planejamento e controle da produção: proposta baseada em estudo de caso.** 1992. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

ÖZDAMAR, L.; ULUSOY, G. **A Survey on the Resource-Constraints Project Scheduling Problem.** IEE Transactions, 27, p. 574-586. 1995.

PASCOE, T. L., “**An experimental comparison of heuristic methods for allocating resources,**” Unpublished Ph. D. Thesis, Department of Engineering Cambridge University, 1965.

PATRICK, F.S. Critical chain scheduling and *buffer* management-Getting out from between Parkinson's rock and Murphy's hard place. **Project Management Network**, 13 (4), p. 57-62.1999.

PATTERSON, J. H., “**Alternate Methods of Project Scheduling with Limited Resources,**” Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 20, N° 4, December, 1973 p. 787-84.

PATTERSON, J.H. A comparison of exact procedures for solving the multiple constrained resource project scheduling problem. **Management Science**, 30 (7), p. 854-867.1984.

PHILLIPS Jr., S. Project Management Duration/Resource Tradeoff Analysis : an application of the cut search approach. **Journal of Operational Research Society**, 1996, 47 (5), p. 697-701.

PINTO, J.K. Some Constraints on the Theory of Constraints, **Project Management Institute Network**, p. 49, 1999.

PRITSKER, A. A. B., WATTERS, L. J. and WOLFE, P. M., “Multiproject Scheduling with Limited Resources: A Zero-One Programming Approach,” **Management Science**, Vol. 16, N° 1, (September 1969) pp. 93-108.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Project and program risk management: a guide to managing project risks and opportunities.** Edited by Wideman, R. M. Upper Darby, 1992.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide to the project management body of Knowledge.** Pennsylvania, 2006.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Pratice Standart for Work Breakdown Structure.** Edited by Wideman, R. M. Upper Darby, 2001.

RAND, G. K. Critical chain: the Theory of Constraints applied to project management. **International Project Management Journal**, 2000. V.18, Issue 3, p. 173-177.

RAZ, T.; MARSHALL, B. Effect of resource constraints on float calculations in project networks. **International Project Management Journal**, 1996. 14 (4), p. 241-248.

RAZ, T.; BARNES, R.; DVIR, D. A Critical look at critical chain project management. **International Project Management Journal**, December 2003, p. 24-31.

ROCHA LIMA JR, J. **Gerenciamento na construção civil.** Uma abordagem sistêmica. São Paulo, EPUSP, 1990(a) (Texto Técnico, Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/27/90, 47p)

_____. **Sistema de informação para o planejamento na construção civil.** Gênese e informação. São Paulo, EPUSP, 1990 (b) (Texto Técnico, Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/27/90, 69p).

_____. **Política empresarial e diretrizes de ação.** São Paulo, EPUSP, 1994 (Texto técnico Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/126/94,38p).

RUSSELL, A. H. A Comparison of Heuristics for Scheduling Projects with Cash Flow and Resource Restriction. **Management Science**, 1986. 32, p. 1291-1300.

SANDMAN, W. E.; HAYES, J. P. **How to Win Production: Planning, Control and Integration.** Burr Ridge, IL: MacGraw-Hill, 1998, p.531.

SCHRAGE, L., "Solving Resource-Constrained Network Problems by Implicit Enumeration-Nonpreemptive Case," *Operations Research*, March-April 1970. Vol. 18, N° 2, p. 225-235.

SEIBERT, J.E.; EVANS, G.W. Time – Constrained Resource Leveling. **Journal of Construction Engineering and Management**, September 1991. 117 (3), p. 503-520.

SHANMUGANAYAGAM, V. Current Float Techniques for Resources Scheduling, **Journal Of Construction Engineering and Management**. v115, no 3, September 1989, ASCE.

SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero:** o sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SILVA, Sérgio Alfredo Rosa da. **Método de programação de empreendimento: avaliação e critérios para seleção.** 1993. 133p, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. **O Desenvolvimento de um método de nivelamento e alocação com números nebulosos para o setor da construção civil.** 1999. 276 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo,1999.

SIPPER,D.; BULFLIN, R. **Production: Planning, Control, and Integration.** Burr Ridge, il MacGraw-Hill, 1998, 531 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 1997.

SLOWIMSKI, R.;WAGLARZ, J. (Editors).Advances in Project Scheduling. Elsevier Science Publisher, Netherlands, 1989, 531 p.

SLOWINSKY, R.; HAPKE M. **Fuzzy Priority Heuristics for Project Scheduling.** Fuzzy Sets and Systems, 83 (3), 1996, pp 291-299.

TABLO, F. B.; PATTERSON, J. H., An Eddicient Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving Resource-Constrained Scheduling Problems. **Management Science**, Dec. 1976. 24, p. 412-422.

TCPO 11: **Tabelas de Composições de Preços para Orçamento**, São Paulo: PINI, 2003.

TRIETSCH, D. Why a critical path by any other name would smell less sweet?. **International Project Management Journal**, March 2005, p. 27-35.

UMBLE, M.; UMBLE, E. Manage your project for success: An Application of the Theory of Constraints. **Production and Inventory Management Journal**, Second Quarter, 2000. Vol. 41, no 2, p. 27-32.

WACKER, J.G. A Definition of Theory: research guidelines for different theory, building research methods in operations management. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, July 1998. V. 16, n. 4, p. 361-385.

WHITEHOUSE, G.E. A Comparison of Computer Search Heuristics to Analyze Activity/Network with Limited Resources. **Project Management Quarterly**, June 1983. p. 35-39.

WIEST, J.D. Some properties of schedules for large projects with limited resources. 1964. **Operations Research**, 12 (3), p. 395-418.

WIEST, J. D.,” A Heuristic Model for Scheduling Large Projects with Limited Resources,” **Management Science**, February 1967. Vol. 13, N° 6, p. B-359-378.

WIEST, J.D.; LEVY, F.K. **A Management Guide to PERT/CPM : with GERT / PDM / and other networks**. Prentice-Hall, USA 1977. p. 229.

WILKENS, T.T. Critical path, or chain or both? **Project Mangement Network**, 2000. 14 (7), p. 68-74.

WILLIS, R. J. **Critical path analysis and resource constrained project scheduling -- Theory and practice**. European Journal of Operational Research, N. 21, p 149-155, 1985.

YIN, R.K. **Case Study Research: design and methods**, 2nd. Ed. Thousand Oaks: Sage, 1994.

ZALMENSON, E. & ZINMAN, E. **People oriented project management**, Retrieved 23 September 2002, from [Http://users.actcom.co.il/cyberman/articles/People_Oriented_PM.doc](http://users.actcom.co.il/cyberman/articles/People_Oriented_PM.doc). 2002.

_____. **Theory of constraints analysis**, Retrieved 23 September 2002, from [Http://users.actcom.co.il/cyberman/articles/toc_eng.doc](http://users.actcom.co.il/cyberman/articles/toc_eng.doc). 2001.

APÊNDICE 1 – PROTOCOLO DE ESTUDO DE CASO (MAPEAMENTO DE ESCOPO E MODELAGEM DE REDE LÓGICA)

Introdução

Aqui serão discorridos os dados obtidos durante o acompanhamento dos 16 empreendimentos em relação a: identificação, definição, alteração de escopo; obtenção de rede lógica referencial; e indicadores de desempenho de prazo.

Processo de coleta de dados

Na primeira etapa foi avaliado o banco de dados de uma empresa que presta consultoria de planejamento e controle operacional para 30 construtoras no Brasil, nos estados da Bahia, Sergipe, Pernambuco, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná; em Angola, e no Chile.

Ao analisar o banco de dados foram selecionados 16 empreendimentos, conforme critérios descritos abaixo. Desses empreendimentos foram coletados o mapeamento dos escopos e os modelos de rede lógica aplicados em cada empreendimento, essa etapa durou 20 dias e foi realizada pela autora.

Na segunda etapa os dados descritos anteriormente foram analisados, extraiu-se um modelo de escopo e foi selecionado o seqüenciamento utilizado em cada empreendimento para compor a biblioteca de rede lógica, essa etapa durou 30 dias.

Na terceira e última etapa foram analisados o seqüenciamento e o *WBS* inicial e final, com esses dados foi elaborada a biblioteca de redes lógicas elementar, e descrito o modelo contendo o escopo detalhado de cada edificação. Essa etapa durou 90 dias e foi realizada pela autora.

A empresa de consultoria participou do processo de planejamento operacional elaborando e controlando os planos, quinzenalmente, de 86 empreendimentos, no período compreendido entre os anos de 2000 e 2006. Esses empreendimentos podem assim ser classificados (Quadro 16): Edifícios Residenciais de médio e alto padrão (47 unidades); Construção de Edifício tipo PAR (07 unidades); Montagem da Rede de gás (01 unidade); Construção de Empreendimentos Industriais (2 unidade); Construção de restaurantes (2 unidades); Construção de Piscicultura (1 unidade); Construção de clinica e de hospital (2 unidades); Construção de condomínio de casas (7unidades); Construção de casa de repouso (1 unidade); Construção de escolas (4 unidade); Construção de hipermercado (1 unidade); Construção de Armazém (1 unidade); Construção de Concessionária (1 unidade); Construção de Shopping Center (1 unidade); Construção e restauro de prédio público (4 unidade); Construção de hotel (1 unidade); Construção de centro comercial (1 unidade); Empreendimento ferroviários (1 unidade); e Empreendimento rodoviários (1 unidade).

Planejamento elaborado para execução e controle de:	Quantidade
Empreendimentos Rodoviários	1
Empreendimentos Ferroviários	1
Construção de Centro Comercial	1
Construção de Hotel	1
Construção e Restauo de Prédio Publico	4
Construção de Shopping Center	1
Construção de Concessionária	1
Construção de Armazém	1
Construção de Hipermercado	1
Construção de Escola	4
Construção de Casa de Repouso	1
Construção de Condomínio de casas	7
Construção de Clínica e Hospital	2
Construção de Piscicultura	1
Construção de Restaurantes	2
Construção de Empreendimentos Industriais	2
Montagem da Rede de Gás	1
Construção de Edifício Tipo PAR (Caixa Econômica Federal)	7
Construção de Edifícios Residenciais	47
Total	86

Quadro 16 Classificação dos empreendimentos

Dos 47 empreendimentos residenciais (Quadro 17), 40 estavam concluídos e 7 em andamento. Dos 40 empreendimentos concluídos 13, não possuíam *WBS* inicial, 10 não foram acompanhados até o término do empreendimento, restando 17 empreendimentos. Desses 17, tinha um como fechamento interno alvenaria de gesso acartonado (*Dry Wall*), restando 16 que possuíam: seqüenciamento, *WBS* inicial e final; e, possuíam o mesmo sistema construtivo .

No	Empreendimentos residenciais (47 empreendimentos)	Andamento (7)	Concluído (40)	Não acompanhado até o final (10)	Não possui indicadores (13)
1	Yacht Privilege Residence - Solaris Residencial		x		
2	Mansão Alberto Catharino		x		
3	Mansão Golden Graça		x	x	
4	Arquiteto Vilanova Artigas (PR)		x	x	
5	Residencial Vila Ápia		x	x	
6	Edifício Bel Air		x	x	
7	Mansão Margarida Costa Pinto		x	x	
8	Mansão Morada do Horto	x			
9	Mansão Plaza Athénée		x		
10	Mansão Pituba Imperial		x		
11	Palazzo Cidade e Palazzo Residencial		x		x
12	Mansão Jardim Imperial		x		x
13	Mansão Ville Imperial		x		
14	Solar da Graça		x		
15	Mansão Giovanni Bellini		x		
16	Mansão Henry Mancini		x		
17	Mansão Raffaello Sanzio		x		
18	Residencial Lyon		x		x
19	Mansão Toqueville		x	x	
20	Mansão Fernando Novis		x		x
21	Mansão Rio de São Pedro		x		x
22	Alberto de Sant'anna	x			
23	Maison Morro do Gato	x			
24	Mansão Clube de Bridge (BA)	x			
25	Mansão Paolo Pasolini		x	x	
26	Edif. Vittorio Rossi		x		
27	Giacomo Puccini (BA)	x			
28	Palazzo Rocca Imperiale		x	x	
29	Barra Sol Residence		x		x
30	Edif. Mar Mediterrâneo		x		x
31	Pituba Mar Residence		x		x
32	Condomínio Riviera		x		x
33	Edif. Torre Toscana		x		x
34	Condomínio Jardim Botânico		x		x
35	Sonata Alto de Pinheiros	x			
36	Cond. Bosque Atlântico		x	x	
37	Mansão Citta di Roma		x		
38	Condomínio Horto Atlântico		x	x	
39	Mansão Frederico Felinne		x		x
40	Residencial Estrela da Pituba		x		
41	Mansão Vila de São Vicente		x		
42	Residencial Jardim do Canela		x		
43	Mansão Horto Renaissance		x		x
44	Graça Boulevard		x		
45	Edif. Sidarta Canela		x		
46	Mansão Pituba Ville		x		
47	Boulevard Alto do Candeal	x			

Quadro 17 Relação dos empreendimentos residenciais

Descrição das empresas

Os 16 empreendimentos estudados pertenciam a oito empresas e se caracterizavam por serem: 10 de alto e 6 de médio padrão. No momento da coleta e análise dos dados todos já haviam sido concluídos, possuindo, assim, dados necessários para a análise que se propõe este trabalho.

As empresas referentes a esses empreendimentos serão identificadas pelas letras (A, B, C, D, E, F, G e H) e os empreendimentos pelos números (1, 2, 3, 4, 5). Assim os empreendimentos A1, A2 e A3 pertencem à empresa A; B1, B2, B3 e B4 pertencem à empresa B; C1 pertencem à empresa C; D1, D2 e D3 pertencem à empresa D; E1 e E2 pertencem à empresa E; F1 pertence à empresa F; G1 pertence à empresa G; e, H1 pertence à empresa H.

A empresa A executa empreendimentos de construção em geral, realiza os projetos, compra, vende e industrializa materiais de bens e imóveis, assim como a exploração dos negócios de incorporação imobiliária, administração de bens próprios e de terceiros e planejamento. É certificada em edificações

ISO 9001:2000, Qualiop Nível A, PBQP-H Nível A, Qualihab Nível A e em saneamento: Qualiop Nível D. Já entregou mais de 2.200 unidades nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, tinha sede em Salvador e filial em São Paulo e decretou falência em 2006.

A empresa B foi fundada em 1975, atuando no setor de construções civil e metálicas, teve sua atuação voltada para a implantação dos pólos petrolíferos, na região de produção do recôncavo baiano e posteriormente, para as indústrias do Centro Industrial de Aratu, culminando mais adiante com a implantação do COPEC - Complexo Petroquímico de Camaçari (BA). A partir de 1986, impulsionada por exigência natural de seu crescimento, direcionou sua atuação para a área de construção civil, em 2006 já possuía mais de 3500 unidades habitacionais entregues, como edificações públicas e particulares. Essa empresa possui certificação ISO 9000.

A empresa C surgiu no início, em 1974, dedicando-se exclusivamente à construção de prédios residenciais. Porém, a partir da década de 80, a atuação se expandiu também para as áreas de infraestrutura, restauro e obras públicas. Já entregou mais de 8.000 unidades até 2006 e também possui certificação ISO 9000, desde 2001.

A empresa D executa empreendimentos de construção em geral, planejamento e realização de incorporações e condomínios residenciais e comerciais; execução de projetos e obras de sistemas de irrigação; elaboração e execução de projetos urbanísticos e loteamentos. Já executaram cinco prédios residenciais de alto padrão, seis obras particulares; e, nove obras públicas que variam de sistemas de irrigação, estação telefônica, centro de convenções e parques. Em 2006 possuía uma obra em andamento e obteve certificação ISO 9000.

A empresa E foi fundada em abril de 1960, atua nas mais diversas áreas da construção civil e obras públicas. Com 46 anos de atuação no mercado, conquistou uma ampla carteira de clientes privados/públicos; nas áreas habitacional, comercial, industrial, saneamento, e outros.

A empresa F atua desde 1997 no mercado de obras residenciais em Salvador. Já construiu mais de 1.000.000 m² em obras, nos Estados da Bahia, Sergipe e Minas Gerais e mais de 30 obras residenciais de médio e de alto padrão até 2006, essa empresa possui certificação ISO 9000.

A empresa G, atua desde 2002 no mercado imobiliário, e em conjunto com outras empresas, já realizou quatro empreendimentos de alto luxo, totalizando 84 unidades entregues até 2006.

A empresa H foi criada em julho de 2004 por um grupo de investidores italianos, com objetivo de realizar experiências construtivas, a fim de desenvolver uma empresa capaz de executar os seus empreendimentos no litoral norte da Bahia. Atualmente, possui um empreendimento, concluído em 2006, e dois em andamento.

Descrição dos empreendimentos

Para cada empreendimento foi analisado o escopo e a modelagem da rede lógica adotada. Assim, puderam-se avaliar os critérios propostos no capítulo de revisão bibliográfica e identificando a modelagem lógica para diferentes tipos de empreendimento.

Todas as empresas (A, B, C, D, E, F, G e H) estão localizadas na cidade de Salvador, estado da Bahia. A empresa A e C possuem 3 empreendimentos; A empresa B possui 4 empreendimentos; a empresa E possui 2 empreendimentos; e as empresas D, F, G e H possuem 1 empreendimento cada. Analisados neste trabalho conforme Quadro 18 apresentado abaixo.

No	COD	OBRA	EMPRESA	LOCAL	PERÍODO DE CONTROLE	PADRÃO		
						ALTO	MÉDIO	BAIXO
1	A1	Obra 1	Empresa A	Salvador - BA	20/09/00 a 13/04/02	x		
2	A2	Obra 2	Empresa A	Salvador - BA	17/05/01 a 15/08/02	x		
3	A3	Obra 3	Empresa A	Salvador - BA	02/12/02 a 30/04/04	x		
4	B1	Obra 1	Empresa B	Salvador - BA	01/03/01 a 29/11/02	x		
5	B2	Obra 3	Empresa B	Salvador - BA	09/01/03 a 30/11/04		x	
6	B3	Obra 4	Empresa B	Salvador - BA	01/10/03 a 07/01/05		x	
7	B4	Obra 5	Empresa B	Salvador - BA	02/01/05 a 22/06/06		x	
8	C1	Obra 1	Empresa C	Salvador - BA	9/3/2001 a 8/9/2003		x	
9	D1	Obra 1	Empresa D	Salvador - BA	02/07/02 a 09/02/04	x		
10	D2	Obra 2	Empresa D	Salvador - BA	07/01/04 a 19/11/05	x		
11	D3	Obra 3	Empresa D	Salvador - BA	30/08/04 a 13/12/05	x		
12	E1	Obra 1	Empresa E	Salvador - BA	25/03/02 a 06/10/03		x	
13	E2	Obra 2	Empresa E	Salvador - BA	20/12/04 a 30/11/06	x		
14	F1	Obra 1	Empresa F	Salvador - BA	15/09/03 a 21/11/05	x		
15	G1	Obra 1	Empresa G	Salvador - BA	1/3/04 a 20/5/05	x		
16	H1	Obra 1	Empresa H	Salvador - BA	01/11/04 a 24/08/06		x	

Quadro 18 Empresa, empreendimento, localização e padrão de acabamento

Empreendimento A1 - situado na cidade de Salvador é um empreendimento residencial, com 18 pavimentos sendo: garagem I, garagem II, área de lazer, 13 pavimentos tipos e um dúplex, com 2 apartamentos por andar.

Empreendimento A2 - situado na cidade de Salvador é um empreendimento residencial, com 04 suítes, acabamento de alto luxo, 19 pavimentos (17 tipos e um dúplex), com 1 apartamento por andar.

Empreendimento A3 - situado na cidade de Salvador o empreendimento residencial, possui 2 garagens, área de lazer, mezanino, 18 pavimentos de tipos de 4/4 (3 suítes), 1 apartamento tipo cobertura, com um apartamento por andar.

Empreendimento B1 - situado na cidade de Salvador o apartamento possui 4 suítes, 2 varandas panorâmicas, sala com ventilação cruzada, 3 vagas de garagem, depósitos individuais e 191 m2 de área privativa. O edifício possui pé direito duplo na entrada, mezanino com sala de jogos e sala de ginástica, salão de festas com terraço, piscina e sauna, quadra de esportes.

Empreendimento B2 – situado na cidade de Salvador, esse empreendimento possui infra-estrutura de lazer e segurança. São apenas dois apartamentos por andar, com 131,31m² de área privativa e 03 opções de planta: 03 suítes com sala máster, 04 quartos com 02 suítes ou 03 suítes com gabinete.

Empreendimento B3 – situado na cidade de Salvador, o empreendimento possui 2 quartos, com opção para 3 quartos com sala *master*, 2 vagas de garagem, totalizando 83,81m² ou 81,52m² de área privativa.

Empreendimento B4 – situado na região de Salvador, o empreendimento possui apartamentos tipo: 2 quartos, 1 quarto, duas opções de *loft*. Área de lazer e relaxamento, com piscina.

Empreendimento C1 - está situado na região de Salvador, possui duas torres de 24 pavimentos tipos com 2 apartamentos por andar com 3 quartos, totalizando 110m² de área útil, mais dois pavimentos de garagem, *playground*, piscina, sauna.

Empreendimento D1 - situado na cidade de Salvador, os apartamentos se caracterizam por possuir 4 quartos 2 ou 3 suítes, *home theater* ou gabinete, 2 apartamentos por andar, totalizando 140 m², sala ampla com 2 ambientes e varanda, área de lazer, mezanino, salão de festas, piscina, sauna, sala de ginástica e infra-estrutura para internet.

Empreendimento D2 - situado na cidade de Salvador o empreendimento possui 40 apartamentos, 02 por andar, com 195 m² de área privativa e área total construída de 14.708m², em terreno de 11.020m².

Empreendimento D3 - situado na cidade de Salvador o empreendimento possui 4 quartos, 02 apartamentos por andar, sala ampla com 2 ambientes e varanda, área de lazer, mezanino, salão de festas, piscina, sauna, sala de ginástica e infra-estrutura para internet.

Empreendimento E1 - situado na cidade de Salvador, o empreendimento possui 20 pavimentos tipos com 2 apartamentos, por andar de 3 quartos sendo 01 suíte, um sanitário social, cozinha, área de serviço, quarto e WC de empregada e área privativa 112,0 m². Com 02 vagas de garagem cobertas, piscina, salão de festas, central de gás e churrasqueira.

Empreendimento E2 - situado na cidade de Salvador, em um condomínio fechado com praça interna arborizada, lagoa, ciclovias, quadra de tênis, 2 quadras poliesportivas, pista de *cooper*, o empreendimento possui 14 pavimentos tipo com 2 apartamentos por andar de 4 quartos, sendo 02 suíte, ou 3 quartos com *home theater* ou 3 quartos com gabinete, ou 3 quartos com estar íntimo; um sanitário social, cozinha, área de serviço, quarto e WC de empregada e área privativa 122,0 m². Com 02 vagas de garagem cobertas, piscina, salão de festas, central de gás e churrasqueira.

Empreendimento F1 – situado na cidade de Salvador os apartamentos podem ser de 1, 2 ou 3 suíte, sala de ginástica, piscina com vista para o mar, *business center* com 3 salas, espaço *gourmet*. Pode ser definido como um residencial com serviços de governança.

Empreendimento G1 - Situado na cidade de Salvador o edifício residencial composto por 20 apartamentos de 4, 3 e 2 suítes com área privativa variando de 211,19 m², 117,87 m² e 112,57 m². Possuindo também duas vagas de garagem, piscina, salão de festas, salão de jogos e SPA.

Empreendimento H1 - situado na cidade de Salvador o empreendimento possui, três quartos com um suíte, varanda, cozinha, área de serviço e sanitário de empregada, totalizando 75m²;

Descrição do processo de planejamento operacional

Como característica do processo de planejamento operacional dos 16 empreendimentos em questão pode-se destacar a formalização tanto das etapas de elaboração quanto nas de controle. O planejamento era dividido em: longo, médio e curto prazo, controlados e elaborados com a utilização de pacote computacional *MSproject*®²¹.

O planejamento operacional de longo prazo possuía um alto grau de detalhes, eram elaborados pela empresa de consultoria, com a participação do engenheiro da obra. As etapas para sua elaboração estão descritas a seguir:

- a) Identificação e definição do escopo - esta etapa contempla inicialmente o estudo do empreendimento, analisando-se as planilhas de preço, composições, especificações técnicas e, principalmente, os projetos. O empreendimento foi dividido em zonas e, a partir dessas zonas, identificaram-se os processos e sub-processos a serem executados. Como produto, obteve-se uma lista dos pacotes de trabalho a serem realizados ao longo do empreendimento (EAP) e o zoneamento da obra. A lista de atividade utilizou o critério de unidade fixa no *MSproject*, para preservar a referencia entre duração e o recursos. Para produzir esse zoneamento, dividiram-se os principais processos em fases construtivas. Essa etapa tinha a participação da empresa de consultoria e do engenheiro da obra;
- b) Cálculo dos quantitativos - para cada pacote de trabalho relacionado na EAP foram calculadas as durações e recursos. Para isso foi necessário levantar os quantitativos com base nos projetos, essa etapa era de responsabilidade do estagiário e engenheiro das obras;
- c) Cálculo das durações e recursos das atividades - com base nos quantitativos levantados anteriormente, tomando como referência os índices de produtividade de mão-de-obra listados nas composições utilizadas na elaboração do orçamento da obra

²¹ O *Microsoft Project* é um *software* da classe de gerenciadores de projeto

e a experiência das equipes envolvidas, caso as tarefas não possuíssem composição, foram estimados as durações e os recursos (mão-de-obra direta) necessários. Vale ressaltar que essas composições foram extraídas do orçamento da obra e algumas precisaram sofrer alterações. Por exemplo, o serviço “fôrma” foi subdividido em confecção de fôrma, colocação de fôrma e desforma. A planilha de duração e recurso era de responsabilidade da empresa de consultoria sendo que a análise dos índices de produtividade era feita pelo engenheiro da obra.

- d) Modelagem da rede lógica - para cada pacote de trabalho listado na EAP, foram definidas as tarefas predecessoras e sucessoras. Essas ligações podem ser de quatro tipos: II (início - início), TT (término - término), TI (término - início), IT (início - término). A empresa de consultoria definia a modelagem em conjunto com o engenheiro da obra utilizando o *software Excel*, sendo responsável por lançar no *MSproject®* as predecessoras e sucessoras das atividades.
- e) Análise das datas marcos e o caminho crítico - após lançar na planilha base os pacotes de trabalho, os quantitativos, as durações, os recursos, as predecessoras e sucessoras, analisaram-se as datas de realização das tarefas, a data final do projeto e o caminho crítico. Como o prazo final do empreendimento não pode ultrapassar o do contrato, pode haver a necessidade de aumentar as equipes dos pacotes de trabalho que fazem parte do caminho crítico e mudar o plano de ataque dessas tarefas. A seguir descreve-se um exemplo de planilha base (Figura 8).

Cod	Atividade	Quant	unid	Dur	Recurso	Predecessoras	Sucessoras
1	▢ EMPREENDIMENTO B1			3956,24 h			
2	INICIO DA ESTRUTURA			0 h			48+10 d,2842TI+300 h
3	▢ SERVIÇOS PRELIMINARES			537,2 h			
4	Terraplenagem SP	2200	M3	88 h	Empterra	28+10 d	58+51 d,9TI+2 d
5	Confecção de forma SP	850	M2	88,4 h	Car[S],Ser	48+51 d	238+8 h
6	▢ FUNDAÇÃO			2387,8 h			
7	▢ ESTACAS/TUBULÃO			2061 h			
8	▢ ZONA 1- ESTACAS (TORRE)			693 h			
9	Cravação Z01-EST	235	UNID	631 h	JSE	4TI+2 d	10TT+17,6 h,21TT+24 h
10	Arazamento Z01-EST	235	UNID	144,4 h	JSE	9TT+17,6 h	12TI+5 d,258+8 h

Figura 8 Planilha Base

APÊNDICE 2 – RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO (MAPEAMENTO DE ESCOPO E MODELAGEM DE REDE LÓGICA)

Introdução

Aqui serão discorridos os dados obtidos durante o acompanhamento dos 16 empreendimentos em relação a: identificação, definição, alteração de escopo; e, obtenção de rede lógica referencial. Esses dados serviram para formar o modelo de *WBS* e a biblioteca de redes lógicas a partir das aplicadas nos empreendimentos estudados.

Resultados dos 16 estudos de casos

Empreendimento A1

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pelo engenheiro residente no início dos serviços. Quando o empreendimento já estava finalizando a concretagem do 18º pavimento da estrutura foi contratada a empresa de consultoria para fazer o acompanhamento dos planos. Essa programação inicial (*baseline*) possuía 2002 atividades (Figura 9). Após 27 atualizações quinzenais já totalizavam 2512 atividades (Figura 10).

Figura 9 Definição de Escopo (programação da linha de base) – Nível 2

Figura 10 Definição de Escopo final – Nível 2

Empreendimento A2

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria e pelo engenheiro residente quando o empreendimento já havia finalizado a estrutura, e alguns serviços de acabamento já haviam sido executados, totalizando 30% de avanço físico na primeira atualização. Inicialmente, a programação de linha de base possui 3019 atividades, sendo elaborado quando os projetos e especificações já haviam sido entregues (Figura 12), e após 12 atualizações não sofreu alteração de escopo, nem reestruturação do trabalho (Figura 13).

Figura 12 Definição de Escopo (programação da linha de base) – Nível 2

Figura 13 Definição de Escopo final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Todos os serviços eram executados de baixo pra cima, na seqüência: descrita na Figura 14. Esse seqüenciamento foi lançado no *software* de gerenciamento de projetos fornecendo como caminho crítico os serviços da área de lazer e do mezanino foram executados somente depois da conclusão das fachadas.

Figura 14 Modelagem da rede lógica

Empreendimento A3

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria quando a empreendimento estava finalizando o serviço de estrutura (concretagem do 18º pavimento tipo). Inicialmente, o programação de linha de base, possuía 3060 atividades sendo elaborado nas mesmas condições que o do empreendimento anterior, quando os projetos e especificações já haviam sido entregues. Na primeira atualização 43% das tarefas (serviços preliminar, movimento de terra, fundação, estrutura e parte do acabamento), já haviam sido executadas (Figura 15). Verifica-se que após 18 atualizações (Figura 16) os planos não sofreram alteração de escopo nem de estruturação, mantendo o número de atividades definidas na programação de linha de base.

Figura 15 Definição de Escopo (programação da linha de base) – Nível 2

Figura 16 Definição de Escopo final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Dos serviços parte era executada de baixo pra cima, e outra parte de cima para baixo (serviços com asterisco), obedecendo ao seqüenciamento da Figura 17. Esse seqüenciamento foi lançado no *software* de gerenciamento de projetos fornecendo como caminho crítico os serviços de revestimento e cerâmica de parede dos 19 pavimentos, cobertura e todos os serviços que sucedem a esse na cobertura.

Inicialmente, a fachada era o caminho critico deste empreendimento mais seu plano de ataque foi alterado para que cada plano (frente, fundo, lateral direita e esquerda) fossem executadas em duas etapas, a primeira que iria do primeiro ao décimo pavimento e a segunda que iria do décimo pavimento até a cobertura.

Figura 17 Modelagem da rede lógica

Empreendimento B1

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. Inicialmente, foram planejados: serviços preliminares, fundação e estrutura, pois o empreendimento não possuía todos os projetos. Esses serviços estavam sendo acompanhados enquanto se concluía o planejamento geral, finalizado em 13/09/01. A programação linha de base possuía 372 atividades contemplando até a estrutura, e 2846 atividades com todos os serviços (Figura 18), após 48 atualizações totalizavam 2891 atividades (Figura 19), acréscimo de 1.6%.

Figura 18 Definição de Escopo (Programação da linha de base) – Nível 2

Figura 19 Definição de Escopo Final – Nível 2

Ao longo do controle algumas atividades foram desmembradas, pois seriam realizadas em momentos diferentes, como por exemplo: fundação periferia foi dividida em duas partes (parte 1 - frente e lateral e parte 2 – fundo), e a fachada antes classificadas em A, B, C, D, E, F, e G foram reclassificadas para fachadas 1,2; 11,12; 3,10; 20,13; 6,7; 5,8; 4,9; 19, 17, 15,14; 18, 16, conforme projeto de fachada.

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Todos os serviços dos pavimentos tipo eram executados de baixo pra cima na seqüência definida na Figura 20.

Figura 20 Rede Lógica – Pavimento Tipo

Empreendimento B2

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. Inicialmente, foi planejado os serviços preliminares, fundação e estrutura, pois o empreendimento não possuía ainda todos os projetos. Esses serviços estavam sendo acompanhados enquanto se concluíam o planejamento dos demais serviços. O plano de longo prazo possui 447 atividades contemplando até a estrutura, e 3537 atividades com todos os serviços (Figura 21) após 36 atualizações já totalizava 3688 atividades (Figura 22), aumento de 4% do número de atividades em 35 atualizações.

Ao longo do controle algumas atividades foram desmembradas, pois seriam realizadas em momentos diferentes, como por exemplo: a tarefa escavação do item serviços iniciais foi dividida em 14 trechos; a periferia foi dividida em periferia 1, 2, 3, 4 e rampa, nos níveis de garagem 1, garagem 2 e área de lazer. Na garagem 3 o item piso foi inserido o serviço de compactação e regularização. Na área de lazer, zona localizada a sauna, foi inserido o serviço peitoril; a fachada foi redividida, conforme projeto das fachadas, antes denominada de frente, fundo A, B, C, D, E, F, G, lateral direita e lateral esquerda, passou a ser: fachada 5, 6, 7, 8; fachada 9, 11; fachada 10; fachada 12, 13; fachada 14; fachada 17,18; fachada 15; fachada 03; fachada 16; fachada 1, 2, 19; fachada 4 (área da balança); no item instalações de incêndio foi excluído o serviço detectores de fumaça.

Figura 21 Definição de Escopo (Programação da linha de base) – Nível 2

Figura 22 Definição de Escopo final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Todos os serviços eram executados de baixo pra cima na sequência descrita na Figura 23.

dividido: em sala/quartos e em demais áreas; o item fachada a atividade emboço e reboco foi substituído por massa única e também foi inserida a atividade aplicação de silicone.

Figura 24 Definição de escopo – Nível 2 (Programação da linha de base)

Figura 25 Definição de Escopo – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Parte dos serviços era executada de baixo pra cima e outra parte de cima para baixo, serviços com asterisco e cor verde, definidos conforme a seqüência da Figura 26.

Inicialmente, foi previsto a execução do 1º pavimento e em seguida o 2º pavimento, mas essa seqüência foi alterada para entrega do apartamento modelo que se localizava no 2º pavimento.

Figura 26 Modelagem de rede lógica

Empreendimento B4

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. Inicialmente, a programação da linha de base possuía 4549 atividades com todos os serviços (Figura 27) após 29 atualizações já totalizava 4577 atividades (Figura 28), um aumento de menos de 1% do número de atividades.

Ao longo do controle somente a tarefa execução de tubulões, blocos e vigas baldrame, subitem do serviço de fundação profunda foi desmembradas em cinco etapas, pois seriam realizadas em momentos diferentes.

Figura 27 Definição de Escopo (Programação da linha de base) – Nível 2

Figura 28 Definição de Escopo Final – Nível 2

Também foram inseridas algumas atividades sem duração e recursos que faziam parte do plano de médio prazo, como compra e contratação. Essa forma de elaboração do plano de médio prazo faz parte do processo de evolução do planejamento operacional, permitindo, ao filtrar as atividades no plano de curto prazo, que já apareçam às atividades de suprimento e projeto de algumas tarefas que só serão executadas há alguns meses à frente.

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Parte dos serviços era executada de baixo pra cima e outra parte de cima para baixo. Na Figura 29 os serviços com a cor verde se referem aos executados de cima para baixo.

Figura 30 Definição de escopo (Programação da linha de base) – Nível 2

Figura 31 Definição do escopo final – Nível 2

Ao longo do controle o serviço de estrutura do Empreendimento C1, pavimentos da garagem 1 e área de lazer (Figura 32) foram divididos em área 100, 200, 300 e 400, pois seriam realizadas em momentos diferentes.

Figura 32 Reestruturação do trabalho Garagem 1 e Playground

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Os serviços necessários para a conclusão dos apartamentos foram executados de baixo pra cima e os referentes à conclusão do hall e escada foram executados de cima para baixo, definidos conforme a sequência da Figura 33.

Figura 33 Modelagem da rede lógica

Empreendimento D1

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. Inicialmente, foram planejados os serviços preliminares, fundação e estrutura, pois o empreendimento não possuía todos os projetos. Esses serviços estavam sendo acompanhados enquanto se concluíam o planejamento dos demais serviços. A programação da linha de base possuía 488 atividades contemplando até a estrutura, e 3146 atividades com todos os serviços (Figura 34) após 35 atualizações já totalizava 3192 atividades (Figura 35), um aumento de 2% no número de atividades.

Ao longo do controle algumas atividades foram inseridas, pois não estavam incluídas nos projetos iniciais como, por exemplo, estrutura, pilares, vigas e lajes da sala de ginástica e da sauna. A pintura látex da escada foi substituída por textura e o emassamento por selador; o item impermeabilização não havia sido previsto inicialmente foi inserido; o item contra-marco foi incluído ao pacote de trabalho ponto de parede, pois eram executados ao mesmo tempo.

A fachada, prevista inicialmente para ser executada em cinco etapas (frente, fundo, lateral esquerda, lateral direita e balanço), foi reestruturada para (frente A e B; fundo D, E, F, G, H; lateral direita C, lateral esquerda I e balanço), conforme projeto de fachadas.

No serviço esquadria, o item gradil foi dividido em duas etapas apartamentos e área de lazer, pois seriam executados em momentos diferentes.

No item instalações especiais, os subitens: PABX e telefone, antena e circuito interno de TV foram excluídos, enquanto que o elevador social e de serviço que antes seriam montados em conjuntos foram divididos para serem executados em momentos diferentes, pois o elevador de serviço seria utilizado para transporte de passageiros.

No item “Outros” foi inserido o subitem pavimentação externa em pedra portuguesa, não previsto inicialmente.

Figura 34 Definição de Escopo (Programação da linha de base) – Nível 2

Figura 35 Definição de Escopo Final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Os serviços eram executados de baixo pra cima na sequência descrita na Figura 36.

Figura 36 Modelagem de Rede Lógica

Empreendimento D2

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. Inicialmente, foi planejado os serviços preliminares, fundação e estrutura, pois o empreendimento não possuía todos os projetos. Esses serviços estavam sendo acompanhados enquanto se concluíam o planejamento dos demais serviços. A programação da linha de base possuía 488 atividades contemplando até a estrutura, e 3463 atividades com todos os serviços (Figura 37) após 39 atualizações já totalizava 3522 atividades (Figura 38), representando um aumento de 2% no número de atividades.

Ao longo do controle algumas atividades foram reestruturadas como a contenção de alvenaria de pedra da G2, foi dividida em: subestação e demais áreas, e nesse setor foi inserido o serviço revestimento e colocação de drenagem, que antes não existia.

No item acabamento foram excluídos todos os serviços do subsolo; no pavimento tipo foi inserido o serviço colocação de contra-marco antes pertencia ao pacote de trabalho ponto/contra-marco, pois seria executado por equipes diferentes; foi inserido o serviço massa única, antes estava definido gesso corrido; nas áreas de remoção das torres foram inseridas as tarefas, gesso corrido interno torre 01,

gesso corrido interno torre 02 e gesso corrido interno torre 03; no forro foi incluída a atividade chapisco em teto e substituído o gesso corrido por massa única; na área comum (*hall* e escada) foi substituído o gesso corrido por massa única.

O item alvenaria externa foi excluído, pois seria executada ao mesmo tempo em que a alvenaria interna.

O item fachada subitem balança foi redividido em torre 01 (carga), 02 (passageiro), 03(carga) inserindo as tarefas de alvenaria, aperto, lavagem, tela, reboco (antes só existia emboço) pastilha e rejunte, inicialmente era previsto nas áreas onde as balanças ficariam o serviço de pintura, com a alteração do local houve a necessidade de inserção destes serviços.

No item instalações especiais os subitens retirada da balança interna e externa foi substituído pela retirada da torre de carga 1 e 3, torre de passageiro 2.

Figura 37 Definição do Escopo (Programação da linha de base)– Nível 2

Figura 38 Definição do Escopo Final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Os serviços foram executados inicialmente de cima para baixo, após quatro atualizações a obra foi totalmente invertida e todos os serviços passaram a ser realizados de baixo pra cima na mesma sequência descrita na Figura 39.

Figura 39 Modelagem de Rede Lógica

Empreendimento D3

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. A programação da linha de base possuía 2094 atividades contemplando todos os serviços (Figura 40), após 27 atualizações já totalizava 2106 atividades (Figura 41), ou seja, 0,3% de aumento no número de atividades.

Ao longo do controle algumas atividades foram reestruturadas como: item estrutura subitem pilares, vigas e laje da periferia do *stand*, a tarefa contenção foi dividida em contenção Parte 1 e contenção Parte 2.

No item instalações, subitem instalações subterrânea foi inserida a tarefa garagem 2 fundo que antes não existia. O item revestimento externo, subitem fachada foi inseridos os serviços embrechamento (preenchimento dos vazios dos blocos externo) e colocação de tela, que antes não existiam.

Figura 40 Definição do escopo (Programação da linha de base) – Nível 2

Figura 41 Definição de escopo final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Todos os serviços do pavimento tipo eram executados de baixo pra cima, conforme a seqüência definida (Figura 42)

Figura 42 Definição de Rede lógica

Empreendimento E1

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria, pelo gerente de contrato e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. A programação da linha de base possuía 2898 atividades contemplando todos os serviços (Figura 43) após 41 atualizações já totalizava 4337 atividades (Figura 44) aumento de 49% no número de atividades.

Ao longo do controle o plano de ataque que antes possuía como frente de serviço o pavimento, devido a muitas alterações de projeto passou para apartamento. Algumas atividades foram inseridas como, por exemplo, no item estrutura foi inserido o subitem rampa da G_1 à rua, devido a uma diferença de nível

encontrada após a execução. O reservatório superior que, inicialmente, estava previsto para ser de fibra de vidro foi substituído por estrutura de concreto armado.

Nos apartamento algumas tarefas foram inseridas como: alvenaria de *shaft* e gesso projetado; outras foram redivididas como: emboço das paredes antes era somente um item passou a ser (suíte, sanitário social, sanitário empregada, cozinha e área de serviço), cerâmica das paredes antes só existia um item passou a ter (sanitário e cozinha); cerâmica do piso foi dividida em sala/*hall*, cozinha/área de serviço, quarto da empregada, suite/sanitário social, impermeabilização foi dividido em suite, sanitário social, sanitário da empregada e laje condensador; outra atividade foi remanejada como peitoril/chapim saiu do pavimento e foi inserida na fachada; e, outras excluídas como: massa única das paredes, chapa em granito e rodapé em granito.

O item forro as tarefas chapisco e massa única foram excluídas, sendo inseridas as tarefas tratamento, gesso projetado e sanca de gesso (inserida por problema executivo visando esconder a tubulação aparente).

Como a massa única foi substituída pelo gesso projetado, o item pintura também sofreu alteração de emassamento e 1ª demão para catamento e 1ª demão. A pintura esmalte sintético do rodapé foi substituída por encerramento dos rodapés.

No item acabamentos elétricos a tarefa cabeamento e fiação passaram a ser um único item (cabeamento/fiação). E no item colocação de acessórios a tarefa colocação de chuveiro foi incluída

O item fachada do prédio (torre) subitem frente foram excluídas as tarefas: reboco, montagem de balancin, emassamento/lixamento, 1ª demão de pintura acrílica, 2ª demão de pintura acrílica, retirada de balancin, pois essa fachada passou a ser toda de pastilha. Foram inseridas as tarefas: chapim/peitoril, alvenaria da varanda, emboço da varanda, pastilha da varanda, contra-piso varanda, cerâmica nas varandas, rodapé em granito, forro de gesso varanda (excluído esses itens do pavimento tipo, pois seriam executados pela a equipe de fachada),

No subitem fundo, lateral direita e esquerda da fachada foram excluídas as tarefas: reboco, colocação de caixa de ar, montagem de balancin, emassamento/lixamento, 1ª demão de pintura acrílica, 2ª demão de pintura acrílica, retirada de balancin. E foram inseridas as tarefas rejunte em ambas as fachadas, e colocação de peitoril e chapim, somente da lateral direita e esquerda.

O item fachada da periferia foi excluído o subitem lateral direita, pois como a alvenaria estava colada a um muro já existente não seria revestida externamente. Nos demais itens (frente, fundo e lateral esquerda) que inicialmente estava previsto pastilha e pintura foi realizada só a pintura, sendo excluída a pastilha.

O item telhado o subitem guarita foi excluído, pois devido a alterações de projeto não seria mais de madeira e telha e sim de concreto armado, impermeabilizado.

No item instalações, subitem instalações da infra-estrutura foi reestruturada em: parte 1 e parte 2, pois como o almoxarifado se localizava nesse pavimento não foi possível fazer toda a infra-estrutura de uma única vez. No item “Outros” foi inserido o subitem casa de gás com as atividades: estrutura, montagem da casa de gás e acessórios.

Figura 43 Definição do Escopo (Programação da linha de base) – Nível 2

Figura 44 Definição do Escopo Final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Todos os serviços do pavimento tipo eram executados de baixo pra cima, conforme a seqüência definida, e controlados por apartamentos e não por pavimento, conforme previsto inicialmente (Figura 45).

Figura 45 Modelagem de Rede Lógica

Empreendimento E2

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria, pelo gerente de contrato e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. A programação da linha de base possuía 2927 atividades contemplando todos os serviços (Figura 46) após 45 atualizações já totalizavam 5597 atividades (Figura 47), representando um aumento de 92% no número de atividades.

Ao longo do controle o plano de ataque que antes possuía como frente de serviço o pavimento, devido a muitas alterações de projeto passou para o apartamento. Algumas atividades foram inseridas como, por exemplo, no item serviços preliminares a tarefa retirada do *stand* de vendas;

O item fundação subitem estacas tipo hélice, trecho A, foi dividida a tarefa cravação de estaca em trecho 1 e trecho 2; o subitem blocos vigas e sapatas do *stand* de vendas foi dividido em trecho B1 e B2.

Os itens contenções, reservatório apoiado, cobertura, serralheria, impermeabilização e urbanização não existiam inicialmente e foram inseridos.

No item estrutura foi dividido o subitem área de lazer externa, interna e guarita, pois seriam executados em momentos diferentes;

No item revestimento interno os subitem cerâmica do pavimento e rejuntamento foi reestruturado por apartamento;

No item fachada subitem fachada de passageiros e materiais foram inseridas as tarefas alvenaria, ponto, contra-marco e revestimento interno;

No item pavimentação/rodapé/ soleira/peitoril, no subitem piso, rodapé, soleira e filete:

- Laje de impermeabilização da G2 – foi dividida em duas etapas;
- Piso de alta resistência – foi inserido;
- Cimentado, contra-piso para cerâmica, cerâmica de piso, rejuntamento, tabeira, rodapés, soleira e filete – foram divididos por apartamentos;

No item revestimento de teto, o subitem forro de gesso acartonado; no item esquadria/fechadura, o subitem porta de vidro e gradil; no item madeira, o subitem porta pronta; no item ferragem, o subitem fechadura; no item vidro, subitem vidros e portas; no item pintura, os subitens emassamento, lixamento, 1ª demão, 2ª demão encerramento de esquadria de madeira; no item equipamentos, o subitem fiação, disjuntores, interruptores e tomadas, louças, metais; no item serviços complementares, o subitem bancada em granito; no item limpeza, o subitem limpeza do pavimento, também foi dividido por apartamento;

Figura 46 Definição do Escopo (Programação da linha de base) – Nível 2

Figura 47 Definição do Escopo Final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Todos os serviços do pavimento tipo eram executados de baixo pra cima, conforme a sequência definida (Figura 48).

Figura 48 Modelagem de Rede Lógica

Ao longo das atualizações, o planejamento operacional sofreu algumas revisões, nas quais se pode destacar:

- Revisão 01 (atualização 22, dezembro 2005) – deu origem a curva previsto 2, todos os planos das fachadas foram alterados para serem executados ao mesmo tempo;
- Revisão 02 (atualização 34, junho 2006)-deu origem a curva previsto 3 - realizada na primeira quinzena de junho, após mudança de plano de ataque. Esta alteração foi necessária devido a existência de apartamentos modificados e interferências estendiam o prazo final do empreendimento. Foram alterados: o *WBS* de pavimento para apartamento, uma vez que a obra não consegue executar 100% do pavimento por causa das modificações existentes em alguns andares; o plano de ataque dos apartamentos teve sua sequência de execução alterada; a área de lazer foi desvinculada dos demais pavimentos.

Empreendimento F1

A programação inicial (linha de base) foi elaborada pela empresa de consultoria, pelo gerente de contrato e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. A programação da linha de base possuía 2219 atividades contemplando todos os serviços (Figura 49) após 36 atualizações já totalizava 2994 atividades (Figura 50), aumento de 35% no número de atividades.

Ao longo do controle algumas tarefas foram inseridas, outras excluídas e algumas reestruturadas como:

- tarefas incluídas: serviço preliminar - locação; instalações- cabeamento de elétrica, tubulação de gás, teste de gás, ramais de esgoto, tubulação contra incêndio, teste hidrostáticos, quadro e disjuntores, eletrocalhas, quadro de medidores da subestação; Revestimento - gesso projetado em parede, tratamento de concreto do elevador 01,02,03 e de serviço; pavimentação - contrapiso da cozinha e sanitários; revestimento externo – pontos, reaperto/fechamento dos furos; mestra/1ª chapada; emboço/2ª chapada/abertura de frisos, chapim/peitoril; limpeza final; Impermeabilização – impermeabilização de reservatórios, piscina da cobertura e cortinas;
- tarefas reestruturada: serviços preliminares- terraplenagem frente centro e laterais; Estrutura - cordoalhas do elevador (01,02 e 03); Instalações - instalação em parede (hidráulica e elétrica); alvenaria - levante de alvenaria (pavimento e *shaft*); revestimento - ponto de piso (área secas e varanda, cozinha e área de sanitário); revestimento externo - rejuntamento (pastilha e selagem das juntas); equipamentos especiais – elevador (01,02,03 e serviço); soleira do elevador (01,02,03 e serviço); esquadria de madeira - assentamento de porta (apartamentos, *hall* e depósito); rodapé (apartamentos, *hall* e depósito).

- Tarefas excluídas – revestimento - massa única escada,

Figura 49 Definição do Escopo (programação da linha de base) – Nível 2

Figura 50 Definição do Escopo final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Parte dos serviços era executada de baixo pra cima e outra parte de cima para baixo (serviços com asterisco) na seqüência descrita na Figura 51.

Empreendimento G1

O planejamento foi elaborado pela empresa de consultoria, pelo gerente de contrato e pelo engenheiro residente no início do empreendimento. A programação de linha de base possuía 2078 atividades contemplando todos os serviços (Figura 52) após 26 atualizações já totalizava 2073 atividades (Figura 53), uma redução 0,3% do número de atividades.

Ao longo do controle algumas tarefas foram inseridas e outras reestruturadas como:

- tarefas incluídas: esquadria – grelha metálica para calhas na garagem
- tarefas reestruturada: pavimentação a cerâmica da varanda foi substituída por porcelanato;

Figura 52 Definição do Escopo (programação da linha de base) – Nível 2

Figura 53 Definição do Escopo Final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Todos os serviços eram executados de baixo pra cima, na seqüência descrita na Figura 54.

Figura 54 Modelagem de Rede Lógica

Empreendimento H1

A definição do escopo foi realizada inicialmente pela empresa de consultoria e pela empresa construtora, totalizando 4474 atividades (Figura 55). Até a última atualização (41ª) ocorreu uma redução de 1472 atividades (33%), ou seja, o numero de atividades passou a ser 2999 (Figura 56).

Ao longo do controle houve algumas alterações como: no item fundação, aumentou a quantidade de blocos e vigas da 2ª e 3ª etapa (de 12 para 15 unidades); no item reservatório inferior, foi inserida a tarefa escavação e concreto magro e excluída a tarefa forma; no item estrutura, o subitem vigas e lajes foram inseridos a tarefa colocação de caixas plásticas na garagem 2, 3, 4, 5 e área de lazer, e, no pavimento tipo (do 1º ao 12º) foram acopladas a tarefa colocação de aço com instalações.

Inicialmente, os serviços foram divididos por varandas 1 a 6 e pavimentos, após as atualizações as varandas foram agrupadas passando a ter somente três itens: varandas (1, 2, 3, 5,6), varanda 4 e

pavimento, e os itens: esquadria metálica o subitem contra-marco, gradis e portão de alumínio; impermeabilização o subitem impermeabilização diversas; forro de gesso, o subitem varandas; revestimento em parede subitem chapisco, emboço, cerâmica/pastilha e rejunte; pavimentação o subitem retirada de mestra, regularização de base para piso, cerâmica, rejunte de piso; arremates, subitem rodapé em mármore branco, soleira, filete, peitoril, seguiram essa alteração.

No item forro de gesso, o subitem *split*, a tarefa execução da tubulação elétrica; no item fachada a pastilha e o rejuntamento da fachada da periferia; no item instalação o subitem disjuntor; no item pintura o subitem emassamento, e tratamento de teto foram excluídos.

A tarefa montagem do QL (quadro de luz) e ligação definitiva foram adicionadas ao item interruptor; as tarefas tomadas (módulo), catamento de teto e textura do teto foram adicionados.

O item esgoto foi excluído e seus subitens adicionados a tubulação hidráulica. No item equipamentos especiais foi incluída a tarefa retirada de balança. O serviço massa única foi substituído por gesso projetado e o rodapé de madeira do *hall* passou a ser de granito.

Figura 55 Definição de Escopo (programação da linha de base) – Nível 2

Figura 56 Definição de Escopo Final – Nível 2

A modelagem da rede foi estabelecida a partir da definição do escopo descrito. Todos os serviços eram executados de baixo pra cima, conforme a sequência da Figura 57.

Figura 57 Modelagem da Rede lógica

Análise crítica

A seguir será feita uma análise crítica quanto aos resultados obtidos. Essa análise auxiliará na montagem do modelo de *WBS* e elaboração da biblioteca de redes lógicas.

Quanto à definição e detalhamento do escopo, identificou-se, com base nos 16 estudos de caso, que a montagem do modelo deveria contemplar também as alterações, inserções e exclusões de escopo ocorridas ao longo do acompanhamento. Esses dados formaram o modelo de escopo a ser proposto.

Dos empreendimentos analisados 50% sofreram alterações de escopo, referentes à alteração de projeto e mudanças no plano de ataque definidas inicialmente. Os empreendimentos que tiveram seu

planejamento elaborado quando as incertezas, em relação a definições de projetos, eram reduzidas sofreram menos alterações de escopo.

Os serviços referentes à fachada, área comum, varandas, lazer e garagem sofreu mais alteração que os pavimentos tipo.

Rede lógica

O plano de ataque traçado inicialmente para: as áreas comuns, lazer e fachada sofreram alteração em 88% dos casos. Mas o seqüenciamento do pavimento tipo só foi modificado em 3 casos (D2, E1, H1) quando serviços eram substituídos, excluídos ou incluídos.

Os empreendimentos que tiveram um menor número de modificação de escopo sofreram menor alteração do seqüenciamento da rede lógica.

O modelo de rede lógica proposto nesta tese serve para auxiliar do seqüenciamento do pavimento tipo, pois as demais áreas sofrem maior influência da topografia de implantação e de decisões gerenciais.

Todos os itens definidos no planejamento inicial até o final servirão para compor o modelo de *WBS*, e todos os seqüenciamentos utilizados irão montar a biblioteca de redes lógicas cujo objetivo é auxiliar na elaboração de um planejamento operacional, para aplicação do método de nivelamento de recursos a partir dos princípios da TOC, objeto desta Tese.

Vale ressaltar que não é objetivo deste trabalho propor algo inédito quanto a esses itens e sim fazer como que o método de nivelamento proposto tenha uma aplicação completa quanto aos requisitos iniciais.

Vale destacar que o modelo de *WBS* auxilia na elaboração do plano inicial e poderá propiciar uma menor modificação de escopo ao longo do controle, pois fornece ao engenheiro de planejamento um roteiro a ser seguido.

APÊNDICE 3 - MODELO DE WBS PROPOSTO

Nesse apêndice está descrito um modelo de WBS proposto (Figura 58 e Figura 59) a ser utilizado como guia na elaboração de um planejamento operacional. Este modelo considerou todos os serviços dos 16 WBS propostos contempla também todos os serviços incluídos ao longo do controle.

Esse modelo atenderá um dos objetivos deste trabalho dando subsídios ao detalhamento de escopo na elaboração de programações operacionais. A autora acredita que esse é um requisito necessário para aplicação da completude do método.

WBS	ITEM	WBS	ITEM
1	ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO - EMPREENDIMENTO MODELO	1.1.10	REVESTIMENTO EM PISO
1.1	TORRE A	1.1.10.1	Mestra
1.1.1	MOVIMENTO DE TERRA	1.1.10.2	Contra-piso
1.1.1.1	Escavação	1.1.10.3	Cimentado
1.1.1.2	Terraplenagem	1.1.10.4	Piso de Alta resistência
1.1.1.3	Aterro	1.1.11	REVESTIMENTO DE TETO
1.1.2	DESMONTE DE ROCHA	1.1.11.1	Mestra
1.1.2.1	Desmonte de rocha explosivo	1.1.11.2	Chapisco
1.1.2.2	Desmonte de rocha pólvora	1.1.11.3	Massa única
1.1.2.3	Desmonte de rocha massa expansiva	1.1.11.4	Gesso projetado
1.1.3	SUPRESSÃO VEGETAL	1.1.12	DIVISÓRIAS
1.1.3.1	Supressão de arvoretos	1.1.12.1	Gesso Acartonado
1.1.4	LOCAÇÃO	1.1.12.2	Eucatex
1.1.4.1	Gabarito	1.1.13	REVESTIMENTO FINO EM PAREDE
1.1.5	FUNDAÇÃO	1.1.13.1	Cerâmica
1.1.5.1	Escavação Manual	1.1.13.2	Porcelanato
1.1.5.2	Escavação Mecânica	1.1.13.3	Mármore
1.1.5.3	Regularização	1.1.13.4	Granito
1.1.5.4	Concreto Magro	1.1.13.5	Lútilo
1.1.5.5	Forma	1.1.13.6	Rodameio
1.1.5.6	Armadura	1.1.13.7	Rodapete
1.1.5.7	Concreto estrutural	1.1.13.8	Rodapia
1.1.5.8	Relevo	1.1.13.9	Rejunte
1.1.5.9	Desforma	1.1.14	REVESTIMENTO FACHADA
1.1.6	CONTENÇÃO	1.1.14.1	Limpesa
1.1.6.1	Alvenaria de pedra	1.1.14.2	Chapisco
1.1.6.2	Cortina atirantada	1.1.14.3	Massa única
1.1.6.3	Cortina Verde	1.1.14.4	Cerâmica
1.1.7	ESTRUTURA	1.1.14.5	Porcelanato
1.1.7.1	Forma	1.1.14.6	Mármore
1.1.7.2	Escoramento	1.1.14.7	Granito
1.1.7.3	Armadura	1.1.14.8	Rejunte
1.1.7.4	Concreto		
1.1.7.5	Desforma	1.1.15	REVESTIMENTO FINO EM PISO
1.1.7.6	Reescoramento	1.1.15.1	Cerâmica
1.1.7.7	Limpesa da estrutura	1.1.15.2	Porcelanato
1.1.8	ALVENARIA	1.1.15.3	Mármore
1.1.8.1	Marcapão	1.1.15.4	Granito
1.1.8.2	Levante	1.1.15.5	Lútilo
1.1.8.3	Vergas-Contravergas	1.1.15.6	Rodape
1.1.8.4	Fixação	1.1.15.7	Tabeira
1.1.9	REVESTIMENTO DE PAREDES	1.1.15.8	Rejunte
1.1.9.1	Mestra	1.1.16	URBANIZAÇÃO
1.1.9.2	Fixação de caixas elétricas	1.1.16.1	Bloquete
1.1.9.3	Fixação de registros	1.1.16.2	Meio-fio
1.1.9.4	Eletrodutos	1.1.16.3	Passoio
1.1.9.5	Tubulação de ar condicionado	1.1.16.4	Granito jateado
1.1.9.6	Chapisco	1.1.16.5	Rodape
1.1.9.7	Arestamento de vidros	1.1.16.6	Pedra portuguesa
1.1.9.8	Massa única	1.1.16.7	Cerâmica São tomé
1.1.9.9	Emboço	1.1.16.8	Piso intertravado
1.1.9.10	Gesso projetado	1.1.16.9	Rejunte

Figura 58 Proposta de WBS Modelo

WBS	ITEM	WBS	ITEM
1.1.17	REVESTIMENTO FINO EM TETO	1.1.26	INSTALAÇÕES HIDRAULICA
1.1.17.1	Fôrro de gesso	1.1.26.1	Passagem na laje
1.1.17.2	Fôrro de madeira	1.1.26.2	Embutidos na laje
1.1.18	IMPERMEABILIZAÇÃO	1.1.26.3	Prumada
1.1.18.1	Limpeza superficial	1.1.26.4	Isométrico
1.1.18.2	Regularização	1.1.26.5	Louças e metais
1.1.18.3	Aplicação de manta	1.1.27	INSTALAÇÕES ESGOTO
1.1.18.4	Aplicação de tela	1.1.27.1	Passagem na laje
1.1.18.5	Proteção Mecânica	1.1.27.2	Prumada
1.1.18.6	Pintura	1.1.27.3	Isométrico
1.1.18.7	Com argamassa polimérica	1.1.27.4	Ralos e Grelhas
1.1.19	PORTAS INTERNA	1.1.28	DRENAGEM INTERNA
1.1.19.1	Contra-marco	1.1.28.1	Prumada
1.1.19.2	Marco	1.1.28.2	Isométrico
1.1.19.3	Porta	1.1.29	DRENAGEM EXTERNA
1.1.19.4	Fechadura	1.1.29.1	Canaleta em grama
1.1.19.5	Porta pronta	1.1.29.2	Escada Hidráulica
1.1.20	ESQUADRIA EXTERNA	1.1.29.3	Tubulação em concreto
1.1.20.1	Contra-marco	1.1.29.4	Caixa de Captação
1.1.20.2	Janelas	1.1.30	GÁS
1.1.20.3	Baculante	1.1.30.1	Prumada
1.1.20.4	Portas	1.1.30.2	Isométrico
1.1.20.5	Portões	1.1.30.3	Acessórios
1.1.21	VIDRO	1.1.31	TELEFONIA E TV A CABO
1.1.21.1	Vidro liso	1.1.31.1	Tubulação seca
1.1.21.2	Vidro fumê	1.1.31.2	Fiação
1.1.21.3	Vidro aramado	1.1.32	SPDA
1.1.21.4	Portas de vidro	1.1.32.1	Embutidos em laje
1.1.22	ACABAMENTOS	1.1.32.2	Aterramento
1.1.22.1	Bancada	1.1.32.3	Tubulação seca
1.1.22.2	Corrimão	1.1.32.4	Fiação
1.1.22.3	Soleira	1.1.33	SEGURANÇA
1.1.22.4	Filete de Box	1.1.33.1	Tubulação seca
1.1.22.5	Peitoris	1.1.33.2	Quadros
1.1.22.6	Chapim	1.1.33.3	Mangueiras
1.1.22.7	Balcões	1.1.33.4	Extintores
1.1.23	PINTURA INTERNA	1.1.34	AR CONDICIONADO
1.1.23.1	Emassamento	1.1.34.1	Tubulação
1.1.23.2	1a demão	1.1.34.2	Dreno
1.1.23.3	2a demão	1.1.35	COBERTURA
1.1.24	PINTURA EXTERNA	1.1.35.1	Estrutura metálica
1.1.24.1	Emassamento	1.1.35.2	Madeiramento
1.1.24.2	1a demão	1.1.35.3	Telhamento
1.1.24.3	2a demão	1.1.35.4	Rufos
1.1.24.4	Textura	1.1.35.5	Caixas
1.1.25	INSTALAÇÕES ELÉTRICA	1.1.36	PAISAGISMO
1.1.25.1	Eletroduto em laje	1.1.36.1	Grama
1.1.25.2	Eletrodutos em Alvenarias	1.1.36.2	Arvore
1.1.25.3	Fiação	1.1.36.3	Plantas especiais
1.1.25.4	Interruptores e tomadas		
1.1.25.5	Espelho		
1.1.25.6	Caixa/Quadros		

WBS	ITEM
1.1.37	EQUIPAMENTOS
1.1.37.1	PABX
1.1.37.2	Hidromassagem
1.1.37.3	Piscina
1.1.37.4	Sauna
1.1.37.5	Ginástica
1.1.37.6	Bomba
1.1.37.7	Air condicionado
1.1.37.8	Lareira
1.1.37.9	Churrasqueira
1.1.38	ACABAMENTO EM MADEIRA
1.1.38.1	Deck de madeira
1.1.38.2	Pergolado
1.1.38.3	Gradil
1.1.38.4	Escada
1.1.38.5	Guarda corpo
1.1.39	RESERVATÓRIO
1.1.39.1	Montagem do reservatório
1.1.40	PARQUE INFANTIL
1.1.40.1	Montagem
1.1.41	QUADRA
1.1.41.1	Alambrado
1.1.41.2	Gol
1.1.42	COMUNICAÇÃO VISUAL
1.1.42.1	Númeração
1.1.42.2	Identificação das áreas
1.1.43	LIMPEZA
1.1.43.1	Grossa
1.1.43.2	Fina

Figura 59 Proposta de WBS Modelo

APÊNDICE 4 – BIBLIOTECA DE REDES LÓGICAS ELEMENTARES

Aqui estão descritos os modelos de redes lógicas que compõem a biblioteca referencial obtidos a partir dos 16 estudos de caso descritos nos Apêndices 1 e 2 desta tese, conforme apresentado na Figura 60 à Figura 75 que utiliza a representação PDM (*Precedence Diagram Method*). Essa biblioteca será suportada pela proposição de um *WBS* referencial descrito no Apêndice 3.

Figura 60 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 1)

Figura 61 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 2)

Figura 62 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 3)

Figura 64 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 5)

Figura 65 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 6)

Figura 66 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 7)

Figura 67 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 8)

Figura 68 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 9)

Figura 69 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 10)

Figura 70 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 11)

Figura 71 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 12)

Figura 72 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 13)

Figura 73 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 14)

Figura 74 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 15)

Figura 75 Biblioteca Básica Referencial (Modelo 16)

APÊNDICE 5 – APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA TOC NA PROGRAMAÇÃO DE REDES LÓGICAS ELEMENTARES

Introdução

O objetivo desta etapa dos trabalhos é conduzir uma análise crítica da pertinência e aplicabilidade dos princípios e critérios de programação preconizados pela TOC (Teoria das restrições).

Esta análise adota a mesma metodologia empregada por McCahon (1993). Esta autora usa um conjunto básico de redes elementares com diversos tipos de carregamentos e observa o comportamento da programação pelo método CPM, em particular do caminho crítico, obtido para cada cenário testado, a metodologia aplicada por McCahon é amplamente utilizada nos estudos de regras heurísticas.

Neste trabalho o conjunto de redes lógicas é o mesmo de MacCahon (1993). São quatros tipos de topologia, com 4, 5, 6 e 8 arcos (atividades) para 4, 5 e 6 vértices (nós). Os testes consideraram até 03 tipos de carregamento de modo a se obter todas as alternativas possíveis de traçado topológico para a cadeia crítica nas redes testadas.

Para cada carregamento são expressos, de forma generalizada (Quadro 19): a atividade; o escopo a ser executado (medido em unidades de escopo – ue, que variou de 01 a 05); o índice de produtividade utilizado (medido em unidade de tempo do recurso utilizado por unidade de escopo, por exemplo, 5 ut de R01 por ue1); os recursos (que variaram de R01 a R04); a demanda de recursos (quantidade de recursos necessárias, medida em unidade de recurso); e a duração (medida em unidade de tempo – ut).

Atividade	Escopo	Índice	Recursos	Demanda de recursos	Duração
1	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut

Quadro 19 Estrutura do carregamento

A notação usada neste quadro é a seguinte:

- [R01]: Recurso no 1.
- [ue]: unidade de escopo a ser realizado para a execução da atividade.
- ÍNDICE: índice de produtividade paramétrico estabelecido para a execução de cada atividade.
- DEMANDA DO RECURSO: Montante de recurso demandado para a execução da atividade, medido em ur (unidade de recurso).
- DURAÇÃO: prazo previsto para execução de cada atividade em unidades de tempo [ut].

O Quadro 20 indica à estrutura de cada carregamento aplicado as redes elementares, contendo os serviços referentes de cada atividade e a quantidade de escopo, *versus* os testes aplicados.

	Atividade 1		Atividade 2		Atividade 3		Atividade 4		Atividade 5		Atividade 6		Atividade 7		Atividade 8	
	Serviço	Escopo	Serviço	Escopo	Serviço	Escopo	Serviço	Escopo	Serviço	Escopo	Serviço	Escopo	Serviço	Escopo	Serviço	Escopo
Teste 1 - Rede 1	ue1	4	ue2	2	ue1	2	ue2	2								
Teste 2 - Rede 2	ue1	4	ue2	2	ue1	2	ue2	4	ue1	2	ue2	2				
Teste 3 - Rede 3	ue1	2	ue2	4	ue1	2	ue2	4	ue1	2						
Teste 4 - Rede 3	ue3	4	ue3	6	ue2	1	ue4	8	ue5	2						
Teste 5 - Rede 4	ue1	2	ue2	4	ue1	2	ue2	4	ue2	2	ue1	2	ue1	2	ue2	2
Teste 6 - Rede 4	ue3	2	ue3	4	ue2	1	ue4	4	ue5	2	ue3	2	ue3	2	ue4	4
Teste 7 - Rede 4	ue3	8	ue3	1	ue2	1	ue4	4	ue5	2	ue3	6	ue3	2	ue4	1

Quadro 20 Planilha de Carregamento

O Quadro 21 indica o índice de produtividade utilizado por cada escopo que se mantém constante em todos os carregamentos.

Escopo	Índice	
E1	5	ut R01/ue1
E2	3	ut R01/ue2
E3	2	ut R 03/ue3
	2	ut R 01/ue3
E4	0.5	ut R 04/ue4
	0.5	ut R 01/ue4
E5	3	ut R 02/ue5
	6	ut R 01/ue5
E6	2	ut R01/ue6

Quadro 21 Índice de produtividade por tipo de escopo

Os recursos foram denominados de R01 a R04 e sua condição de disponibilização está descrita no Quadro 22.

COD	<u>Acesso</u>	<u>Mobilização</u>	<u>Uso</u> ²²	<u>Desmobilização</u>
R01	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R02	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R03	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R04	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo

Quadro 22 Disponibilização

Nesses testes foi avaliada a aplicação dos princípios: dimensionamento da duração, dimensionamento dos *buffers* de projeto e de alimentação e balanceamento de capacidade. Para o nivelamento foi montada o Quadro 23 onde: na primeira coluna (1) constam as atividades; na segunda coluna (2) as durações das atividades, medidas em unidades de tempo; na terceira coluna (3) a cadeia na qual a atividade está inserida; na quarta coluna (4) a folga total da atividade, medida em unidades de tempo;

²² Admite-se que cada recurso pode ser alocado em módulo de 0.5 unidades de recurso (ur), vale salientar que o único recurso que não necessita de módulos mínimos é o recurso financeiro, na Construção Civil os demais recursos necessitam dessa preocupação.

na quinta coluna (5) a folga livre, medida em unidades de tempo; na sexta coluna (6) a duração que possa vir a ser adicionada a atividade para o nivelamento, medida em unidades de tempo.

Conforme preconizado pela TOC, as cadeias não-críticas devem ser balanceadas, ou seja, suas durações devem ser relaxadas (aumentadas). Além disso, antes que cada cadeia não-crítica se conecte à cadeia crítica deve ser interposto um *buffer* de proteção.

São assumidas as seguintes premissas para aplicação deste princípio:

- Para dimensionamento do *buffer* de alimentação adotou-se o critério recomendado na TOC de 50% da duração da cadeia de atividades na qual ele será inserido;
- Para balanceamento das cadeias não-críticas usa-se o valor de FL (folga livre) do final da cadeia, remanescente após a inserção do *buffer*, como duração a ser adicionada a cadeia. A duração adicionada deve levar em consideração a cadeia na qual a atividade está inserida, por exemplo, caso existam duas atividades na cadeia, sem interrupção de nenhuma atividade, o valor da folga livre deve ser dividida de modo proporcional a duração de cada atividade desta cadeia. Mas caso a cadeia só possua uma atividade a duração adicional deve ser o valor da folga livre remanescente.
- Para o dimensionamento do *buffer* de projeto adotou-se o critério de 50% da duração da cadeia crítica.

Na sétima coluna (7) é indicada a duração máxima que esta atividade pode ter após o nivelamento, que é igual à duração adicionada mais a duração inicial da atividade, medida em unidades de tempo; a oitava coluna (8) representa o redimensionamento dos recursos adotando a duração calculada na coluna (7), medida em unidade de recurso. Como no, Quadro 22, foi definido que cada recurso pode ser alocado em módulo de 0.5 unidades de recursos, na nona coluna (9) consta o redimensionamento obedecendo a esse critério, também medido em unidade de recurso; na décima coluna (10) constam as durações de cada atividade recalculada, com base no dimensionamento dos recursos da coluna nove, medida em unidade de tempo; e finalmente na décima primeira coluna (11) constam as folgas totais que as atividades ainda possuem após o nivelamento, medida em unidade de tempo.

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		

Quadro 23 Etapas para o nivelamento

A seguir serão apresentados os resultados de cada teste e ao final uma tabulação do conjunto de testes, assim como uma análise crítica contendo comentário quanto à aplicabilidade de cada elemento ou critério de programação preconizado pela TOC.

Teste 01

A rede lógica elementar do primeiro teste é composta por 04 atividades, que ao serem interligadas só admite uma cadeia crítica formada pelas atividades 1-3 ou 2-4. Por isso, será feito um único teste com essa rede. Sua topologia está representada na Figura 76, onde se identifica a rede inicial e a posterior inserção do *buffer* de projeto (BP), conforme procedimento estabelecido pela Teoria das Restrições.

Figura 76 Rede lógica elementar com e sem *buffer* (Teste 01)

O Quadro 24 apresenta os dados para carregamento desta rede lógica, envolvendo a alocação de um único tipo de recurso (R01). A duração e a demanda de recursos, de cada atividade, foram calculadas com base na arbitragem na quantidade de escopo e em índices de produtividade.

Atividade	Escopo	Índice	Recursos	Demanda de recursos	Duração
1	4 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	10 ut
2	2 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	3 ut
3	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
4	2 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	3 ut

Quadro 24 Estrutura do carregamento - Teste 01

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de projeto – estimado em 50% da duração da cadeia crítica (1-3);
- *Buffer* de alimentação – não aplicável, pois a cadeia crítica não é alimentada pela cadeia não-crítica;
- Balanceamento da rede – a cadeia 2-4 teve sua duração aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0.5 unidade de recurso).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-3 (vermelho, duração total 15 ut) e a cadeia não-crítica pelas atividades 2 e 4 (azul, 3 ut cada), Figura 77. Com a inserção do *buffer* (50% da duração da cadeia crítica) a duração da rede lógica da configuração 01 passou a ser de 22.5 ut..

Figura 77 Gráfico de Gantt inicial sem e com *buffer* de projeto (Teste 01)

Outro princípio aqui adotado é o balanceamento de capacidade, após identificação do gargalo, formado pelo conjunto de atividades com maior duração, ou seja, atividades da cadeia crítica. Busca-se igualar a duração da cadeia não-crítica a da cadeia crítica mantendo os índices e as quantidades de escopo, e redimensionando a demanda dos recursos. Nem sempre é possível igualar as durações, pois existe uma quantidade mínima de recursos necessária para executar uma atividade. Ao realizar essa ação o *buffer* de projeto, definido inicialmente, será mantido e não mais redimensionado.

O Quadro 25 mostra as etapas necessárias para o nivelamento do teste 01. Como essa rede possui duas cadeias formadas pela atividade 1-3 (cadeia crítica) e 2-4 (cadeia não-crítica), com folga total de 9 ut. Essa folga foi adicionada proporcional a duração de cada atividade que nesse caso era igual a 3 ut. Sendo assim foi adicionado 4.5 ut na duração das atividades 2 e 4. A duração máxima obtida com esse cálculo foi 7.5ut e o recurso (R01) redimensionado para 0.8ur (unidade de recurso). Como os recursos só podem ser adicionados em módulo de 0.5ur, a coluna (9) apresenta esse redimensionamento. A coluna (10) verifica-se que ao arredondar o recurso para 1ur a duração das atividades 2-4 passaram a ser 6, com folga total de 3ut (coluna 11).

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
1	10	1-3	0	0	0	10	2				2				10	0
2	3	2-4	9	0	4.5	7.5	0.8				1				6	3
3	5	1-3	0	0	0	5	2				2				5	0
4	3	2-4	9	9	4.5	7.5	0.8				1				6	3

Quadro 25 Etapas para o nivelamento – Teste 01

Sendo assim o menor recurso possível para realizar as tarefas 2 e 4 é 01 R01 sem alterar a cadeia crítica, mantendo os índices de produtividade e as quantidades de escopo. A Figura 78 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento, onde se identifica nas barras azuis, a relaxação na duração das atividades não-críticas.

Figura 78 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Teste 01)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após o nivelamento (totalizando 46 e 45 ur, respectivamente) pode ser identificados no Quadro 26.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
R 01 Inicial	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
R 01 Nivelado	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2

Quadro 26 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para o Recurso 01- Teste 01

Teste 02

A rede lógica elementar do segundo teste é composta por 6 atividades, que ao serem interligadas só admitem uma cadeia crítica formada pelas atividades 1-4 ou 2-5 ou 3-6. Por isso, será feito um único teste com essa rede. Sua topologia está representada na Figura 79, onde se identifica a rede inicial e a posterior inserção do *buffer* de projeto (BP), conforme procedimento estabelecido pela Teoria das Restrições.

Figura 79 Rede lógica elementar com e sem *buffer* (Teste 02)

O Quadro 27 apresenta os dados para carregamento desta rede lógica, envolvendo a alocação de um único tipo de recurso (R01). A duração e a demanda de recursos, de cada atividade, foram calculadas com base na arbitragem da quantidade de escopo e em índices de produtividade.

Atividade	Escopo	Índice	Recursos	Demanda de recursos	Duração
1	4 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	10 ut
2	2 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	3 ut
3	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
4	4 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	6 ut
5	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
6	2 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	3 ut

Quadro 27 Estrutura do Carregamento – Teste 02

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de projeto – estimado em 50% da duração da cadeia crítica (1-4);
- *Buffer* de alimentação – não aplicável, pois a cadeia crítica não é alimentada pela cadeia não-crítica;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas 2 -5 e 3-6 tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0.5 unidade de recurso).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-4 (vermelho, duração total 16 ut) e as cadeias não-críticas pelas atividades 2 e 5 (azul, 3 e 5 ut) e 3 e 6 (azul, 5 e 3ut), Figura 80. Com a inserção do *buffer* (50% da duração da cadeia crítica) a duração da rede lógica da configuração 02 passou a ser de 24 ut.

Figura 80 Gráfico de Gantt inicial sem e com *buffer* de projeto (Teste 02)

O Quadro 28 mostra as etapas necessárias para o nivelamento do teste 02. Como essa rede possui três cadeias formadas pelas atividades 1-4 (cadeia crítica), 2-5 e 3-6 (cadeia não-crítica), com folga total de 8 ut. Essa folga foi adicionada proporcional a duração de cada atividade que nesse caso era: atividades 2 e 6 (3ut) e atividades 3 e 5(5ut). Sendo assim foi adicionado 3 ut na duração das atividades 2 e 6; e 5ut na duração das atividades 3 e 5. A duração máxima obtida com esse cálculo foi 6ut (atividades 2 e 6) e 10ut (atividades 3 e 5). O recurso (R01) foi redimensionado, a partir da duração máxima, para 1ur, mantendo-se igual na coluna (9), pois é múltiplo de 0.5 ur. Na coluna (10) verifica-se que a duração nivelada é igual à duração máxima e a folga total é zero para todas as atividades, mostrando que todas as cadeias se tornaram críticas (coluna 11), mantendo o *buffer* de projeto como proteção para esta situação.

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
1	10	1-4	0	0	0	10	2				2				10	0
2	3	2-5	8	0	3	6	1				1				6	0
3	5	3-6	8	0	5	10	1				1				10	0
4	6	1-4	0	0	0	6	2				2				6	0
5	5	2-5	8	8	5	10	1				1				10	0
6	3	3-6	8	8	3	6	1				1				6	0

Quadro 28 Etapas para o nivelamento- Teste 02

A Figura 81 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento, onde todas as atividades se tornaram críticas, barras vermelhas.

Figura 81 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Teste 02)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após o nivelamento pode ser identificado no Quadro 29.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
R 01 Inicial	6	6	6	6	6	6	6	6	6	2	2	2	2	2	2	2	2
R 01 Nivelado	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Quadro 29 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para o recurso R01- Teste 02

Teste 03

A rede lógica elementar do terceiro teste é composta por 5 atividades, que ao serem interligadas admitem duas cadeias críticas formadas pelas atividades 1-3-5 e 1-4 ou 2-5. Por isso, serão feitos dois testes com essa rede. Sua topologia está representada na Figura 82, onde se identifica a rede inicial e a posterior inserção do *buffer* de projeto (BP) e de alimentação (BA), conforme procedimento estabelecido pela Teoria das Restrições.

Figura 82 Rede lógica elementar com e sem buffer (Teste 03)

O Quadro 30 apresenta os dados para carregamento desta rede lógica, envolvendo a alocação de um único tipo de recurso (R01). A duração e a demanda de recursos, de cada atividade, foram calculadas com base na arbitragem da quantidade de escopo e em índices de produtividade.

Atividade	Escopo	Índice	Recursos	Demanda de recursos	Duração
1	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
2	4 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	6 ut
3	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
4	4 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	6 ut
5	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut

Quadro 30 Estrutura do carregamento - Teste 03

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de projeto – estimado em 50% da duração da cadeia crítica (1-3-5);
- *Buffer* de alimentação – estimado 50% da duração da cadeia não-crítica 2, a qual alimenta a cadeia crítica 1-3-5;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas 2 e 4 tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0.5 unidade de recurso).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-3-5 (vermelho, duração total 15 ut) e as cadeias não-críticas pelas atividades 2 (azul, 6 ut) e 4 (azul, 6ut), Figura 83. Com a inserção do *buffer* de projeto (50% da duração da cadeia crítica) e de alimentação (50% da cadeia não-crítica 2) a duração da rede lógica da configuração 03 passou a ser de 22.5 ut.

Figura 83 Gráfico de Gantt inicial sem e com buffer de projeto e de alimentação (Teste 03)

O Quadro 31 mostra as etapas necessárias para o nivelamento, do teste 03. Como essa rede possui três cadeias formadas pelas atividades 1-3-5 (cadeia crítica), 2 e 4 (cadeia não-crítica), com folga total e livre de 1ut e 4ut, respectivamente. A folga foi adicionada a duração das atividades que nesse caso era: atividades 2 e 4 (6ut). A duração máxima obtida com esse cálculo foi 7ut (atividade 2) e 10ut (atividade 4). O recurso (R01) foi redimensionado, a partir da duração máxima, para 1.7ur (atividade 2) e 1.2ur (atividade 4). Na coluna (9), verifica-se que o múltiplo de 0.5 ur maior que a unidade dimensionada na coluna (8), pois o valor menor levaria a extensão do prazo. Na coluna (10) verifica-se que a duração nivelada após o redimensionamento do recurso da coluna (9), mostrando que as atividades 2 e 4 ainda possuem folga e 1 e 2 ut, respectivamente (coluna 11).

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
1	5	1-3-5	0	0	0	5	2				2				5	0
2	6	2	1	1	1	7	1.7				2				6	1
3	5	1-3-5	0	0	0	5	2				2				5	0
4	6	4	4	4	4	10	1.2				1.5				8	2
5	5	1-3-5	0	0	0	5	2				2				5	0

Quadro 31 Etapas para o nivelamento – Teste 03

A Figura 84 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. A atividade não-crítica (2) não alterou sua duração, dada a modulação na alocação do recurso R01. Já para a atividade 4, a barra azul do gráfico de Gantt evidencia a relaxação na duração.

Figura 84 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Teste 03)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após o nivelamento pode ser identificados no Quadro 32.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R 01 Inicial	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	2	2	2	2
R 01 Nivelado	4	4	4	4	4	5.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2	2

Quadro 32 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para o recurso R01- Teste 03

Teste 04

A rede lógica elementar do quarto teste é a mesma do teste anterior, composta por 5 atividades, que ao serem interligadas admitem duas cadeias críticas formadas pelas atividades 1-3-5 e 1-4 ou 2-5. Por isso, esse teste visa à obtenção de uma cadeia diferente da anterior. Sua topologia está representada na Figura 85, onde se identifica a rede inicial e a posterior inserção do *buffer* de projeto (BP) e de alimentação (BA), conforme procedimento estabelecido pela Teoria das Restrições.

Figura 85 Rede lógica elementar com e sem buffer (Teste 04)

O Quadro 33 apresenta os dados para carregamento desta rede lógica, envolvendo a alocação de quatro tipos de recursos (R01, R02, R03 e R04). A duração e a demanda de recursos, de cada atividade, foram calculadas com base na arbitragem da quantidade de escopo e em índices de produtividade.

Atividade	Escopo	Índice	Recursos	Demanda de recursos	Duração
1	4 ue3	2 ut R 03/ue3	R 03	2	4 ut
		2 ut R 01/ue3	R 01	2	
2	6 ue3	2 ut R 03/ue3	R 03	2	6 ut
		2 ut R 01/ue3	R 01	2	
3	1 ue2	2 ut R 01/ue2	R 01	2	1 ut
		1 ut R 04/ue4	R 04	2	
4	8 ue4	1 ut R 01/ue4	R 01	2	2 ut
		3 ut R 02/ue5	R 02	2	
5	2 ue5	6 ut R 01/ue5	R 01	4	3 ut

Quadro 33 Estrutura do carregamento - Teste 04

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de projeto – estimado em 50% da duração da cadeia crítica (2-5);
- *Buffer* de alimentação – estimado 50% da duração da cadeia não-crítica 1-3, a qual alimenta a cadeia crítica 2-5;

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas 1-4 e 1-3 tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso).

A cadeia crítica era formada pelas atividades 2-5 (vermelho, duração total 9 ut) e as cadeias não-críticas pelas atividades 1, 3 e 4 (azul, 4, 1 e 2 ut), Figura 86. Com a inserção do *buffer* de projeto (50% da duração da cadeia crítica) e de alimentação (50% da cadeia não-crítica 1-3) a duração da rede lógica da configuração 03 passou a ser de 15ut e a cadeia crítica alterou para 1-3-5 após a inserção do *buffer* de alimentação, 2.5 ut.

Figura 86 Gráfico de Gantt inicial sem e com buffer de projeto e de alimentação (Teste 04)

O Quadro 34 mostra as etapas necessárias para o nivelamento, do teste 04. Após a inserção do *buffer* essa rede passou a possuir três cadeias formadas pelas atividades 1-3-5 (cadeia crítica), 2 e 4 (cadeia não-crítica), com folga total e livre de 1.5ut e 4.5ut, respectivamente. Essas folgas foram adicionadas a duração das atividades. A duração máxima obtida com esse cálculo foi 7.5 ut (atividade 2) e 6.5 ut (atividade 4). Os recursos (R01, R03 e R 04) foram redimensionados, a partir da duração máxima, para 1.6 R01 e 1.6 R3 (atividade 2) e 0.6 R01 e 0.6 R04 (atividade 4). Na coluna (9), verifica-se o múltiplo de 0.5 ur maior que a unidade dimensionada na coluna (8), pois o valor menor levaria a extensão do prazo. Na coluna (10) verifica-se a duração nivelada após o redimensionamento do recurso da coluna (9), mostrando que as atividades 2 e 4 ainda possuem folga e 1.5 e 2.5 ut, respectivamente (coluna 11).

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R03	R 04	R 01	R 02	R03	R 04		
1	4	1-3-5	0	0	0	4	2		2		2		2		4	0
2	6	2	1.5	1.5	1.5	7.5	1.6		1.6		2		2		6	1.5
3	1	1-3-5	0	0	0	1	2.0				2				1	0
4	2	4	4.5	4.5	4.5	6.5	0.6			0.6	1		1		4	2.5
5	3	1-3-5	0	0	0	3	4.0	2			4	2			3	0

Quadro 34 Etapas para o nivelamento – Teste 04

A Figura 87 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento, onde pode-se identificar na atividade 5 um deslocamento das barras vermelhas em relação a cinza (linha de base) ocasionadas pela inserção do *buffer* e não pelo nivelamento.

Figura 87 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Teste 04)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após o nivelamento pode ser identificado no Quadro 35.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R 01 Inicial	4	4	4	4	6	4		4	4	4	4
R 01 Nivelado	4	4	4	4	5	3	1	5	4	4	4
R 02 Inicial								2	2	2	2
R 02 Nivelado								2	2	2	2
R 03 Inicial	4	4	4	4	2	2					
R 03 Nivelado	4	4	4	4	2	2					
R 04 Inicial					2	2					
R 04 Nivelado					1	1	1	1			

Quadro 35 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos: R01, R02, R03 e R04- Teste 04

Teste 05

A rede lógica elementar do quinto teste é composta por 8 atividades, que ao serem interligadas admitem três cadeias críticas formadas pelas atividades 1-4-5-8, 1-4-7 ou 2-5-8 e 1-6 ou 2-7 ou 3-8. Por isso, serão feitos três testes com essa rede. Sua topologia está representada na Figura 88, onde se identifica a rede inicial e a posterior inserção do *buffer* de projeto (BP) e de alimentação (BA), conforme procedimento estabelecido pela Teoria das Restrições.

Figura 88 Rede lógica elementar com e sem *buffer* (Teste 05)

O Quadro 36 apresenta os dados para carregamento desta rede lógica, envolvendo a alocação de um único tipo de recurso (R01). A duração e a demanda de recursos, de cada atividade, foram calculadas com base na arbitragem da quantidade de escopo e em índices de produtividade.

Atividade	Escopo	Índice	Recursos	Demanda de recursos	Duração
1	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
2	4 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	6 ut
3	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
4	4 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	6 ut
5	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
6	2 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	3 ut
7	2 ue1	5 ut R01/ue1	R01	2	5 ut
8	2 ue2	3 ut R01/ue2	R01	2	3 ut

Quadro 36 Estrutura do carregamento - Teste 05

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de projeto – estimado em 50% da duração da cadeia crítica (1-4-5-8);
- *Buffer* de alimentação – estimado 50% da duração da cadeia não-crítica (2) e (3), a qual alimenta a cadeia crítica 1-4-5-8;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas 2 e 3 tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-4-5-8 (barras vermelhas, duração total 19 ut). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2 e 3 (azul, 6 e 5ut),Figura 89. Com a inserção do *buffer* de projeto (50% da duração da cadeia crítica) e de alimentação (50% da cadeia não-crítica 2 e 3) a duração da rede lógica da configuração 04 passou a ser de 28.5ut.

Figura 89 Gráfico de Gantt inicial sem e com *buffer* de projeto e de alimentação (Teste 05)

O Quadro 37 mostra as etapas necessárias para o nivelamento, do teste 05. Essa rede possui cinco cadeias formadas pelas atividades 1-4-5-8 (cadeia crítica), 2, 3, 6 e 7 (cadeia não-crítica), com folga total de 5ut, 11ut, 11ut e 3ut, e folga livre de 2ut, 8.5ut, 11ut e 3ut, respectivamente. A folga livre foi adicionada a duração das atividades. Sendo assim as durações máximas são: atividade 2 (8ut); atividade 3 (13.5 ut); atividade 6 (14ut) e atividade 7(8ut). O recurso R01 foi redimensionado, a partir da duração máxima, para 1.5 R01 (atividade 2); 0.6 R01 (atividade 3); 0.5 R01 (atividade 6); e 1.3 R01 (atividade 7). Na coluna (8), verifica-se o múltiplo de 0.5 ur maior que a unidade dimensionada na coluna (7), pois o valor menor levaria a extensão do prazo Na coluna (10) verifica-se que a duração nivelada após o redimensionamento do recurso da coluna (9), mostrando que as atividades 3,6 e 7

ainda possuem folga de 3.5, 2 e 1.3 ut, respectivamente. Já a atividade 2 consumiu toda sua folga passando a ser crítica (coluna 11).

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
1	5	1-4-5-8	0	0	0	5	2				2				5	0
2	6	2	5	2	2	8	1.5				1.5				8	0
3	5	3	11	8.5	8.5	13.5	0.7				1				10	3.5
4	6	1-4-5-8	0	0	0	6	2				2				6	0
5	5	1-4-5-8	0	0	0	5	2				2				5	0
6	3	6	11	11	11	14	0.4				0.5				12	2
7	5	7	3	3	3	8	1.3				1.5				6.7	1.3
8	3	1-4-5-8	0	0	0	3	2				2				3	0

Quadro 37 Etapas para o nivelamento – Teste 05

A Figura 90 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades (3), (6) e (7) ainda possuem folga, barras cor azul, já a atividade (2) passou a ser crítica.

Figura 90 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Teste 05)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após o nivelamento pode ser identificados no Quadro 38.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
R 01 Inicial	6	6	6	6	6	6	4	4	2	2	2	4	4	4	4	4	2	2	2
R 01 Nivelado	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	3.5	3.5	2.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	2.0

Quadro 38 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para o recurso R01- Teste 05

Teste 06

A rede lógica elementar do sexto teste é a mesma do teste anterior, composta por 8 atividades, que ao serem interligadas admitem três cadeias críticas formadas pelas atividades 1-4-5-8, 1-4-7 ou 2-5-8 e 1-6 ou 2-7 ou 3-8. Por isso, esse teste visa à obtenção de uma cadeia diferente da anterior. Sua topologia

está representada na Figura 91, onde se identifica a rede inicial e a posterior inserção do *buffers* de projeto (BP) e de alimentação (BA), conforme procedimento estabelecido pela Teoria das Restrições.

Figura 91 Rede lógica elementar com e sem buffer (Teste 06)

O Quadro 39 apresenta os dados para carregamento desta rede lógica, envolvendo a alocação de quatro tipos de recursos (R01, R02, R03 e R04). A duração e a demanda de recursos, de cada atividade, foram calculadas com base na arbitragem da quantidade de escopo e em índices de produtividade.

TESTE 06					
Atividade	Escopo	Índice	Recursos	Demanda de recursos	Duração
1	2 ue3	2 ut R 03/ue3	R 03	2	2 ut
		2 ut R 01/ue3	R 01	2	
		2 ut R 03/ue3	R 03	2	
2	4 ue3	2 ut R 01/ue3	R 01	2	4 ut
3	1 ue2	2 ut R 01/ue2	R 01	2	1 ut
4	4 ue4	1 ut R 04/ue4	R 04	2	1 ut
		1 ut R 01/ue4	R 01	2	
5	2 ue5	3 ut R 02/ue5	R 02	2	3 ut
		6 ut R 01/ue5	R 01	4	
		2 ut R 03/ue3	R 03	2	
6	2 ue3	2 ut R 01/ue3	R 01	2	2 ut
		2 ut R 03/ue3	R 03	2	
		2 ut R 03/ue3	R 03	2	
7	2 ue3	2 ut R 01/ue3	R 01	2	2 ut
		1 ut R 04/ue4	R 04	2	
8	4 ue4	1 ut R 01/ue4	R 01	2	1 ut

Quadro 39 Estrutura do carregamento - Teste 06

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de projeto – estimado em 50% da duração da cadeia crítica (2-5-8);
- *Buffer* de alimentação – estimado 50% da duração da cadeia não-crítica 1-4, a qual alimenta a cadeia crítica 2-5; e 50% da cadeia não-crítica 3, a qual alimenta a cadeia crítica 5-8 ;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas 1-4-6, 3 e 7 tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0.5 unidade de recurso).

A cadeia crítica era formada pelas atividades 2-5-8 (vermelho, duração total 8 ut) e as cadeias não-críticas pelas atividades 1, 4, 6 e 7 (azul, 2ut, 1ut, 1ut, 2ut e 2 ut, respectivamente, Figura 92. Com a inserção do *buffer* de projeto (50% da duração da cadeia crítica) e de alimentação (50% da cadeia não-crítica 1-4 e 3), a duração da rede lógica da configuração 04 passou a ser de 12.5ut e a cadeia crítica alterou para 1-4-5-8 após a inserção do *buffer* de alimentação.

Figura 92 Gráfico de Gantt inicial sem e com buffer de projeto (Teste 06)

O Quadro 40 mostra as etapas necessárias para o nivelamento, do teste 06. Essa rede possui cinco cadeias formadas pelas atividades 1-4-5-8 (cadeia crítica), 2, 3, 6 e 7 (cadeia não-crítica), com folga livre e total de 0.5ut, 6ut, 4ut e 2ut, respectivamente. Essa folga foi adicionada a duração das atividades. Sendo assim as durações máximas são: atividade 2 (4.5ut); atividade 3 (7 ut); atividade 6 (6ut) e atividade 7(4ut). Os recursos R01, R02, R03 e R 04 foram redimensionados, a partir da duração máxima (coluna 8). Na coluna (9), verifica-se o múltiplo de 0.5 ur maior que a unidade dimensionada na coluna (7), pois o valor menor levaria a extensão do prazo. Na coluna (10) identifica-se a duração nivelada após o redimensionamento do recurso da coluna (9), mostrando que as atividades 2, 3, 6 e 7 ainda possuem folga de 0.5, 3, 2.5 e 0.5 ut, respectivamente (coluna 11).

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R03	R 04	R 01	R 02	R03	R 04		
1	2	1-4-5-8	0	0	0	2	2		2		2		2		2	0
2	4	2	0.5	0.5	0.5	4.5	2		2		2		2		4	0.5
3	1	3	6	6	6	7	0.3				0.5				4	3
4	1	1-4-5-8	0	0	0	1	2			2	2		2		1	0
5	3	1-4-5-8	0	0	0	3	4	2			4	2			3	0
6	2	6	4	4	4	6	0.7		0.7		1		1		4	2.5
7	2	7	2	2	2	4	1		1		1		1		4	0.5
8	1	1-4-5-8	0	0	0	1	2			2	2			2	1	0

Quadro 40 Etapas para o nivelamento – Teste 06

A Figura 93 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento, onde as barras azuis das atividades 3, 6 e 7 apresentam um dilatamento em relação a linha de base (barra cinza).

Figura 93 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Teste 06)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após o nivelamento pode ser identificado no Quadro 41.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R 01 Inicial	6	4	6	4	6	6	4	4	2
R 01 Nivelado	4.5	4.5	5.5	3.5	6	6	5	5	2
R 02 Inicial					2	2	2	2	
R 02 Nivelado					2	2	2	2	
R 03 Inicial	4	4	4	4	2	2			
R 03 Nivelado	4	4	3	3	2	2	1	1	
R 04 Inicial			2					2	2
R 04 Nivelado			2					2	2

Quadro 41 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para o Recurso 01, 02, 03 e 04 - Teste 06

Teste 07

A rede lógica elementar do sétimo teste é a mesma dos dois testes anteriores, composta por 8 atividades, que ao serem interligadas admitem três cadeias críticas formadas pelas atividades 1-4-5-8, 1-4-7 ou 2-5-8 e 1-6 ou 2-7 ou 3-8. Por isso, esse teste visa à obtenção de uma cadeia diferente das apresentadas nos testes 05 e 06. Sua topologia está representada na Figura 94, onde se identifica a rede inicial e a posterior inserção do *buffer* de projeto (BP), conforme procedimento estabelecido pela Teoria das Restrições.

Figura 94 Rede lógica elementar com e sem buffer (Teste 07)

O Quadro 42 apresenta os dados para carregamento desta rede lógica, envolvendo a alocação de quatro tipos de recursos (R01, R02, R03 e R04). A duração e a demanda de recursos, de cada atividade, foram calculadas com base na arbitragem da quantidade de escopo e em índices de produtividade.

Atividade	Escopo	Índice	Recursos	Demanda de recursos	Duração
1	8 ue3	2 ut R 03/ue3	R 03	2	8 ut
		2 ut R 01/ue3	R 01	2	
		2 ut R 03/ue3	R 03	2	
2	1 ue3	2 ut R 01/ue3	R 01	2	1 ut
		2 ut R 01/ue2	R 01	2	
3	1 ue2	1 ut R 04/ue4	R 04	2	1 ut
		1 ut R 01/ue4	R 01	2	
4	4 ue4	3 ut R 02/ue5	R 02	2	1 ut
		6 ut R 01/ue5	R 01	4	
5	2 ue5	2 ut R 03/ue3	R 03	2	3 ut
		2 ut R 01/ue3	R 01	2	
6	6 ue3	2 ut R 03/ue3	R 03	2	6 ut
		2 ut R 01/ue3	R 01	2	
7	2 ue3	1 ut R 04/ue4	R 04	2	2 ut
		1 ut R 01/ue4	R 01	2	
8	4 ue4	1 ut R 01/ue4	R 01	2	1 ut

Quadro 42 Estrutura do carregamento - Teste 07

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de projeto – estimado em 50% da duração da cadeia crítica (1-6);
- *Buffer* de alimentação – não aplicável, pois a cadeia crítica não é alimentada pela cadeia não-crítica;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas formadas pelas atividades 2, 3, 4, 5, 7 e 8 tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-6 (vermelho, duração total 14 ut) e as cadeias não-críticas pelas atividades 2, 3, 4, 5, 7 e 8 (azul, 1ut, 1ut, 1 ut, 3ut, 2ut e 1ut), Figura 95. Com a inserção do *buffer* de projeto (50% da duração da cadeia crítica) a duração da rede lógica da configuração 04 passou a ser de 21ut.

Figura 95 Gráfico de Gantt inicial sem e com *buffer* de projeto (Teste 07)

O Quadro 43 mostra as etapas necessárias para o nivelamento, do teste 07. Essa rede possui cinco cadeias formadas pelas atividades 1-6 (cadeia crítica), 2, 3, 4, 5 e 7 (cadeia não-crítica), com folga livre de 8ut (atividade 2), 11ut (atividade 3), 3ut (atividade 7) e 1ut (atividade 8). Essa folga foi

adicionada a duração das atividades. Sendo assim as durações máximas são: atividade 2 (9ut); atividade 3 (12 ut); atividade 7 (5ut) e atividade 8(3ut). Os recursos R01, R02, R03 e R 04 foram redimensionados, a partir da duração máxima. Na coluna (9), verifica-se o múltiplo de 0.5 ur maior que a unidade dimensionada na coluna (8), pois o valor menor levaria a extensão do prazo. Na coluna (10) identifica-se a duração nivelada após o redimensionamento do recurso da coluna (9), mostrando que as atividades 2, 3 e 7 ainda possuem folga de 5ut, 8ut e 1ut, respectivamente (coluna 11).

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R03	R 04	R 01	R 02	R03	R 04		
1	8	1-6	0	0	0	8	2		2		2		2		8	0
2	1	2	9	8	8	9	0.2		0.2		0.5		0.5		4	5
3	1	3	12	11	11	12	0.2				0.5				4	8
4	1	4-5-8	1	0	0	1	2.0			2	2		2		1	0
5	3	4-5-8	1	0	0	3	4.0	2			4	2			3	0
6	6	1-6	0	0	0	6	2.0		2		2		2		6	0
7	2	7	3	3	3	5	0.8		0.8		1		1		4	1
8	1	4-5-8	1	1	1	2	1.0			1	1			1	2	0

Quadro 43 Etapas para o nivelamento – Teste 07

A Figura 96 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento, onde as barras azuis das atividades 2, 3 e 7 apresentam um dilatamento em relação ao *baseline* (barra cinza), assim como a barra vermelha da atividade 8 que passou a ser crítica após o nivelamento..

Figura 96 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Teste 07)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após o nivelamento pode ser identificados no Quadro 44.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R 01 Inicial	6	2	2	2	2	2	2	2	4	8	8	6	4	2
R 01 Nivelado	3	3	3	3	2	2	2	2	4	7	7	7	4	3.0
R 02 Inicial														
R 02 Nivelado										2	2	2		
R 03 Inicial	4	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	2	2	2
R 03 Nivelado	2.5	2.5	2.5	2.5	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2
R 04 Inicial									2				2	
R 04 Nivelado									2				1	1

Quadro 44 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos: R01, R02, R03 e R04 - Teste 07

Análise Crítica dos Resultados

Goldratt (1997) recomenda que as durações estimadas pelos planejadores sejam reduzidas em 50%, pois, segundo esse autor, existe uma superestimação devido às pressões para não cumprir o prazo final do projeto. Para garantir o prazo final deve ser inserido um *buffer* de projeto de 50% da duração do projeto. Os autores Raz e Marshall (1996); Pinto (1999); Globerson (2000); Treitsch, Herroelen e Leus (2000, 2001), Zalmenson e Zinman (2000, 2001), Herroelen, Leus e Demeulemeester (2002), Raz, Barnes e Dvir (2003), criticam essa postura, mas nenhum sugere outra forma de cálculo.

A primeira contribuição dessa tese é a proposição de que seja feito o cálculo da duração sem a necessidade de reduzir aleatoriamente em 50% a duração das atividades. Como foram calculadas as durações e recursos com base em índices paramétricos de produtividade, não existe a necessidade de reduzi-las, pois esses índices são balizados por históricos anteriores de desempenho.

Identificou-se também que o *buffer* de projeto é nada mais do que um contingenciamento de prazo e seu cálculo deve ser efetivado a após uma análise de risco mais aprimorada e não somente estimando 50% da duração do projeto.

O *buffer* de alimentação segue o mesmo raciocínio do *buffer* de projeto, só que com outro objetivo, proteger a cadeia crítica de atrasos que possam ocorrer na cadeia não-crítica. A sua inserção pode modificar o caminho crítico. Nos sete testes isso ocorreu somente no segundo carregamento da rede 3. Recomenda-se que o nivelamento seja feito levando em consideração a rede modificada após a inserção do *buffer* e não da rede original.

Algumas dificuldades surgiram quando as redes foram montadas, conforme considerações abaixo:

- Autores como Davis e Patterson (1975); Wiest e Levy (1977); Harris (1978) e Shanmuganayagam, (1989) utilizaram as redes para o nivelamento a partir da utilização de folgas, mas não redimensionam a alocação de recursos, isso impossibilitou utilizar o mesmo carregamento;
- Houve dificuldade em dimensionar o *buffer* de alimentação quando a cadeia é derivada a partir de uma cadeia crítica, por exemplo, atividade 4, do teste 4, que pertence a cadeia 1-4, mas somente a 4 é não-crítica, então o *buffer* de alimentação deve ser dimensionado somente levando em consideração a duração dessa atividade;
- Ainda sobre o *buffer* de alimentação, quando a cadeia não-crítica não está ligada a nenhuma atividade da cadeia crítica, ele não deve existir e a última atividade dessa cadeia deve ter como sucessora o *buffer* de projeto;
- Na construção civil vale salientar que o único recurso que não necessita de módulos mínimos é o recursos financeiro, os demais recursos necessitam da definição de módulos mínimos de alocação e contratação.

Nivelamento

Quanto ao nivelamento algumas considerações devem ser destacadas como:

- Dificuldade no carregamento - todos os outros autores que aplicaram as redes lógicas descritas aqui tinham a preocupação de avaliar duração, por isso reprogramam a atividade utilizando a folga total. Os trabalhos apresentados anteriormente não fazem menção a serviços, o método aqui proposto permite que a relaxação dos prazos passe a ser empregada para redimensionamento das equipes que não façam parte da cadeia crítica, isso exige a observação criteriosa da correlação entre a quantidade *versus* duração *versus* equipe *versus* índice;
- Os *buffers* de projeto e de alimentação não consomem recursos, então não devem ser considerados no nivelamento. Isso implica que ao nivelar uma cadeia não-crítica, o prazo permitido para seu dilatamento é até a data de início do *buffer* de projeto e/ou o de alimentação, mantendo estes sem alteração e não mais os redimensionando;
- Os *buffers* de alimentação podem introduzir dificuldades em qualquer processo de nivelamento de recursos que venha a ser adotado. Por significarem reservas de contingência de prazo, sem consumir recursos, podem implicar em período de ociosidades de recursos disponibilizados;
- Para a relaxação das cadeias não-críticas existe a necessidade de estabelecer limites na dilatação do prazo, fazendo com que ela não se torne crítica, pois caso isso ocorra o princípio da TOC que é a proteção da cadeia crítica passa a não prevalecer mais;
- Nem sempre a cadeia não-crítica terá sua duração relaxada de modo a igualar sua duração a da cadeia crítica, pois devido ao perfil de cada recurso, levando em consideração sua disponibilização tem-se uma quantidade mínima a ser utilizada, que no caso destes testes adotou-se um módulo mínimo de 0.5 ur (unidade de recursos);

Dos quatro testes que utilizaram *buffer* de alimentação, teste 3, 4, 5 e 6, metade apresentaram alteração da cadeia crítica inicial. Como os *buffers* protegem o prazo final (*buffer* de projeto) e atrasos na cadeia não-crítica que possam interferir na crítica (*buffer* de alimentação) seu dimensionamento deve ser feito com base no cálculo inicial e não mais redimensionado após a alteração da cadeia crítica.

Dos setes testes, dois (Teste 02 e 06) tiveram alteração da cadeia crítica após o nivelamento em relação à configuração com *buffer* (Quadro 45).

As malhas mais densas (redes lógicas das configurações 3 e 4) apresentaram maior dificuldade no nivelamento. Pois como as folgas são compartilhadas por várias atividades, adotou-se como referencial para arbitragem da duração adicional o valor da folga livre.

As malhas menos densas como é o caso das redes lógicas das configurações 1 e 2, cujas cadeias não-críticas são compostas por mais de uma atividade sequencial, para dilatamento das durações utilizou-se a folga total, dessas atividades, proporcional a duração de cada atividade.

Algumas atividades ainda possuem folga, mas não podem mais reduzir seus recursos, pois a demanda mínima já foi atingida (0.5 unidades de recursos). Outras atividades possuem folga, mas não é suficiente para reduzir um módulo de 0.5 de recursos.

Verifica-se no Quadro 45, que a quantidade total de recursos: diminuiu em 2 dos 7 casos, se igualou em 5 dos 7 casos, mas o pico de recursos necessário foi menor em todos os testes analisados.

	Teste 01	Teste 02	Teste 03	Teste 04	Teste 05	Teste 06	Teste 07
No de atividades	4	6	5	5	8	8	8
Recursos utilizados	R1	R1	R1	R1, R2, R3, R4	R01	R1, R2, R3, R4	R1, R2, R3, R4
Buffer de projeto (ut)	7.5	8	7.5	4.5	9.5	4	7
Buffer de alimentação - atividade e (ut)	Não	Não	(2) 3ut	(1-3) 2.5ut	(2) 3ut, (3) 2.4ut	(1-4) 1.5ut, (3) 0.5ut	Não
Cadeia crítica inicial	1-3	1-4	1-3-5	2-5	1-4-5-8	2-5-8	1-6
A cadeia crítica após buffer	1-3	1-4	1-3-5	1-3-5	1-4-5-8	1-4-5-8	1-6
A cadeia crítica após nivelamento	1-3	1-2-3-4-5-6	1-3-5	1-3-5	1-4-5-8	1-4-5-8	1-4-5-6-8
Total de recursos inicial	46	70	54	74	76	76	96
Total de recursos após o nivelamento	45	68	54	74	76	76	96
Pico de recursos inicial	4	6	6	10	6	12	14
Pico de recurso nivelado	3	4	5.5	8	4.5	11	12

Quadro 45 Resumo Geral dos resultados obtidos

APÊNDICE 6 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS REGRAS HEURISTICAS EM 20 REDES LÓGICAS

Introdução

O objetivo desta etapa dos trabalhos é validar e detalhar a proposição do método de nivelamento apresentada no capítulo 3, a partir da aplicação dos princípios e critérios de programação preconizados pela TOC testados no Apêndice 5.

A metodologia para o detalhamento e validação deste processo de nivelamento é a mesma empregada por Davis e Patterson (1975), Olaguíbel (1989), Morse *et al.* (1996) e Silva (1999) para situações análogas. Consiste no estabelecimento de um conjunto de redes lógicas referenciais, com carregamentos capazes de mostrar o comportamento dos métodos e regras em avaliação em situações-limite.

O trabalho original de Davis e Patterson (1975) permite uma comparação de eficiência de um conjunto de regras heurísticas *versus* soluções numéricas de otimização para a alocação de recursos. Isto permite avaliar o grau de eficiência deste conjunto de regras heurísticas e usá-las como referenciais para a avaliação do desempenho de outras regras.

Neste trabalho o conjunto de redes lógicas é o mesmo utilizado nos estudos de Davis e Patterson (1975); Wiest e Levy (1977); Harris (1990); Ahuja (1984); Shanmuganayagam, (1989). São vinte tipos de topologia, variando de 7 a 47 arcos (atividades) para 6 a 30 vértices (nós), conforme Quadro 46. Vale ressaltar que para não interromper o seqüenciamento das tarefas as atividades fictícias não foram numeradas, mas são consideradas no cálculo da densidade.

Portanto, a coluna (no de atividade do Quadro 46) diz respeito ao número de atividades que possuem recursos, sem considerar as fictícias; e a coluna arcos diz respeito a número de atividades considerando as fictícias.

Redes	No de atividades	Arcos	Nós	Densidade da rede	Recursos
1	7	7	6	1.17	R1 e R3
2	8	8	6	1.33	R1, R3, R4
3	9	9	8	1.13	R1, R3, R4
4	9	9	7	1.29	R1, R3, R4
5	9	10	8	1.25	R1, R3, R4
6	11	11	9	1.22	R1, R2, R3, R4
7	10	10	6	1.67	R1, R3, R4
8	11	11	10	1.10	R1, R2, R3, R4
9	16	18	13	1.38	R1, R2, R3, R4
10	11	11	9	1.22	R1, R2, R3, R4
11	14	14	9	1.56	R1, R2, R3, R4
12	12	12	10	1.20	R1, R2, R3, R4
13	18	18	12	1.50	R1, R2, R3, R4
14	19	21	15	1.40	R1, R2, R3, R4
15	22	25	18	1.39	R1, R2, R3, R4
16	19	19	16	1.19	R1, R2, R3, R4
17	31	31	24	1.29	R1, R2, R3, R4
18	21	21	16	1.31	R1, R2, R3, R4
19	39	39	30	1.30	R1, R2, R3, R4
20	47	49	30	1.63	R1, R2, R3, R4

Quadro 46 Dados das redes

Cada rede foi montada considerando sua topologia, para testar objetivos específicos, conforme Quadro 47. Um conjunto de redes foi selecionado de modo que não houvesse redes: repetidas, com mesma densidade e que tivesse pelo menos 01 rede com mais de 30 atividades. Além disso, também foi considerada a possibilidade de aplicar o objetivo, por exemplo, em uma rede onde a cadeia não-crítica não se interliga com a cadeia crítica não se pode testar o dimensionamento do *buffer* de alimentação.

Redes\ Objetivo do teste	No de atividades	(1) % da folga utilizado no relaxamento das durações das atividades							(2) Buffer de alimentação % em relação a duração					Melhor critério obtido no item 1 e 2	Nivelamento conforme MINLSK	Nivelamento conforme regra ACTIM
		Proporcional à duracao	Na atividade de menor duração	Na atividade de maior duração	Proporcional ao recurso	Na atividade de menor recurso	Na atividade de maior recurso	10%	20%	30%	40%	50%				
1	7															
2	8															
3	9															
4	9	x	x	x	x	x										
5	9	x	x	x	x	x										
6	11	x	x	x	x	x										
7	10															
8	11															
9	16	x	x	x	x	x										
10	11	x	x	x	x	x										
11	14															
12	12	x	x	x	x	x										
13	18															
14	19															
15	22	x	x	x	x	x										
16	19	x	x	x	x	x										
17	31	x	x	x	x	x										
18	21	x	x	x	x	x										
19	39															
20	46															
Total de testes		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	20
170																

O conjunto de testes (1) é aplicado nas redes 4, 5, 6, 9, 10, 12, 15, 16, 17 e 18, totalizando 60 testes, com o objetivo de testar o dimensionamento da relaxação (percentual da folga) que será adicionada a duração das atividades não-críticas para o relaxamento. Esse percentual terá como base a duração da atividade ou a quantidade de recurso. Ainda nesse conjunto de teste serão avaliados os resultados ao alocar as folgas somente nas atividades de menor duração, nas atividades de maior duração, nas atividades de menor recurso, nas atividades de maior recurso, proporcional a duração ou proporcional aos recursos, sempre verificando o impacto no histograma.

Com o melhor resultado dos testes do conjunto (1) serão realizados os testes do conjunto (2), aplicado nas redes 1, 2, 3, 7, 8, 11, 13, 14, 19 e 20, totalizando 50 testes, com o objetivo de avaliar impacto do tamanho do *buffer* de alimentação, variando 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica, no histograma e na alteração da cadeia crítica. Identificou-se nos testes elementares que esse *buffer* dificulta o nivelamento, não por consumirem recursos, mas sim pela sua duração e topologia de sua alocação. Se existirem atividades em paralelo ficará difícil realizar o nivelamento, apresentando nichos de aumento e redução de recursos. Além disso, a inserção do *buffer* modificou a cadeia crítica em algumas redes. Por isso será testado qual o tamanho que não impacta, na cadeia crítica, e apresenta o melhor nivelamento.

E finalmente, serão aplicados em todas as redes os melhores critérios obtidos a partir dos testes anteriores, tanto para dimensionamento do *buffer* de alimentação quanto para adicionar duração para o relaxamento da cadeia não-crítica, comparando os resultados com os obtidos, a partir das regras: MINSLK(programar primeiro a atividade de menor folga total) utilizada por Davis e Patterson (1975) que em 83 testes apresentou o melhor resultado; e a ACTIM,(se atende primeiro a atividade que consome mais tempo) proposta por Morse *et al.* (1996) que em 108 problemas apresentou o melhor resultado.

Os testes consideraram o mesmo tipo de carregamento, Quadro 48, inclusive escopo, ou seja, a Atividade 1 possui o mesmo serviço, recursos, índice e quantidade em todas as redes, variando somente sua topologia. Essa consideração é diferente dos testes realizados no Apêndice 5, em que procurou-se explorar a cadeia crítica de cada rede, testando os princípios da TOC.

Para cada carregamento são expressos, de forma generalizada (Quadro 49): a atividade; o escopo a ser executado (medido em unidades de escopo – ue, que variou de 01 a 06); o índice de produtividade utilizado (medido em unidade de tempo do recursos utilizado por unidade de escopo, por exemplo, 5 ut de R01 por ue1); os recursos (que variaram de R01 a R04); a demanda de recursos (quantidade de recursos necessárias); e a duração (medida em unidade de tempo – ut). Esse carregamento é fixo alterando somente a topologia da rede e o número de atividades.

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		

Quadro 49 Estrutura do carregamento

A notação usada no Quadro 49 é a seguinte:

- [R01]: Recurso no 1.
- [ue]: unidade de escopo a ser realizado para a execução da atividade.
- ÍNDICE: índice de produtividade paramétrico estabelecido para a execução de cada atividade.
- DEMANDA DO RECURSO: Montante de recurso demandado para a execução da atividade, medido em ur (unidade de recurso).
- DURAÇÃO: prazo previsto para execução de cada atividade em unidades de tempo [ut].

O Quadro 50 indica o índice de produtividade utilizado por cada escopo que se mantém constante em todos os carregamentos.

Escopo	Índice	
E1	5	ut R01/ue1
E2	3	ut R01/ue2
E3	2	ut R 03/ue3
	2	ut R 01/ue3
E4	0.5	ut R 04/ue4
	0.5	ut R 01/ue4
E5	3	ut R 02/ue5
	6	ut R 01/ue5
E6	2	ut R01/ue6

Quadro 50 Índice de produtividade por tipo de escopo

Os recursos foram denominados de R01 a R 04 e sua condição de disponibilização está descrita no Quadro 51.

COD	Acesso	Mobilização	Uso ²³	Desmobilização
R01	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R02	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R03	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R04	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo

Quadro 51 Disponibilização

Para o nivelamento foi montado o Quadro 52 onde: na coluna inicial (0) consta o total de recursos; a primeira coluna (1) consta as atividades; a segunda coluna (2) as durações das atividades, medida em unidade de tempo; a terceira coluna (3) a cadeia na qual a atividade está inserida; a quarta coluna (4) a

²³ Admite-se que cada recurso pode ser alocado em módulo de 0.5 unidades de recurso (ur), vale salientar que o único recurso que não necessita de módulos mínimos é o recurso financeiro, na Construção Civil os demais recursos necessitam dessa preocupação.

folga total da atividade, medida em unidade de tempo; a quinta coluna (5) a folga livre, medida em unidade de tempo; a sexta coluna (6) a duração que possa ser adicionada a atividade para o nivelamento, medida em unidade de tempo.

Na sétima coluna (7) a duração máxima que esta atividade pode ter após o nivelamento que é igual à duração adicionada mais a duração inicial da atividade, medida em unidade de tempo; a oitava coluna (8) representa o redimensionamento dos recursos adotando a duração calculada na coluna (7), medida em unidade de recurso. Como no, Quadro 22, foi definido que cada recurso pode ser alocado em módulo de 0.5 unidades de recursos, na nona coluna (9) consta o redimensionamento obedecendo a esse critério, também medido em unidade de recurso; na décima coluna (10) constam as durações de cada atividade recalculada, com base no dimensionamento dos recursos da coluna nove, medida em unidade de tempo; e finalmente na décima primeira coluna (11) constam as folgas totais que as atividades ainda possuem após o nivelamento, medida em unidade de tempo.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		

Quadro 52 Etapas para o nivelamento

Finalmente serão apresentados os resultados de cada teste e ao final uma tabulação do conjunto de testes, assim como uma análise crítica contendo comentários quanto às dificuldades e facilidades encontradas. Também serão apresentadas as conclusões obtidas e as regra que serão utilizadas em uma rede de grande porte contendo serviços da Construção Civil.

Conjunto de Testes 01

Para análise do conjunto de testes realizados nas redes 04, 05, 06, 09, 10, 12, 15, 16, 17 e 18 serão apresentados: a topologia da rede; o gráfico de Gantt inicial e o resultante após cada teste; as etapas para o nivelamento; e, finalmente, o histograma inicial e o resultante após o relaxamento da duração das atividades que possuem folgas.

A folga será desdobrada (por rateio) nessas atividades: proporcional a duração, proporcional ao recurso, locada na atividade da cadeia não-crítica de maior duração, locada na atividade da cadeia não-crítica de menor duração, locada na atividade da cadeia não-crítica de maior recurso, locada na atividade da cadeia não-crítica de menor recurso.

A análise dos resultados desse conjunto de testes é essencial para a realização dos testes do próximo conjunto (2), onde se pretende avaliar a inserção dos *buffers* de 10% a 50% na programação inicial, verificando os resultados no histograma de recursos.

Rede 04 (testes de 1 a 6)

A rede 04 é formada por 9 atividades com densidade 1,29 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 97.

Figura 97 Rede Lógica (Testes 1 a 6)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (2-6, 3-5-8 e 9, barras na cor azul), tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica (1-4-7, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso), Figura 98.

Figura 98 Gráfico de Gantt inicial (Rede 04: Testes 1 a 6)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 04, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 53); locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 54); locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 55); proporcional a quantidade de recurso (Quadro 56); locada na atividade da cadeia com a maior total de recurso (Quadro 57); locada na atividade da cadeia com menor total de recurso (Quadro 58).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7	0	0	0	5	2.0				2				5.00	0
2	2	1	2-6	6	0	2	3	0.7				1				2.00	3
4	3	2	3-5-8	4	0	2	4	1.1	1.1			1.5		1.5		2.67	2.3
4	4	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2.00	0
4	5	2	3-5-8	4	0	2	3.6	1.1	1.1			1.5		1.5		2.67	2.3
4	6	2	2-6	6	6	4	6	0.7	0.7			1		1		4.00	3
4	7	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2.00	0
4	8	1	3-5-8	4	4	1	1.8	1.1			1.1	1.5			1.5	1.33	2.3
4	9	1	9	6	2	2	3	0.7			0.7	1			1	2.00	3.7

Quadro 53 Etapas para o nivelamento – Teste 1 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	6	0	0	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-5-8	4	0	2.0	4	1.0	1.0			1		1		4	0
4	4	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	5	2	3-5-8	4	0	2.0	4.0	1.0	1.0			1		1		4	0
4	6	2	2-6	6	6	6	8	0.5	0.5			0.5		0.5		8	0
4	7	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	8	1	3-5-8	4	4	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	0
4	9	1	9	6	2	2	3	0.7			0.7	1			1	2	5

Quadro 54 Etapas para o nivelamento – Teste 2 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	6	0	6	7	0.3				0.5				4	0
4	3	2	3-5-8	4	0	0.0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	4	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	5	2	3-5-8	4	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	1
4	6	2	2-6	6	6	0	2	2.0	2.0			2		2		2	3
4	7	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	8	1	3-5-8	4	4	4.0	5.0	0.4			0.4	0.5			0.5	4	0
4	9	1	9	6	2	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 55 Etapas para o nivelamento – Teste 3 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	6	0	2	3	0.7				1				2	3
4	3	2	3-5-8	4	0	1.3	3	1.2	1.2			1.5		1.5		3	1.7
4	4	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	5	2	3-5-8	4	0	1.3	3.3	1.2	1.2			1.5		1.5		2.7	1.7
4	6	2	2-6	6	6	4	6	0.7	0.7			1		1		4	3
4	7	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	8	1	3-5-8	4	4	1.3	2.3	0.9			0.9	1			1	2	1.7
4	9	1	9	6	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	4

Quadro 56 Etapas para o nivelamento – Teste 4 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	6	0	0	1	2.0				2				1	3
4	3	2	3-5-8	4	0	1.3	3	1.2		1.2		1.5		1.5		3	1.7
4	4	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	5	2	3-5-8	4	0	1.3	3.3	1.2	1.2			1.5		1.5		2.7	1.7
4	6	2	2-6	6	2	2	4	1.00	1.00			1		1		4	3
4	7	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	8	1	3-5-8	4	4	1.3	2.3	0.9			0.9	1			1	2	1.7
4	9	1	9	6	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	4

Quadro 57 Etapas para o nivelamento – Teste 5 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	6	0	6	7	0.3				0.5				4	2
4	3	2	3-5-8	4	0	1.3	3	1.2	1.2			1.5	1.5			3	1.7
4	4	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2				2	0
4	5	2	3-5-8	4	0	1.3	3.3	1.2	1.2			1.5	1.5			2.7	1.7
4	6	2	2-6	6	6	0	2	2.0	2.0			2	2			2	3
4	7	2	1-4-7	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	0
4	8	1	3-5-8	4	4	1.3	2.3	0.9				0.9	1		1	2	1.7
4	9	1	9	6	0	0	1	2.0				2.0	2		2	1	2

Quadro 58 Etapas para o nivelamento – Teste 6 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 99 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas, após essa ação, se tornaram críticas.

Figura 99 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 04: Testes 1 a 6)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 59. O recurso R01 apresenta-se nivelado em todos os casos, mas no teste 2 apresenta oscilações para sua demanda estimada.

O recurso R03 também se apresentou nivelado em todos os casos, e apesar de apresentar um pico maior que o inicial: testes 1 (4.5 ur), 3 (4ur) , 4 (4.5ur), 5 (4.5ur) e 6 (5.5ur) não apresenta períodos sem demanda de recursos, como na 5ª ut da programação inicial. O recurso R04 apresentou melhor resultado no teste 3 e 6, pois nesses testes não existe período sem demanda de recursos.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Inicial R 01		6	8	6	4	4	2	2	2	2	36
Nivelado R 01	Prop dur	4,5	4,5	5,5	5,5	4,5	4,5	3,5	2	2	36,5
	Ativ. > dur	5	4,5	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,5	36
	Ativ. < dur	4,5	4,5	4,5	4,5	6	4,5	2,5	2,5	2,5	36
	Prop rec	4,5	4,5	6,5	4,5	4,5	4,5	3	3	2	37
	Ativ. > rec	4,5	4,5	6,5	4,5	4,5	4,5	3	3	2	37
	Ativ. < rec	4	4	4	4	7,5	5,5	3	3	2	37
Inicial R 03		2	4	4	2		2	2	2	2	20
Nivelado 03	Prop dur	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4,5	2	2	2	21
	Ativ. > dur	1	1,5	1,5	1,5	1,5	3,5	3,5	3,5	2,5	20
	Ativ. < dur	2	2	2	2	2	4	2	2	2	20
	Prop rec	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4,5	2	2	2	21
	Ativ. > rec	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4,5	2	2	2	21
	Ativ. < rec	1,5	1,5	1,5	1,5	3,5	5,5	2	2	2	21
Inicial R 04			2			2					4
Nivelado R 04	Prop dur		1	1		1,5	1,5				5
	Ativ. > dur		1	1						2	4
	Ativ. < dur					2	0,5	0,5	0,5	0,5	4
	Prop rec			2			1	1	1		5
	Ativ. > rec			2			1	1	1		5
	Ativ. < rec					2	1	1	1		5

Quadro 59 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Rede 05 (testes de 7 a 12)

A rede 05 é formada por 9 atividades com densidade 1,25 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 100.

Figura 100 Rede Lógica (Testes 7 a 12)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (2-6, 5 e 7, barras na cor azul), tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica (1-3-4-8-9, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso),Figura 101.

Figura 101 Gráfico de Gantt inicial (Rede 05: Testes 7 a 12)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 05, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 60), locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 61), locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 55); proporcional ao recurso (Quadro 56); locada na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 57); locada na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 65).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-8-9	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	5	4	1.3	2.3	0.9				1				2	1.3
4	3	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	5	2	5	8	8	8	10	0.4	0.4			0.5	0.5			8	2
4	6	2	2-6	5	0	2.7	4.7	0.9	0.9			1	1			4	1.3
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3		1.3		1.5	1.5			3	0.3
4	8	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0
4	9	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 60 Etapas para o nivelamento – Teste 7 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-8-9	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	5	4	0.0	1.0	2.0				2				1	2.3
4	3	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	5	2	5	8	8	8	10	0.4	0.4			0.5	0.5			8	2
4	6	2	2-6	5	0	4.0	6.0	0.7	0.7			1	1			4	2.3
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5	1.5			3	0.3
4	8	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0
4	9	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 61 Etapas para o nivelamento – Teste 8 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-8-9	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	5	4	4.0	5.0	0.4				0.5				4	1.3
4	3	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	5	2	5	8	8	8	10	0.4	0.4			0.5	0.5			8	2
4	6	2	2-6	5	0	0.0	2.0	2.0	2.0			2	2			2	1.3
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5	1.5			3	0.3
4	8	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0
4	9	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 62 Etapas para o nivelamento – Teste 9 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-8-9	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-6	5	4	1.3	2.3	0.9				1				2	1.3
4	3	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	5	2	5	8	8	8	10	0.4	0.4			0.5	0.5			8	2
4	6	2	2-6	5	0	2.7	4.7	0.9	0.9			1	1			4	1.3
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5	1.5			3	0.3
4	8	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0
4	9	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 63 Etapas para o nivelamento – Teste 10 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)	(9) Recursos Nivelado (ur)	(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01 R 02 R 03 R 04	R 01 R 02 R 03 R 04		
2	1	5	1-3-4-8-9	0	0	0	5	2,0	2	5	0
2	2	1	2-6	5	0	0,0	1,0	2,0	2	1	2,3
4	3	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2,0	2	2	0
4	4	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2,0	2	2	0
4	5	2	5	8	8	8	10	0,4	0,5	8	2
4	6	2	2-6	5	4	4,0	6,0	0,7	1	4	2,3
4	7	2	7	1	1	1	3	1,3	1,5	3	0,3
4	8	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2,0	2	1	0
4	9	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2,0	2	1	0

Quadro 64 Etapas para o nivelamento – Teste 11 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)	(9) Recursos Nivelado (ur)	(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01 R 02 R 03 R 04	R 01 R 02 R 03 R 04		
2	1	5	1-3-4-8-9	0	0	0	5	2,0	2	5	0
2	2	1	2-6	5	4	0,0	1,0	2,0	2	1	4,3
4	3	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2,0	2	2	0
4	4	2	1-3-4-8-9	0	0	0	2	2,0	2	2	0
4	5	2	5	8	8	8	10	0,4	0,5	8	2
4	6	2	2-6	5	0	0,0	2,0	2,0	2	2	4,3
4	7	2	7	1	1	1	3	1,3	1,5	3	0,3
4	8	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2,0	2	1	0
4	9	1	1-3-4-8-9	0	0	0	1	2,0	2	1	0

Quadro 65 Etapas para o nivelamento – Teste 12 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 102 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 102 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 05: Testes 7 a 12)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no

Quadro 66. Todos os resultados se apresentaram melhor que o inicial, sendo que o recurso R01 possui uma redução de equipe na 7ª ut e posterior aumento na 8ª ut para todos os casos. O recurso R03 apresentou uma melhor distribuição nos testes 08 e 11, nos demais testes há oscilações da demanda, principalmente na 6ª ut, 7ª ut e 8ª ut. O recurso R04 apresentou o mesmo resultado em todos os testes.

HISTOGRAMA (ut/ur)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
Inicial R01		6	6	4	2	2	2	2	4	4	2	2	36
Nivelado R01	Prop dur	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	4	3.5	3.5	2	36.5
	Ativ. > dur	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	4	3.5	3.5	2	36.5
	Ativ. < dur	3	3	3	3	4.5	4.5	2.5	4	3.5	3.5	2	36.5
	Prop rec	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	4	3.5	3.5	2	36.5
	Ativ. > rec	4.5	3.5	3.5	3.5	2.5	3.5	2.5	4	3.5	3.5	2	36.5
	Ativ. < rec	4.5	4.5	4.5	2.5	2.5	2.5	2.5	4	3.5	3.5	2	36.5
Inicial R03		2	4	2			2	2	4	4			20
Nivelado R03	Prop dur	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	3.5	2.5	4	3.5	1.5		20.5
	Ativ. > dur	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	4	3.5	1.5		20.5
	Ativ. < dur	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5	4.5	2.5	4	3.5	1.5		20.5
	Prop rec	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	3.5	2.5	4	3.5	1.5		20.5
	Ativ. > rec	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	4	3.5	1.5		20.5
	Ativ. < rec	0.5	2.5	2.5	0.5	0.5	2.5	2.5	4	3.5	1.5		20.5
Inicial R04											2	2	4
Nivelado R04	Prop dur										2	2	4
	Ativ. > dur										2	2	4
	Ativ. < dur										2	2	4
	Prop rec										2	2	4
	Ativ. > rec										2	2	4
	Ativ. < rec										2	2	4

Quadro 66 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Rede 06 (testes de 13 a 18)

A rede 06 é formada por 11 atividades com densidade 1,22 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 103.

Figura 103 Rede Lógica (Testes 13 a 18)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (2-5-9, 3-7-10 e 6, barras na cor azul), tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica (1-4-8-11, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur), Figura 104.

Figura 104 Gráfico de Gantt inicial (Rede 06: Testes 13 a 18)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 06, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 67), locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 68), locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 69); proporcional ao recurso (Quadro 70); locada na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 71); locada na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 72).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-8-11	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5-9	4	0	1	2	1.0				1				2	0
4	3	2	3-7-10	6	0	2	4	0.9	0.9			1		1		4	1
4	4	2	1-4-8-11	0	0	0	2	2.0	2.0			2				2	0
4	5	2	2-5-9	4	0	2	4	1.0	1.0			1		1		4	0
4	6	2	6	7	1	1	3	1.3	1.3			1.5		1.5		2.7	4.3
4	7	2	3-7-10	6	0	2	4.4	0.9	0.9			1		1		4	1
4	8	1	1-4-8-11	0	0	0	1	2.0				2.0	2			2	1
4	9	1	2-5-9	4	4	1	2	1.0				1.0	1			1	2
4	10	1	3-7-10	6	6	1	2.2	0.9				0.9	1			1	2
6	11	3	1-4-8-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0

Quadro 67 Etapas para o nivelamento – Teste 13 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-8-11	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5-9	4	0	0	1	2.0				1				2	1
4	3	2	3-7-10	6	0	3	5	0.8	0.8			1		1		4	2
4	4	2	1-4-8-11	0	0	0	2	2.0	2.0			2				2	0
4	5	2	2-5-9	4	0	4	6	0.7	0.7			1		1		4	1
4	6	2	6	7	1	0	2	2.0	2.0			2		2		2.0	6
4	7	2	3-7-10	6	0	3	5	0.8	0.8			1		1		4	2
4	8	1	1-4-8-11	0	0	0	1	2.0				2.0	2			2	1
4	9	1	2-5-9	4	4	0	1	2.0				2.0	2			2	1
4	10	1	3-7-10	6	6	0	1	2.0				2.0	2			2	1
6	11	3	1-4-8-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0

Quadro 68 Etapas para o nivelamento – Teste 14 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-8-11	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5-9	4	0	2	3	0.7				1				2	2
4	3	2	3-7-10	6	0	0	2	2.0	2.0			1		1		4	1
4	4	2	1-4-8-11	0	0	0	2	2.0	2.0			2				2	0
4	5	2	2-5-9	4	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	2
4	6	2	6	7	1	0	2	2.0	2.0			2		2		2.0	3
4	7	2	3-7-10	6	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2	1
4	8	1	1-4-8-11	0	0	0	1	2.0				2.0	2			2	1
4	9	1	2-5-9	4	4	2	3	0.7				0.7	1			1	2
4	10	1	3-7-10	6	6	6	7	0.3				0.3	0.5			0.5	4
6	11	3	1-4-8-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0

Quadro 69 Etapas para o nivelamento – Teste 15 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-8-11	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2-5-9	4	0	0.8	1.8	1.1				1.5				1.3	2
4	3	2	3-7-10	6	0	2	4	1.0	1.0			1		1		4.0	1
4	4	2	1-4-8-11	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2.0	0
4	5	2	2-5-9	4	0	1.6	3.6	1.1	1.1			1.5	1.5			2.7	2
4	6	2	6	7	1	1	3	1.3	1.3			1.5	1.5			2.7	5
4	7	2	3-7-10	6	0	2	4	1.0	1.0			1		1		4.0	1
4	8	1	1-4-8-11	0	0	0	1	2.0				2.0	2		2	1.0	0
4	9	1	2-5-9	4	4	1.6	2.6	0.8				0.8	1			2.0	2
4	10	1	3-7-10	6	6	2	3	0.7			0.7	1			1	2.0	1
6	11	3	1-4-8-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3.0	0

Quadro 70 Etapas para o nivelamento – Teste 16 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-8-11	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2-5-9	4	0	0	1	2.0				2				1.0	1
4	3	2	3-7-10	6	0	2	4	1.0	1.0			1		1		4.0	1
4	4	2	1-4-8-11	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2.0	0
4	5	2	2-5-9	4	0	2	4	1.0	1.0			1		1		4.0	1
4	6	2	6	7	1	1	3	1.3	1.3			1.5	1.5			2.7	5.3
4	7	2	3-7-10	6	0	2	4	1.0	1.0			1		1		4.0	1
4	8	1	1-4-8-11	0	0	0	1	2.0				2.0	2		2	1.0	0
4	9	1	2-5-9	4	4	2	3	0.7			0.7	1			1	2.0	1
4	10	1	3-7-10	6	6	2	3	0.7			0.7	1			1	2.0	1
6	11	3	1-4-8-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3.0	0

Quadro 71 Etapas para o nivelamento – Teste 17 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-8-11	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2-5-9	4	0	4	5	0.4				0.5				4.0	1
4	3	2	3-7-10	6	0	2	4	1.0	1.0			1		1		4.0	1
4	4	2	1-4-8-11	0	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2.0	0
4	5	2	2-5-9	4	0	0	2	2.0	2.0			2		2		2.0	1
4	6	2	6	7	1	1	3	1.3	1.3			1.5	1.5			2.7	2.3
4	7	2	3-7-10	6	0	2	4	1.0	1.0			1		1		4.0	1
4	8	1	1-4-8-11	0	0	0	1	2.0				2.0	2		2	1.0	0
4	9	1	2-5-9	4	4	0	1	2.0			2.0	2			2	1.0	1
4	10	1	3-7-10	6	6	2	3	0.7			0.7	1			1	2.0	1
6	11	3	1-4-8-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3.0	0

Quadro 72 Etapas para o nivelamento – Teste 18 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 105 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 105 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 06: Testes 13 a 18)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 73. Todos os recursos apresentam-se nivelado com melhor distribuição e pico inferior ao obtido na programação inicial. O recurso R01 apresentou oscilações da demanda. O recurso R02 apresentou o mesmo resultado em todos os casos. O recurso R03 apresentou suavização na flutuação nos testes 13 e 18, nos demais existe oscilação da demanda na 5ª ut. O recurso R04 apresentou ausência de recursos no teste 16 (7ª ut).

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
Inicial R01		6	8	8	6	4	2	2	2	4	4	4	50
Nivelado R01	Prop dur	4	4	5.5	5.5	5.5	4	4	4	5	5	4	50.5
	Ativ. > dur	4	4	6	6	4	4	5	3	6	4	4	50
	Ativ. < dur	4	4	7	7	5	5	2.5	2.5	4.5	4.5	4	50
	Prop rec	5	6	6	6	4	4	3	3	5	5	4	50.5
	Ativ. > rec	5	5.5	5.5	5.5	4	4	4	3	5	5	4	50.5
	Ativ. < rec	4	3.5	3.5	3.5	6.5	7	6.5	3	5	5	4	50.5
Inicial R02										2	2	2	6
Nivelado R02	Prop dur									2	2	2	6
	Ativ. > dur									2	2	2	6
	Ativ. < dur									2	2	2	6
	Prop rec									2	2	2	6
	Ativ. > rec									2	2	2	6
	Ativ. < rec									2	2	2	6
Inicial R03		2	6	6	2		2	2					20
Nivelado R03	Prop dur	1	1	3.5	3.5	3.5	4	3	1				20.5
	Ativ. > dur	1	1	4	4	2	4	3	1				20
	Ativ. < dur	1	1	5	5	2	4	2					20
	Prop rec	1	4	4	4	1	3	3	1				21
	Ativ. > rec	1	3.5	3.5	3.5	2	3	3	1				20.5
	Ativ. < rec	1	1	1	1	4.5	7	4.5	1				20.5
Inicial R04					2	2		2					6
Nivelado R04	Prop dur						1	3	1	1			6
	Ativ. > dur						2	2	2				6
	Ativ. < dur				1	1	0.5	2.5	0.5	0.5			6
	Prop rec				1	1		2	1	1			6
	Ativ. > rec					1	1	2	1	1			6
	Ativ. < rec						2	2	1	1			6

Quadro 73 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Rede 09 (testes de 19 a 24)

A rede 09 é formada por 18 atividades com densidade 1,38 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 106.

Figura 106 Rede Lógica (Testes 19 a 24)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (3-8, 5, 7-10, 14 barras na cor azul) tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica (1-2-4-6-9-11-12-13-15-16, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso), Figura 107.

Figura 107 Gráfico de Gantt inicial (Rede 09: Testes 19 a 24)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 09, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 74), locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 75), locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 76); proporcional ao recurso (Quadro 77); locada na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 78); locada na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 79).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	5,0	2,0				2				5,0	0
2	2	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0				2				1,0	0
4	3	2	3-8	3	0	2,0	4,0	1,0		1,0		1		1		4,0	0
4	4	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2		2		2,0	0
4	5	2	5	4	4	4,0	6,0	0,7		0,7		1		1		4,0	2
4	6	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2		2		2,0	0
4	7	2	7-10	1	0	0,7	2,7	1,5		1,5		1,5		1,5		2,7	0
4	8	1	3-8	3	3	1,0	2,0	1,0				1,0		1		2,0	0
4	9	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0				2,0		2		1,0	0
4	10	1	7-10	1	1	0,3	1,3	1,5				1,5		1,5		1,3	0
6	11	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	12	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	13	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	14	3	14	3	3	3,0	6,0	2,0	1,0			2	1			6,0	0
6	15	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
2	16	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0				2				2,0	0

Quadro 74 Etapas para o nivelamento – Teste 19 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	5,0	2,0				2				5,0	0
2	2	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0				2				1,0	0
4	3	2	3-8	3	0	3,0	5,0	0,8		0,8		1		1		4,0	1
4	4	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2		2		2,0	0
4	5	2	5	4	4	4,0	6,0	0,7		0,7		1		1		4,0	2
4	6	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2		2		2,0	0
4	7	2	7-10	1	0	1,0	3,0	1,3		1,3		1,5		1,5		2,7	0,3
4	8	1	3-8	3	3	1,0	2,0	1,0				2,0		2		1,0	1
4	9	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0				2,0		2		1,0	0
4	10	1	7-10	1	1	0,0	1,0	2,0				2,0		2		1,0	0,3
6	11	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	12	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	13	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	14	3	14	3	3	3,0	6,0	2,0	1,0			2	1			6,0	0
6	15	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
2	16	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0				2				2,0	0

Quadro 75 Etapas para o nivelamento – Teste 20 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	5,0	2,0				2				5,0	0
2	2	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0				2				1,0	0
4	3	2	3-8	3	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2			2,0	0
4	4	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2	2		2,0	0
4	5	2	5	4	4	4,0	6,0	0,7		0,7		1		1		4,0	2
4	6	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2			2,0	0
4	7	2	7-10	1	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2		2		2,0	0
4	8	1	3-8	3	3	3,0	4,0	0,5			0,5				0,5	4,0	0
4	9	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0			2,0	2			2	1,0	0
4	10	1	7-10	1	1	1,0	2,0	1,0			1,0	1				2,0	0
6	11	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	12	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	13	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	14	3	14	3	3	3,0	6,0	2,0	1,0			2	1			6,0	0
6	15	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
2	16	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0				2				2,0	0

Quadro 76 Etapas para o nivelamento – Teste 21 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	5,0	2,0				2				5,0	0
2	2	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0				2				1,0	0
4	3	2	3-8	3	0	1,5	3,5	1,1		1,1		1,5		1,5		2,7	1,33
4	4	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2			2,0	0
4	5	2	5	4	4	4,0	6,0	0,7		0,7		1		1		4,0	2
4	6	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2			2,0	0
4	7	2	7-10	1	0	0,5	2,5	1,6		1,6		2		2		2,0	0,67
4	8	1	3-8	3	3	1,5	2,5	0,8			0,8	1			1	2,0	1,33
4	9	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0			2,0	2				2	1,0
4	10	1	7-10	1	1	0,5	1,5	1,3			1,3	1,5			1,5	1,3	0,67
6	11	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	12	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	13	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	14	3	14	3	3	3,0	6,0	2,0	1,0			2	1			6,0	0
6	15	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
2	16	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0				2				2,0	0

Quadro 77 Etapas para o nivelamento – Teste 22 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	5,0	2,0				2				5,0	0
2	2	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0				2				1,0	0
4	3	2	3-8	3	0	1,5	3,5	1,1		1,1		1,5		1,5		2,7	1,33
4	4	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2			2,0	0
4	5	2	5	4	4	4,0	6,0	0,7		0,7		1		1		4,0	2
4	6	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2			2,0	0
4	7	2	7-10	1	0	0,5	2,5	1,6		1,6		2		2		2,0	0,67
4	8	1	3-8	3	3	1,5	2,5	0,8			0,8	1			1	2,0	1,33
4	9	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0			2,0	2				2	1,0
4	10	1	7-10	1	1	0,5	1,5	1,3			1,3	1,5			1,5	1,3	0,67
6	11	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	12	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	13	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	14	3	14	3	3	3,0	6,0	2,0	1,0			2	1			6,0	0
6	15	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
2	16	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0				2				2,0	0

Quadro 78 Etapas para o nivelamento – Teste 23 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	5,0	2,0				2				5,0	0
2	2	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0				2				1,0	0
4	3	2	3-8	3	0	1,5	3,5	1,1		1,1		1,5		1,5		2,7	1,33
4	4	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2			2,0	0
4	5	2	5	4	4	4,0	6,0	0,7		0,7		1		1		4,0	2
4	6	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0		2,0		2	2			2,0	0
4	7	2	7-10	1	0	0,5	2,5	1,6		1,6		2		2		2,0	0,67
4	8	1	3-8	3	3	1,5	2,5	0,8			0,8	1			1	2,0	1,33
4	9	1	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	1,0	2,0			2,0	2				2	1,0
4	10	1	7-10	1	1	0,5	1,5	1,3			1,3	1,5			1,5	1,3	0,67
6	11	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	12	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	13	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
6	14	3	14	3	3	3,0	6,0	2,0	1,0			2	1			6,0	0
6	15	3	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	3,0	4,0	2,0			4	2			3,0	0
2	16	2	1-2-4-6-9-11-12-13-15-16	0	0	0,0	2,0	2,0				2				2,0	0

Quadro 79 Etapas para o nivelamento – Teste 24 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 108 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 108 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 09: Testes 19 a 24)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 80. O recurso R01 apresentou oscilação na sua demanda em todos os testes. O recurso R02 apresentou o mesmo resultado para todos os testes, com suavização da demanda. O recurso R03 apresentou aumento e redução com pico menor que o inicial em todos os casos. O recurso R04 apresentou ausência na demanda na 12^a ut em todos os casos.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Total
Inicial R01		2	2	2	2	6	6	4	4	2	2	4	6	6	4	12	12	12	4	4	4	2	2	102
Nivelado R01	Prop dur	2	2	2	2	4	4	4	4	4	3	4,5	5,5	5,5	5,5	10	10	10	6	6	6	2	2	102
	Ativ. > dur	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	3,5	5,5	6	6	10	10	10	6	6	6	2	2	103
	Ativ. < dur	2	2	2	2	5	5	3,5	3,5	2,5	4,5	6	5	5	10	10	10	6	6	6	2	2	102	
	Prop rec	2	2	2	2	4,5	4,5	4,5	4	3	4	6	5,5	5,5	10	10	10	6	6	6	2	2	103,5	
	Ativ. > rec	2	2	2	2	4,5	4,5	4,5	4	3	4	6	5,5	5,5	10	10	10	6	6	6	2	2	103,5	
	Ativ. < rec	2	2	2	2	4,5	4,5	4,5	4	3	4	6	5,5	5,5	10	10	10	6	6	6	2	2	103,5	
Inicial R02													2	2	2	6	6	6	2	2	2	2	30	
Nivelado R02	Prop dur													2	2	2	5	5	5	3	3	3	30	
	Ativ. > dur												2	2	2	5	5	5	3	3	3	3	30	
	Ativ. < dur												2	2	2	5	5	5	3	3	3	3	30	
	Prop rec												2	2	2	5	5	5	3	3	3	3	30	
	Ativ. > rec												2	2	2	5	5	5	3	3	3	3	30	
	Ativ. < rec													2	2	2	5	5	5	3	3	3	3	30
Inicial R03						4	6	2	2	2	2	2	2										20	
Nivelado R03	Prop dur					2	4	4	4	2													16	
	Ativ. > dur					2	4	4	4	2	1,5	1,5	1,5										20,5	
	Ativ. < dur					3	5	3	3	2	2	2	2										20	
	Prop rec					2,5	4,5	4,5	3	2	2	2	2										20,5	
	Ativ. > rec					2,5	4,5	4,5	3	2	2	2	2										20,5	
	Ativ. < rec					2,5	4,5	4,5	3	2	2	2	2										20,5	
Inicial R04								2			2			2									6	
Nivelado R04	Prop dur											3,5	1,5	1,5	1,5								8	
	Ativ. > dur										2	2	2	2	2								8	
	Ativ. < dur								0,5	0,5	0,5	2,5		1	1								6	
	Prop rec					1	1	1	2	1	2	1,5	1,5	1,5									8	
	Ativ. > rec							1	1	1	2	1,5	1,5	1,5									8	
	Ativ. < rec							1	1	1	2	1,5	1,5	1,5									8	

Quadro 80 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Rede 10 (testes de 25 a 30)

A rede 10 é formada por 11 atividades com densidade 1,22 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 109.

Figura 109 Rede Lógica (Testes 25 a 30)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (2-8, 3-9 e 4-6-11, barras na cor azul), tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica (1-5-7-10, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso), Figura 110.

Figura 110 Gráfico de Gantt inicial (Rede 10: Testes 25 a 30)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 10, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 81), locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 82), na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 55); proporcional ao recurso (Quadro 84); na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 85); na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 86).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-7-10	0	0	0	5	2,0								5,00	0
2	2	1	2-8	8	0	4,0	5,0	0,4				0,5				4,00	2
4	3	2	3-9	7	0	4,7	6,7	0,6		0,6		1		1		4,00	4
4	4	2	4-6-11	3	0	0,86	2,9	1,4		1,4		1,5		1,5		2,67	0,7
4	5	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2,0		2,0		2		2		2,00	0
4	6	2	4-6-11	3	0	0,86	2,9	1,4		1,4		1,5		1,5		2,67	0,7
4	7	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2,0		2,0		2		2		2,00	0
4	8	1	2-8	8	8	4,0	5,0	0,4			0,4	0,5			0,5	4,00	2
4	9	1	3-9	7	7	2,3	3,3	0,6			0,6	1			1	2,00	4
4	10	1	1-5-7-10	0	0	0	1	2,0				2,0			2	1,00	0
6	11	3	4-6-11	3	3	1,29	4,3	2,8	1,4			3	1,5			4,00	0,7

Quadro 81 Etapas para o nivelamento – Teste 25 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-7-10	0	0	0	5	2,0				2				5,00	0
2	2	1	2-8	8	0	4,0	5,0	0,4				0,5				4,00	2
4	3	2	3-9	7	0	7,0	9,0	0,4		0,4		0,5		0,5		8,00	1
4	4	2	4-6-11	3	0	0,00	2,0	2,0		2,0		2		2		2,00	0
4	5	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2,0		2,0		2		2		2,00	0
4	6	2	4-6-11	3	0	0,00	2,0	2,0		2,0		2		2		2,00	0
4	7	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2,0		2,0		2		2		2,00	0
4	8	1	2-8	8	8	4,0	5,0	0,4			0,4	0,5			0,5	4,00	2
4	9	1	3-9	7	7	0,0	1,0	2,0			2,0	2			2	1,00	1
4	10	1	1-5-7-10	0	0	0	1	2,0				2,0			2	1,00	0
6	11	3	4-6-11	3	3	3,00	6,0	2,0	1,0			2	1			6,00	0

Quadro 82 Etapas para o nivelamento – Teste 26 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-7-10	0	0	0	5	2.0								5.00	0
2	2	1	2-8	8	0	4.0	5.0	0.4				0.5				4.00	2
4	3	2	3-9	7	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.00	4
4	4	2	4-6-11	3	0	1.50	3.5	1.1		1.1		1.5		1.5		2.67	1.7
4	5	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	6	2	4-6-11	3	0	1.50	3.5	1.1		1.1		1.5		1.5		2.67	1.7
4	7	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	8	1	2-8	8	8	4.0	5.0	0.4			0.4	0.5			0.5	4.00	2
4	9	1	3-9	7	7	7.0	8.0	0.3			0.3	0.5			0.5	4.00	4
4	10	1	1-5-7-10	0	0	0	1	2.0				2.0		2		1.00	0
6	11	3	4-6-11	3	3	0.00	3.0	4.0	2.0			4	2			3.00	1.7

Quadro 83 Etapas para o nivelamento – Teste 27 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-7-10	0	0	0	5	2.00				2				5.00	0
2	2	1	2-8	8	0	2.7	3.7	0.55				1				2.00	4
4	3	2	3-9	7	0	5	7	0.55		0.55		1		1		4.00	2
4	4	2	4-6-11	3	0	0.6	2.6	1.54		1.54		2		2		2.00	3
4	5	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2.00		2.00		2		2		2.00	0
4	6	2	4-6-11	3	0	0.6	2.6	1.54		1.54		2		2		2.00	3
4	7	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2.00		2.00		2		2		2.00	0
4	8	1	2-8	8	8	5.3	6.3	0.32			0.32	0.5			0.5	4.00	4
4	9	1	3-9	7	7	4	4.5	0.44			0.44	0.5			0.5	4.00	2
4	10	1	1-5-7-10	0	0	0	1	2.00			2.00	2			2	1.00	0
6	11	3	4-6-11	3	3	0.9	3.9	3.08	1.54			4	2			3.00	3

Quadro 84 Etapas para o nivelamento – Teste 28 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-7-10	0	0	0	5	2.0				2				5.00	0
2	2	1	2-8	8	0	0.0	1.0	2.0				2				1.00	5
4	3	2	3-9	7	0	3.5	6	0.7		0.7		1		1		4.00	2
4	4	2	4-6-11	3	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	5	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	6	2	4-6-11	3	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	7	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	8	1	2-8	8	8	8.0	9.0	0.2			0.2	0.5			0.5	4.00	5
4	9	1	3-9	7	7	3.5	4.5	0.4			0.4	0.5			0.5	4.00	2
4	10	1	1-5-7-10	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1.00	0
6	11	3	4-6-11	3	3	3.0	6	2.0	1.0			2	1			6.00	0

Quadro 85 Etapas para o nivelamento – Teste 29 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-7-10	0	0	0	5	2.0				2				5.00	0
2	2	1	2-8	8	0	8.0	9.0	0.2				2				1.00	8
4	3	2	3-9	7	0	3.5	6	0.7		0.7		1		1		4.00	2
4	4	2	4-6-11	3	0	1.5	3.5	1.1		1.1		1.5		1.5		2.67	1.7
4	5	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	6	2	4-6-11	3	0	1.5	3.5	1.1		1.1		1.5		1.5		2.67	1.7
4	7	2	1-5-7-10	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	8	1	2-8	8	8	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1.00	8
4	9	1	3-9	7	7	3.5	4.5	0.4			0.4	0.5			0.5	4.00	2
4	10	1	1-5-7-10	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1.00	0
6	11	3	4-6-11	3	3	0	3	4.0	2.0			4	2			3.00	1.7

Quadro 86 Etapas para o nivelamento – Teste 30 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 111 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 111 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 10: Testes 25 a 30)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 87. O recurso R01 não apresentou aumento e redução gradativa nos testes onde a folga foi rateada proporcional a duração e locada na atividade de maior duração na cadeia não-crítica. O recurso R02 apresentou valores constantes em todos os casos. O recurso R03 apresentou oscilação da demanda em todos os testes. O recurso R04 um nivelamento satisfatório somente quando a folga foi alocada na atividade de maior duração.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Inicial R01		8	8	6	4	6	6	6	2	2	2	50
Nivelado R01	Prop dur	5	5	5	5	5	6,5	5,5	5,5	5	5	52,5
	Ativ. > dur	5	5	5	5	5	5	5	5	6	4	50
	Ativ. < dur	6	6	4,5	4,5	4,5	7	6,5	6,5	6	2	53,5
	Prop rec	6	6	5,5	5,5	7	7	6,5	2,5	2	2	50
	Ativ. > rec	7	5,5	5,5	5,5	5	4,5	4,5	4,5	4	4	50
	Ativ. < rec	6,5	6,5	4,5	4,5	4	6,5	6,5	6,5	6	2	53,5
Inicial R02						2	2	2				6
Nivelado R02	Prop dur						1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	7,5
	Ativ. > dur					1	1	1	1	1	1	6
	Ativ. < dur						2	2	2	2		8
	Prop rec					2	2	2				6
	Ativ. > rec					1	1	1	1	1	1	6
	Ativ. < rec						2	2	2	2		8
Inicial R03		4	4	2	2		2	2	2	2		20
Nivelado R03	Prop dur	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	3,5	2	2	2		21
	Ativ. > dur	2,5	2,5	2,5	2,5	0,5	2,5	2,5	2,5	2		20
	Ativ. < dur	3,5	3,5	1,5	1,5	1,5	3,5	2	2	2		21
	Prop rec	3	3	3	2,5		2	2	2	2		
	Ativ. > rec	3	3	3	3		2	2	2	2		
	Ativ. < rec	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	3,5	2	2	2		
Inicial R04			2	2							2	6
Nivelado R04	Prop dur					1,5	1,5	0,5	0,5		2	6
	Ativ. > dur					0,5	0,5	0,5	0,5	2	2	6
	Ativ. < dur			0,5	0,5	1	1	0,5	0,5		2	6
	Prop rec			0,5	0,5	1	1	0,5	0,5		2	
	Ativ. > rec		0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5		2	
	Ativ. < rec		2			0,5	0,5	0,5	0,5		2	

Quadro 87 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Rede 12 (testes de 31 a 36)

A rede 12 é formada por 12 atividades com densidade 1,2 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 112.

Figura 112 Rede Lógica (Testes 31 a 36)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (2-5-8, 3-6-11 e 10-12, barras na cor azul) tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica (1-4-7-9, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso), Figura 113.

Figura 113 Gráfico de Gantt inicial (Rede 12: Testes 31 a 36)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 12, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 88), locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 89), locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 90); proporcional ao recurso (Quadro 91); locada na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 92); locada na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 93).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04										
2	1	5	1-4-7-9	0	0	5	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	5	0
2	2	1	2-5-8	5	0	1	2.0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
4	3	2	3-6-11	3	0	0.86	3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3	0.7
4	4	2	1-4-7-9	0	0	2	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
4	5	2	2-5-8	5	0	2	4	1.0	1.0	1	1	1	1	1	1	4	1
4	6	2	3-6-11	3	0	0.86	2.9	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.7	0.7
4	7	2	1-4-7-9	0	0	2	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
4	8	1	2-5-8	5	4	1	2	1.0	1	1	1	1	1	1	1	2	1
4	9	1	1-4-7-9	0	0	1	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0
4	10	1	10-12	1	1	0.25	1.3	1.6	1.6	2	2	2	2	2	2	1	1
6	11	3	3-6-11	3	3	1.29	4.3	2.8	1.4	3	1.5	3	1.5	3	1.5	4	0.7
6	12	3	10-12	1	0	0.75	3.8	3.2	1.6	4	2	4	2	4	2	3	1

Quadro 88 Etapas para o nivelamento – Teste 31 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04										
2	1	5	1-4-7-9	0	0	5	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	5	0
2	2	1	2-5-8	5	0	0	1	2.0	1	1	1	1	1	1	1	1	3
4	3	2	3-6-11	3	0	0.00	2	2.0	2.0	2	2	2	2	2	2	2	0
4	4	2	1-4-7-9	0	0	2	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
4	5	2	2-5-8	5	0	4	6	0.7	0.7	1	1	1	1	1	1	4	3
4	6	2	3-6-11	3	0	0.00	2.0	2.0	2.0	2	2	2	2	2	2	2	0
4	7	2	1-4-7-9	0	0	2	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
4	8	1	2-5-8	5	4	0	1	2.0	2.0	2	2	2	2	2	2	1	3
4	9	1	1-4-7-9	0	0	1	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0
4	10	1	10-12	1	1	0	1.0	2.0	2.0	2	2	2	2	2	2	1	0
6	11	3	3-6-11	3	3	3.00	6.0	2.0	1.0	2	1	2	1	2	1	6	0
6	12	3	10-12	1	0	1	4.0	3.0	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	4	0

Quadro 89 Etapas para o nivelamento – Teste 32 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04										
2	1	5	1-4-7-9	0	0	5	2.0	2	2	2	2	2	2	2	2	5	0
2	2	1	2-5-8	5	0	2	3	0.7	0.7	1	1	1	1	1	1	2	1
4	3	2	3-6-11	3	0	1.50	4	1.1	1.1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3	1.7
4	4	2	1-4-7-9	0	0	0	2	2.0	2.0	2	2	2	2	2	2	2	0
4	5	2	2-5-8	5	0	0	2	2.0	2.0	1	1	1	1	1	1	4	1
4	6	2	3-6-11	3	0	1.50	3.5	1.1	1.1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.7	1.7
4	7	2	1-4-7-9	0	0	0	2	2.0	2.0	2	2	2	2	2	2	2	0
4	8	1	2-5-8	5	4	2	3	0.7	0.7	1	1	1	1	1	1	2	1
4	9	1	1-4-7-9	0	0	0	1	2.0	2.0	2	2	2	2	2	2	1	0
4	10	1	10-12	1	1	1	2.0	1.0	1.0	1	1	1	1	1	1	2	1
6	11	3	3-6-11	3	3	0.00	3.0	4.0	2.0	4	2	4	2	4	2	3	1.7
6	12	3	10-12	1	0	0	3.0	4.0	2.0	4	2	4	2	4	2	3	1

Quadro 90 Etapas para o nivelamento – Teste 33 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7-9	0	0		5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2-5-8	5	0	0.8	1.8	1.1				1.5				1.3	2.67
4	3	2	3-6-11	3	0	0.86	3	1.4		1.4		1.5	1.5			2.7	0.67
4	4	2	1-4-7-9	0	0		2	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	5	2	2-5-8	5	0	1.6	3.6	1.1		1.1		1.5	1.5			2.7	2.67
4	6	2	3-6-11	3	0	0.86	2.9	1.4	1.4			1.5	1.5			2.7	0.67
4	7	2	1-4-7-9	0	0		2	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	8	1	2-5-8	5	4	1.6	2.6	0.8			0.8	1			1	2.0	2.67
4	9	1	1-4-7-9	0	0		1	2.0				2.0	2			2.0	0
4	10	1	10-12	1	1	0.4	1.4	1.4			1.4	1.5			1.5	1.3	0.67
6	11	3	3-6-11	3	3	1.29	4.3	2.8	1.4			3	1.5			4.0	0.67
6	12	3	10-12	1	0	0.6	3.6	3.3	1.7			4	2			3.0	0.67

Quadro 91 Etapas para o nivelamento – Teste 34 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7-9	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2-5-8	5	0	0	1	2.0				2				1.0	2
4	3	2	3-6-11	3	0	0.00	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	4	2	1-4-7-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	5	2	2-5-8	5	0	2	4	1.0	1.0			1	1			4.0	2
4	6	2	3-6-11	3	0	0.00	2.0	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	7	2	1-4-7-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	8	1	2-5-8	5	4	2	3	0.7			0.7	1			1	2.0	2
4	9	1	1-4-7-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1.0	0
4	10	1	10-12	1	1	0	1.0	2.0			2.0	2			2	1.0	0
6	11	3	3-6-11	3	3	3.00	6.0	2.0	1.0			2	1			6.0	0
6	12	3	10-12	1	0	1	4.0	3.0	1.5			3	1.5			4.0	0

Quadro 92 Etapas para o nivelamento – Teste 35 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-7-9	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2-5-8	5	0	2	3	0.7				1				2.0	3
4	3	2	3-6-11	3	0	1.50	4	1.1		1.1		1.5	1.5			2.7	1.7
4	4	2	1-4-7-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	5	2	2-5-8	5	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2.0	3
4	6	2	3-6-11	3	0	1.50	3.5	1.1	1.1			1.5	1.5			2.7	1.7
4	7	2	1-4-7-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	8	1	2-5-8	5	4	0	1	2.0			2.0	2			2	1.0	3
4	9	1	1-4-7-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1.0	0
4	10	1	10-12	1	1	1	2.0	1.0			1.0	1			1	2.0	0
6	11	3	3-6-11	3	3	0.00	3.0	4.0	2.0			4	2			3.0	1.7
6	12	3	10-12	1	0	0	3.0	4.0	2.0			4	2			3.0	0

Quadro 93 Etapas para o nivelamento – Teste 36 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 114 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 114 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 12: Testes 31 a 36)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 94. O recurso R01 apresentou aumento e redução gradativa da demanda nos testes 31, 33 e 36. O recurso R02 apresentou aumento e redução gradativa da demanda nos testes 32 e 35. O recurso R03 apresentou oscilações na demanda nos testes 32, 34, 35 e 36. O recurso R04 apresentou ausência de demanda nos testes 32, 34, 35 e 36, nos demais testes houve aumento e redução gradativa da demanda.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Inicial R01		6	6	6	6	6	10	10	6	4	2	62
	Prop dur	4,5	4,5	4,5	4,5	10	10	10	7	5		64,5
	Ativ. > dur	6	5	5	5	5	9	7	7	7	6	62
	Ativ. < dur	4,5	4,5	4,5	4,5	11	11	11	8	2		65,5
	Prop rec	5	5	5	5	4,5	10	9	9	6,5	6,5	65,5
	Ativ. > rec	6	5	5	5	5	8	8	7	7	6	62
	Ativ. < rec	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	10	10	10	7	3	65,5
Inicial R02						2	4	4	2			12
	Prop dur						3,5	3,5	3,5	1,5	1,5	13,5
	Ativ. > dur					1	2,5	2,5	2,5	2,5	1	12
	Ativ. < dur						4	4	4	2		14
	Prop rec						3,5	3,5	3,5	1,5	1,5	13,5
	Ativ. > rec					1	2,5	2,5	2,5	2,5	1	12
	Ativ. < rec						4	4	4	2		14
Inicial R03		2	4	4	2		2	2	2	2		20
	Prop dur	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4,5	2	2	2		21
	Ativ. > dur	2	3	3	3	1	2	2	2	2		20
	Ativ. < dur	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4,5	2	2	2		21
	Prop rec	1,5	3	3	3	1,5	3,5	2	2	2		21,5
	Ativ. > rec	2	3	3	3	1	2	2	2	2		20
	Ativ. < rec	1,5	1,5	3,5	3,5	1,5	3,5	2	2	2		21
Inicial R04					2					2	2	6
	Prop dur							1	1	2	2	6
	Ativ. > dur						2				4	6
	Ativ. < dur							1	1	2	2	6
	Prop rec					1	1			1,5	1,5	5
	Ativ. > rec						1	1			4	6
	Ativ. < rec									1	3	6

Quadro 94 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Rede 15 (testes de 37 a 42)

A rede 15 é formada por 25 atividades com densidade 1,39 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 115.

Figura 115 Rede Lógica (Testes 37 a 42)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (4-5-8-10-12-18-19-20, 6, 7, 9, 16, 17, 21 barras na cor azul) tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica (1-2-3-11-13-14-15-22, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso), Figura 116.

Figura 116 Gráfico de Gantt inicial (Rede 15: Testes 37 a 42)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 15, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 95), locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 96), locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 97); proporcional ao recurso (Quadro 98); locada na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 99); locada na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 58).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	5,0	2,0				2,0				5,0	0
2	2	1	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	1,0	2,0				2,0				1,0	0
4	3	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2,0	2,0	2,0			2,0				2,0	0
4	4	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,29	2,3	1,8	1,8			2,0	2,0			2,0	2
4	5	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,29	2,3	1,8	1,8			2,0	2,0			2,0	2
4	6	2	6	3	1	1	3,0	1,3	1,3			1,5	1,5			2,7	2,33
4	7	2	7	9	9	9	11,0	0,4	0,4			0,5	0,5			8,0	3
4	8	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,14	1,1	1,8			1,8	2,0			2,0	1,0	2
4	9	1	9	4	2	2	3,0	0,7			0,7	1,0			1,0	2,0	3
4	10	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,14	1,1	1,8			1,8	2,0			2,0	1,0	2
6	11	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3,0	4,0	2,0			4,0	2,0			3,0	0
6	12	3	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,43	3,4	3,5	1,8			4,0	2,0			3,0	2
6	13	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3,0	4,0	2,0			4,0	2,0			3,0	0
6	14	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3,0	4,0	2,0			4,0	2,0			3,0	0
6	15	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3,0	4,0	2,0			4,0	2,0			3,0	0
2	16	2	16	4	1	1	3,0	1,3				1,5				2,7	2,33
2	17	1	17	3	1	1	2,0	1,0				1,0				2,0	2
2	18	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,29	2,3	1,8				2,0				2,0	2
2	19	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,14	1,1	1,8				2,0				1,0	2
2	20	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	2	0,29	2,3	1,8				2,0				2,0	2
2	21	1	21	3	2	2	3,0	0,7				1,0				2,0	2
2	22	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2,0	2,0				2,0				2,0	0

Quadro 95 Etapas para o nivelamento – Teste 37 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	5,0	2,0				2,0				5,0	0
2	2	1	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	1,0	2,0				2,0				1,0	0
4	3	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2,0	2,0	2,0			2,0				2,0	0
4	4	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,00	2,0	2,0	2,0			2,0	2,0			2,0	1
4	5	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,00	2,0	2,0	2,0			2,0	2,0			2,0	1
4	6	2	6	3	1	1	3,0	1,3	1,3			1,5	1,5			2,7	1,33
4	7	2	7	9	9	9	11,0	0,4	0,4			0,5	0,5			8,0	3
4	8	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,00	1,0	2,0			2,0	2,0			2,0	1,0	1
4	9	1	9	4	2	2	3,0	0,7			0,7	1,0			1,0	2,0	2
4	10	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,00	1,0	2,0			2,0	2,0			2,0	1,0	1
6	11	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3,0	4,0	2,0			4,0	2,0			3,0	0
6	12	3	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	2,00	5,0	2,4	1,2			3,0	1,5			4,0	1
6	13	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3,0	4,0	2,0			4,0	2,0			3,0	0
6	14	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3,0	4,0	2,0			4,0	2,0			3,0	0
6	15	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3,0	4,0	2,0			4,0	2,0			3,0	0
2	16	2	16	4	1	1	3,0	1,3				1,5				2,7	1,33
2	17	1	17	3	1	1	2,0	1,0				1,0				2,0	1
2	18	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,00	2,0	2,0				2,0				2,0	1
2	19	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0,00	1,0	2,0				2,0				1,0	1
2	20	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	2	0,00	2,0	2,0				2,0				2,0	1
2	21	1	21	3	2	2	3,0	0,7				1,0				2,0	1
2	22	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2,0	2,0				2,0				2,0	0

Quadro 96 Etapas para o nivelamento – Teste 38 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	5.0	2.0				2.0				5.0	0
2	2	1	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	1.0	2.0				2.0				1.0	0
4	3	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2.0	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	0
4	4	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	2.0	2.0		2.0		2.0				2.0	1
4	5	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	2.0	2.0		2.0		2.0				2.0	1
4	6	2	6	3	1	1	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	1.67
4	7	2	7	9	9	9	11.0	0.4		0.4		0.5		0.5		8.0	3
4	8	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.33	1.3	1.5			1.5	1.5			1.5	1.3	1
4	9	1	9	4	2	2	3.0	0.7			0.7	1.0			1.0	2.0	2.33
4	10	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.33	1.3	1.5			1.5	1.5			1.5	1.3	1
6	11	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	12	3	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	1
6	13	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	14	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	15	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
2	16	2	16	4	1	1	3.0	1.3				1.5				2.7	1.67
2	17	1	17	3	1	1	2.0	1.0				1.0				2.0	1
2	18	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	2.0	2.0				2.0				2.0	1
2	19	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.33	1.3	1.5				1.5				1.3	1
2	20	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	2	0.00	2.0	2.0				2.0				2.0	1
2	21	1	21	3	2	2	3.0	0.7				1.0				2.0	1
2	22	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2.0	2.0				2.0				2.0	0

Quadro 97 Etapas para o nivelamento – Teste 39 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	5.0	2.0				2.0				5.0	0
2	2	1	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	1.0	2.0				2.0				1.0	0
4	3	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2.0	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	0
4	4	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.29	2.3	1.8		1.8		2.0		2.0		2.0	0
4	5	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.29	2.3	1.8		1.8		2.0		2.0		2.0	0
4	6	2	6	3	1	1	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.33
4	7	2	7	9	9	9	11.0	0.4		0.4		0.5		0.5		8.0	3
4	8	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.29	1.3	1.6			1.6	2.0			2.0	1.0	0
4	9	1	9	4	2	2	3.0	0.7			0.7	1.0			1.0	2.0	1
4	10	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.29	1.3	1.6			1.6	2.0			2.0	1.0	0
6	11	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	12	3	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.43	3.4	3.5	1.8			4.0	2.0			3.0	0
6	13	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	14	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	15	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
2	16	2	16	4	1	1	3.0	1.3				1.5				2.7	0.33
2	17	1	17	3	1	1	2.0	1.0				1.0				2.0	0
2	18	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.14	2.1	1.9				2.0				2.0	0
2	19	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.14	1.1	1.8				2.0				1.0	0
2	20	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	2	0.14	2.1	1.9				2.0				2.0	2
2	21	1	21	3	2	2	3.0	0.7				1.0				2.0	0
2	22	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2.0	2.0				2.0				2.0	0

Quadro 98 Etapas para o nivelamento – Teste 40 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	5.0	2.0				2.0				5.0	0
2	2	1	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	1.0	2.0				2.0				1.0	0
4	3	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2.0	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	0
4	4	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	2.0	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	1
4	5	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	2.0	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	1
4	6	2	6	3	1	1	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	1.33
4	7	2	7	9	9	9	11.0	0.4		0.4		0.5		0.5		8.0	3
4	8	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	1.0	2.0			2.0	2.0			2.0	1.0	1
4	9	1	9	4	2	2	3.0	0.7			0.7	1.0			1.0	2.0	2
4	10	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	1.0	2.0			2.0	2.0			2.0	1.0	1
6	11	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	12	3	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	2.00	5.0	2.4	1.2			3.0	1.5			4.0	1
6	13	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	14	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	15	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
2	16	2	16	4	1	1	3.0	1.3				1.5				2.7	1.33
2	17	1	17	3	1	1	2.0	1.0				1.0				2.0	1
2	18	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	2.0	2.0				2.0				2.0	1
2	19	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	1.0	2.0				2.0				1.0	1
2	20	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	2	0.00	2.0	2.0				2.0				2.0	1
2	21	1	21	3	2	2	3.0	0.7				1.0				2.0	1
2	22	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2.0	2.0				2.0				2.0	0

Quadro 99 Etapas para o nivelamento – Teste 41 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	5.0	2.0				2.0				5.0	0
2	2	1	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	1.0	2.0				2.0				1.0	0
4	3	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2.0	2.0				2.0	2.0			2.0	0
4	4	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	2.0	2.0	2.0			2.0	2.0			2.0	0.33
4	5	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	2.0	2.0	2.0	2.0		2.0	2.0			2.0	0.33
4	6	2	6	3	1	1	3.0	1.3		1.3		1.5				2.7	0.67
4	7	2	7	9	9	9	11.0	0.4		0.4		0.5		0.5		8.0	3
4	8	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	1.0	2.0			2.0	2.0			2.0	1.0	0.33
4	9	1	9	4	2	2	3.0	0.7			0.7	1.0				2.0	1.33
4	10	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	1.0	2.0			2.0	2.0			2.0	1.0	0.33
6	11	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	12	3	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.00	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0.33
6	13	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	14	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
6	15	3	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4.0	2.0			3.0	0
2	16	2	16	4	1	1	3.0	1.3				1.5				2.7	2.33
2	17	1	17	3	1	1	2.0	1.0				1.0				2.0	1
2	18	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.67	2.7	1.5				1.5				2.7	0.33
2	19	1	4-5-8-10-12-18-19-20	2	0	0.67	1.7	1.2				1.5				1.3	0.33
2	20	2	4-5-8-10-12-18-19-20	2	2	0.67	2.7	1.5				1.5				2.7	0.33
2	21	1	21	3	2	2	3.0	0.7				1.0				2.0	1
2	22	2	1-2-3-11-13-14-15-22	0	0	0	2.0	2.0				2.0				2.0	0

Quadro 100 Etapas para o nivelamento – Teste 42 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 117 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 117 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 15: Testes 37 a 42)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 101. O recurso R01 apresentou oscilação da demanda em todos os testes. O recurso R02 apresentou o aumento e redução gradativa em todos os testes. O recurso R03 apresentou um resultado similar e satisfatório em todos os testes com pico inferior (4.5ur) ao obtido inicialmente (6ur). O recurso R04 apresentou com aumento gradativo da demanda em todos os testes.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Total
Inicial R01	2	2	2	2	2	2	6	6	10	8	6	6	8	8	8	10	8	6	8	6	2	2	120
Nivelado R01																							
Prop dur	2	2	2	2	2	2	4.5	4.5	9	9	8	6.5	8.5	8.5	8	8.5	8.5	7.5	7	7	2	2	121
Ativ. > dur	2	2	2	2	2	2	4.5	4.5	9	9	8	6.5	7.5	7.5	7	7	8.5	8.5	7.5	7	5	2	121
Ativ. < dur	2	2	2	2	2	2	4.5	4.5	9	9	7.5	6	8.5	8.5	8	8.5	8.5	8.5	7	7	5	2	124
Prop rec	2	2	2	2	2	2	4.5	4.5	9	9	8	6.5	8.5	8.5	8	8.5	8.5	7.5	6.5	6.5	2.5	2.5	121
Ativ. > rec	2	2	2	2	2	2	4.5	4.5	9	9	8	6.5	7.5	7.5	7	7	8.5	8.5	7.5	7	5	2	121
Ativ. < rec	2	2	2	2	2	2	4.5	4.5	9	9	8	6.5	8.5	8.5	8	8	8	7	5.5	6.5	4.5	3.5	121.5
Inicial R02									2	2	2	2	4	4	4	2	2	2	2	2			30
Nivelado R02																							
Prop dur									2	2	2	2	4	4	4	2	2	2	2	2			30
Ativ. > dur									2	2	2	2	3.5	3.5	3.5	3.5	2	2	2	2			30
Ativ. < dur									2	2	2	2	4	4	4	4	2	2	2	2			32
Prop rec									2	2	2	2	4	4	4	2	2	2	2	2			30
Ativ. > rec									2	2	2	2	3.5	3.5	3.5	3.5	2	2	2	2			30
Ativ. < rec									2	2	2	2	4	4	4	4	2	2	2	2			30
Inicial R03							6	6	4	4													20
Nivelado R03																							
Prop dur							4.5	4.5	4	4	2	0.5	0.5	0.5									20.5
Ativ. > dur							4.5	4.5	4	4	2	0.5	0.5	0.5									20.5
Ativ. < dur							4.5	4.5	4	4	2	0.5	0.5	0.5									20.5
Prop rec							4.5	4.5	4	4	2	0.5	0.5	0.5									20.5
Ativ. > rec							4.5	4.5	4	4	2	0.5	0.5	0.5									20.5
Ativ. < rec							4.5	4.5	4	4	2	0.5	0.5	0.5									20.5
Inicial R04									2	2	2												6
Nivelado R04																							
Prop dur									1	1	2	2											6
Ativ. > dur									1	1	2	2											6
Ativ. < dur									1	1	1.5	1.5	1.5										6.5
Prop rec									1	1	2	2											6
Ativ. > rec									1	1	2	2											6
Ativ. < rec									1	1	2	2											6

Quadro 101 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Rede 16 (testes de 43 a 48)

A rede 16 é formada por 19 atividades com densidade 1,19 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 118.

Figura 118 Rede Lógica (Testes 43 a 48)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (3-8, 6, 9-10-11-18-19 e 17, barras na cor azul) tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica (1-2-4-5-12-13-14-15-16, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur), Figura 119.

Figura 119 Gráfico de Gantt inicial (Rede 16: Testes 43 a 48)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 16, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 102); locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 103); locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 104); proporcional ao recurso (Quadro 105); locada na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 106); locada na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 107).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)	(9) Recursos Nivelado (ur)	(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamen
2	1	5	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	5	2.0	2	5	0
2	2	1	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	1	2.0	2	1	0
4	3	2	3-8	3	0	2.0	4	1.0	1	1	0
4	4	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2	2	0
4	5	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2	2	0
4	6	2	6	2	2	2	4	1.0	1	1	0
4	7	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2	2	0
4	8	1	3-8	3	3	1.0	2	1.0	1	1	0
4	9	1	9-10-11-18-19	10	0	0.8	1.8	1	1	1	0
4	10	1	9-10-11-18-19	10	0	0.8	1.8	1	1	1	0
6	11	3	9-10-11-18-19	10	0	2.4	5.4	2	1	2	0
6	12	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2	4	0
6	13	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2	4	0
6	14	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2	4	0
6	15	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2	4	0
2	16	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2	2	0
2	17	1	17	16	6	6	7	0.3	0.5	4	10
2	18	2	9-10-11-18-19	10	0	1.6	3.6	1	1	1	0
2	19	1	9-10-11-18-19	10	6.5	0.8	1.8	1	1	2	0

Quadro 102 Etapas para o nivelamento – Teste 43 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folg Total após nivelamen
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-8	3	0	3.0	5	0.8		0.8		1		1		4	1
4	4	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	6	2	2	2	4	1.0		1.0		1		1		4	0
4	7	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	8	1	3-8	3	3	0.0	1	2.0			2.0	2			2	1	0
4	9	1	9-10-11-18-19	10	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	0
4	10	1	9-10-11-18-19	10	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	0
6	11	3	9-10-11-18-19	10	0	5.5	8.5	1.4	0.7			2	1			6	0
6	12	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	14	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	15	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
2	16	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0				2				2	0
2	17	1	17	16	6	6	7	0.3				0.5				4	13
2	18	2	9-10-11-18-19	10	0	0.0	2.0	2.0				2				2.0	5
2	19	1	9-10-11-18-19	10	5.5	0.0	1.0	2.0				2				1	5

Quadro 103 Etapas para o nivelamento – Teste 44 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamen
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-8	3	0	0.0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	4	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	6	2	2	2	4	1.0		1.0		1		1		4	0
4	7	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	8	1	3-8	3	3	3.0	4	0.5			0.5	0.5			0.5	4	1
4	9	1	9-10-11-18-19	10	0	2.8	3.8	0.5			0.5	0.5			0.5	4	1
4	10	1	9-10-11-18-19	10	0	2.8	3.8	0.5			0.5	0.5			0.5	4	1
6	11	3	9-10-11-18-19	10	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	12	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	14	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	15	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
2	16	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0				2				2	0
2	17	1	17	16	6	6	7	0.3				0.5				4	10
2	18	2	9-10-11-18-19	10	0	0.0	2.0	2.0				2				2.0	1
2	19	1	9-10-11-18-19	10	8.5	2.8	3.8	0.5				0.5				4	1

Quadro 104 Etapas para o nivelamento – Teste 45 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamen
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-8	3	0	1.5	4	1.1		1.1		1.5		1.5		3	1.33
4	4	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	6	2	2	2	4	1.0		1.0		1		1		4	0
4	7	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	8	1	3-8	3	3	1.5	2.5	0.8			0.8	1		1		2	1.33
4	9	1	9-10-11-18-19	10	0	1.6	2.6	0.8			0.8	1			1	2	4.67
4	10	1	9-10-11-18-19	10	0	1.6	2.6	0.8			0.8	1			1	2	4.67
6	11	3	9-10-11-18-19	10	0	2.3	5.3	2.3	1.1			3	1.5			4	4.67
6	12	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	14	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	15	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
2	16	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0				2				2	0
2	17	1	17	16	6	6	7	0.3				0.5				4	11.33
2	18	2	9-10-11-18-19	10	0	0.8	2.8	1.4				1.5				2.7	4.67
2	19	1	9-10-11-18-19	10	7	0.8	1.8	1				1				2	4.67

Quadro 105 Etapas para o nivelamento – Teste 46 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamen
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-8	3	0	1.5	4	1.1	1.1			1.5		1.5		3	1.33
4	4	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	5	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	6	2	6	2	2	2	4	1.0	1.0			1	1			4	0
4	7	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	8	1	3-8	3	3	1.5	2.5	0.8			0.8	1		1		2	1.33
4	9	1	9-10-11-18-19	10	0	0.0	1.0	2.0			2.0	1			1	2	4.33
4	10	1	9-10-11-18-19	10	0	0.0	1.0	2.0			2.0	1			1	2	4.33
6	11	3	9-10-11-18-19	10	0	8.5	11.5	1.04	0.52			2	1			6	4.33
6	12	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	14	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	15	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
2	16	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0				2				2	0
2	17	1	17	16	6	6	7	0.3				0.5				4	13
2	18	2	9-10-11-18-19	10	0	0.0	2.0	2.0				2				2.0	4.33
2	19	1	9-10-11-18-19	10	7	0.0	1.0	2.0				2				1	4.33

Quadro 106 Etapas para o nivelamento – Teste 47 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamen
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-8	3	0	1.5	4	1.1	1.1			1.5		1.5		3	1.33
4	4	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	5	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	6	2	6	2	2	2	4	1.0	1.0			1	1			4	0
4	7	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	8	1	3-8	3	3	1.5	2.5	0.8			0.8	1		1		2	1.33
4	9	1	9-10-11-18-19	10	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	1.33
4	10	1	9-10-11-18-19	10	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	1.33
6	11	3	9-10-11-18-19	10	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	1.33
6	12	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	14	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	15	3	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
2	16	2	1-2-4-5-7-12-13-14-15-16	0	0	0	2	2.0				2				2	0
2	17	1	17	16	6	6	7	0.3				0.5				4	8
2	18	2	9-10-11-18-19	10	0	3.50	5.5	0.7				1				4.0	1.33
2	19	1	9-10-11-18-19	10	7	3.50	4.5	0.4				0.5				4	1.33

Quadro 107 Etapas para o nivelamento – Teste 48 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 120 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 120 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 16: Testes 43 a 48)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 108. O recurso R01 apresentou oscilação da demanda, mas com pico inferior ao inicial em todos os testes. O recurso R02 apresentou aumento gradativo e redução da demanda, mas no teste 48 o pico foi maior que o da programação inicial. O recurso R03 apresentou aumento gradativo e redução da demanda, com pico superior ao inicial nos testes 46, 47 e 48. O recurso R04 apresentou redução gradativa da demanda com pico igual ao inicial somente nos teste 44, os demais testes apresentaram valores inferiores.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Total
Inicial R01		2	2	2	2	2	6	4	8	6	6	6	8	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	110
Nivelado R01	Prop dur	2	2	2	2	2	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	3	3	110	
	Ativ. > dur	2	2	2	2	2	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	7	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	2	110	
	Ativ. < dur	2	2	2	2	2	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4	4	4.5	4.5	4.5	4.5	8	8	8	6	6	4.5	4.5	2.5	2	110	
	Prop rec	2	2	2	2	2	4	4	5.5	5.5	5	5	4	7	7	7	7	7	5.5	5.5	5.5	5	5	4	4	2	113.5	
	Ativ. > rec	2	2	2	2	2	4	4	5.5	5.5	5	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	2	112	
	Ativ. < rec	2	2	2	2	2	2	4	4	6.5	6.5	6.5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	4.5	4.5	2.5	2	108
Inicial R02												2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		30	
Nivelado R02	Prop dur													2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2		30	
	Ativ. > dur													3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2		30	
	Ativ. < dur													2	2	2	2	4	4	4	2	2	2	2	2		30	
	Prop rec													3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2	2	2	2	2	2	2		31.5	
	Ativ. > rec													3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2		31	
	Ativ. < rec											4	4	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		36	
Inicial R03							4	4	4	4	4	2	2														20	
Nivelado R03	Prop dur						3	3	4	4	4	3	3														20	
	Ativ. > dur						3	3	4	4	4	3	3														20	
	Ativ. < dur						4	4	3	3	3	3	3														20	
	Prop rec						3.5	3.5	4.5	3	3	3	3														20.5	
	Ativ. > rec						3.5	3.5	4.5	3	3	3	3														20.5	
	Ativ. < rec						3.5	3.5	4.5	3	3	3	3														20.5	
Inicial R04										4	2																6	
Nivelado R04	Prop dur											2	2	1	1												6	
	Ativ. > dur											4	2														6	
	Ativ. < dur									1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5										6	
	Prop rec									2	2	2	1	1													8	
	Ativ. > rec									2	2	2	1	1													8	
	Ativ. < rec									3	3	3															9	

Quadro 108 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04 (unidade de recurso versus unidade de tempo)

Rede 17 (testes de 49 a 54)

A rede 17 é formada por 31 atividades com densidade 1,30 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 121.

Figura 121 Rede Lógica (Testes 49 a 54)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (3-6, 4-9, 7-12-14-15-19-30, 8-16, 11-17, 21-23, 22-25 e 27-29, barras na cor azul) tiveram suas durações aumentadas para a mesma da

cadeia crítica (1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 unidade de recurso), Figura 122.

Figura 122 Gráfico de Gantt inicial (Rede 17: Testes 49 a 54)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 17, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 109); locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 110); locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 111); proporcional ao recurso (Quadro 112); locada na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 57); locada na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 58).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Total após nivelamento (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	5,0	2,00				2				5,0	0
2	2	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1,0	2,00				2				1,0	0
4	3	2	3-6	14	0	4	6,0	0,67		0,67		1		1		4,0	10
4	4	2	4-9	3	0	2	4,0	1,00		1,00		1		1		4,0	0
4	5	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2,0	2,00		2,00		2		2		2,0	0
4	6	2	3-6	14	8	4	6,0	0,67		0,67		1		1		4,0	10
4	7	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0,6	2,6	1,53		1,53		2		2		2,0	4
4	8	1	8-16	4	0	0,7	1,7	1,20			1,20	1,5			1,5	1,3	1
4	9	1	4-9	3	3	1	2,0	1,00				1,00	1		1	2,0	0
4	10	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1,0	2,00				2,00	2		2	1,0	0
6	11	3	11-17	3	0	2,25	5,3	2,29	1,14			3	1,5			4,0	1,67
6	12	3	7-12-14-18-19-30	6	0	0,9	3,9	3,06	1,53			4	2			3,0	4
6	13	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3,0	4,00	2,00			4	2			3,0	0
6	14	3	7-12-14-18-19-30	6	0	0,9	3,9	3,06	1,53			4	2			3,0	4
6	15	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3,0	4,00	2,00			4	2			3,0	0
2	16	2	8-16	4	2	1,3	3,3	1,20				1,5				2,7	1
2	17	1	11-17	3	3	0,75	1,8	1,14				1,5				1,3	1,67
2	18	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0,6	2,6	1,53				2				2,0	4
2	19	1	7-12-14-18-19-30	6	0	0,3	1,3	1,53				2				1,0	4
2	20	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2,0	2,00				2				2,0	0
2	21	1	21-23	7	0	3,5	4,5	0,44				0,5				4,0	0
2	22	2	22-25	1	0	0,7	2,7	1,50				1,5				2,7	0
2	23	1	21-23	7	7	3,5	4,5	0,44				0,5				4,0	0
2	24	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2,0	2,00				2				2,0	0
2	25	1	22-25	1	1	0,3	1,3	1,50				1,5				1,3	0
2	26	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2,0	2,00				2				2,0	0
2	27	1	27-29	4	0	2	3,0	0,67				1				2,0	2
2	28	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2,0	2,00				2				2,0	0
2	29	1	27-29	4	4	2	3,0	0,67				1				2,0	0
2	30	2	7-12-14-18-19-30	6	4	0,6	2,6	1,53				2				2,0	4
2	31	4	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	4,0	2,00				2				4,0	0

Quadro 109 Etapas para o nivelamento – Teste 49 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	5.0	2.00				2				5.0	0
2	2	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00				2				1.0	0
4	3	2	3-6	14	0	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	9.33
4	4	2	4-9	3	0	3	5.0	0.80		0.80		1		1		4.0	0
4	5	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2		2		2.0	0
4	6	2	3-6	14	8	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	9.33
4	7	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	0.33
4	8	1	8-16	4	0	0.0	1.0	2.00				2.00			2	1.0	1
4	9	1	4-9	3	3	0	1.0	2.00				2.00			2	1.0	0
4	10	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00				2.00			2	1.0	0
6	11	3	11-17	3	0	3	6.0	2.00	1.00			2	1			6.0	1.67
6	12	3	7-12-14-18-19-30	6	0	2.0	5.0	2.40	1.20			3	1.5			4.0	0.33
6	13	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
6	14	3	7-12-14-18-19-30	6	0	2.0	5.0	2.40	1.20			3	1.5			4.0	0.33
6	15	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
2	16	2	8-16	4	1	1.0	3.0	1.33				1.5				2.7	0.33
2	17	1	11-17	3	3	0	1.0	2.00				2				1.0	1.67
2	18	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	2.0	2.00				2				2.0	0.33
2	19	1	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	1.0	2.00				2				1.0	0
2	20	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0.33
2	21	1	21-23	7	0	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	4
2	22	2	22-25	1	0	1.0	3.0	1.33				1.5				2.7	0.67
2	23	1	21-23	7	7	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	4
2	24	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	25	1	22-25	1	1	0.0	1.0	2.00				2				1.0	0.67
2	26	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	27	1	27-29	4	0	2	3.0	0.67				1				2.0	2
2	28	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	29	1	27-29	4	4	2	3.0	0.67				1				2.0	2
2	30	2	7-12-14-18-19-30	6	4	0.0	2.0	2.00				2				2.0	0.33
2	31	4	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	4.0	2.00				2				4.0	0

Quadro 110 Etapas para o nivelamento – Teste 50 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
1	5	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	5.0	2.00				2				5.0	0
2	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00				2				1.0	0
3	2	3-6	14	0	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	9.33
4	2	4-9	3	0	0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	0
5	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	0
6	2	3-6	14	8	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	9.33
7	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	0.33
8	1	8-16	4	0	1.0	2.0	1.00			1.00	1			1	2.0	1
9	1	4-9	3	3	3	4.0	0.50			0.50	0.5			0.5	4.0	0
10	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00			2.00	2			2	1.0	0
11	3	11-17	3	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	1.67
12	3	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0.33
13	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
14	3	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0.33
15	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
16	2	8-16	4	4	0.0	2.0	2.00				2				2.0	0.33
17	1	11-17	3	3	3	4.0	0.50				0.5				4.0	1.67
18	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	2.0	2.00				2				2.0	0.33
19	1	7-12-14-18-19-30	6	0	4.0	5.0	0.40				0.5				4.0	0
20	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0.33
21	1	21-23	7	0	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	4
22	2	22-25	1	0	0.0	2.0	2.00				2				2.0	0.67
23	1	21-23	7	7	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	4
24	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
25	1	22-25	1	1	1.0	2.0	1.00				1				2.0	0.67
26	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
27	1	27-29	4	0	2	3.0	0.67				1				2.0	2
28	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
29	1	27-29	4	4	2	3.0	0.67				1				2.0	2
30	2	7-12-14-18-19-30	6	4	0.0	2.0	2.00				2				2.0	0.33
31	4	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	4.0	2.00				2				4.0	0

Quadro 111 Etapas para o nivelamento – Teste 51 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	5.0	2.00				2				5.0	0
2	2	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00				2				1.0	0
4	3	2	3-6	14	0	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	9.67
4	4	2	4-9	3	0	1.5	3.5	1.14		1.14		1.5		1.5		2.7	1.33
4	5	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	0
4	6	2	3-6	14	8	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	9.67
4	7	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.7	2.7	1.47		1.47		1.5		1.5		2.7	2.33
4	8	1	8-16	4	0	1.7	2.7	0.75			0.75	1			1	2.0	1.67
4	9	1	4-9	3	3	1.5	2.5	0.80			0.80	1			1	2.0	1.33
4	10	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00			2.00	2			2	1.0	0
6	11	3	11-17	3	0	2.25	5.3	2.29	1.14			3	1.5			4.0	1.67
6	12	3	7-12-14-18-19-30	6	0	1.1	4.1	2.93	1.47			3	1.5			4.0	2.33
6	13	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
6	14	3	7-12-14-18-19-30	6	0	1.1	4.1	2.93	1.47			3	1.5			4.0	2.33
6	15	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
2	16	2	8-16	4	2.5	0.8	2.8	1.41				1.5				2.7	1.67
2	17	1	11-17	3	3	0.75	1.8	1.14				1.5				1.3	1.67
2	18	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.4	2.4	1.69				2				2.0	2.33
2	19	1	7-12-14-18-19-30	6	0	0.4	1.4	1.47				1.5				1.3	2.33
2	20	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	21	1	21-23	7	0	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	0
2	22	2	22-25	1	0	0.5	2.5	1.60				2				2.0	0.67
2	23	1	21-23	7	7	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	0
2	24	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	25	1	22-25	1	1	0.5	1.5	1.33				1.5				1.3	0.67
2	26	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	27	1	27-29	4	0	2.0	3.0	0.67				1				2.0	2
2	28	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	29	1	27-29	4	4	2.0	3.0	0.67				1				2.0	0
2	30	2	7-12-14-18-19-30	6	4	0.4	2.4	1.69				2				2.0	2.33
2	31	4	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	4.0	2.00				2				4.0	0

Quadro 112 Etapas para o nivelamento – Teste 52 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	5.0	2.00				2				5.0	0
2	2	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00				2				1.0	0
4	3	2	3-6	14	0	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	10
4	4	2	4-9	3	0	1.5	3.5	1.14		1.14		1.5		1.5		2.7	1.33
4	5	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	0
4	6	2	3-6	14	8	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	10
4	7	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	3.33
4	8	1	8-16	4	0	2.5	3.5	0.57			0.57	1			1	2.0	2.33
4	9	1	4-9	3	3	1.5	2.5	0.80			0.80	1			1	2.0	1.33
4	10	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00			2.00	2			2	1.0	0
6	11	3	11-17	3	0	3	6.0	2.00	1.00			2	1			6.0	0
6	12	3	7-12-14-18-19-30	6	0	2.0	5.0	2.40	1.20			3	1.5			4.0	3.33
6	13	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
6	14	3	7-12-14-18-19-30	6	0	2.0	5.0	2.40	1.20			3	1.5			4.0	3.33
6	15	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
2	16	2	8-16	4	2.5	0.0	2.0	2.00				2				2.0	2.33
2	17	1	11-17	3	3	0	1.0	2.00				2				1.0	0
2	18	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	2.0	2.00				2				2.0	3.33
2	19	1	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	1.0	2.00				2				1.0	3.33
2	20	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	21	1	21-23	7	0	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	0
2	22	2	22-25	1	0	0.5	2.5	1.60				2				2.0	0.67
2	23	1	21-23	7	7	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	0
2	24	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	25	1	22-25	1	1	0.5	1.5	1.33				1.5				1.3	0.67
2	26	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	27	1	27-29	4	0	2.0	3.0	0.67				1				2.0	2
2	28	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	29	1	27-29	4	4	2.0	3.0	0.67				1				2.0	0
2	30	2	7-12-14-18-19-30	6	4	0.0	2.0	2.00				2				2.0	3.33
2	31	4	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	4.0	2.00				2				4.0	0

Quadro 113 Etapas para o nivelamento – Teste 53 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R01	R02	R03	R04	R01	R02	R03	R04		
2	1	5	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	5.0	2.00				2				5.0	0
2	2	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00				2				1.0	0
4	3	2	3-6	14	0	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	8.33
4	4	2	4-9	3	0	1.5	3.5	1.14		1.14		1.5		1.5		2.7	1.33
4	5	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	0
4	6	2	3-6	14	8	4	6.0	0.67		0.67		1		1		4.0	8.33
4	7	2	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	3
4	8	1	8-16	4	0	0.0	1.0	2.00			2.00	2			2	1.0	1.33
4	9	1	4-9	3	3	1.5	2.5	0.80			0.80	1			1	2.0	1.33
4	10	1	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	1.0	2.00			2.00	2			2	1.0	0
6	11	3	11-17	3	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
6	12	3	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	3
6	13	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
6	14	3	7-12-14-18-19-30	6	0	0.0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	3
6	15	3	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.0	0
2	16	2	8-16	4	2.5	2.5	4.5	0.89				1				4.0	1.33
2	17	1	11-17	3	3	3	4.0	0.50				0.5				4.0	0
2	18	2	7-12-14-18-19-30	6	0	1.3	3.3	1.20				1.5				2.7	3
2	19	1	7-12-14-18-19-30	6	0	1.3	2.3	0.86				1				2.0	3
2	20	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	21	1	21-23	7	0	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	0
2	22	2	22-25	1	0	0.5	2.5	1.60				2				2.0	0.67
2	23	1	21-23	7	7	3.5	4.5	0.44				0.5				4.0	0
2	24	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	25	1	22-25	1	1	0.5	1.5	1.33				1.5				1.3	0.67
2	26	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	27	1	27-29	4	0	2.0	3.0	0.67				1				2.0	2
2	28	2	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	29	1	27-29	4	4	2.0	3.0	0.67				1				2.0	0
2	30	2	7-12-14-18-19-30	6	4	1.3	3.3	1.20				1.5				2.7	3
2	31	4	1-2-5-10-13-15-20-24-26-28-31	0	0	0	4.0	2.00				2				4.0	0

Quadro 114 Etapas para o nivelamento – Teste 54 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

Da Figura 123 a Figura 125 estão inseridos os gráficos de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 123 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 17: Testes 49)

Figura 124 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 17: Testes 50 a 52)

Figura 125 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 17: Testes 53 e 54)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 115. O recurso R01 apresentou oscilação da demanda, mas com pico inferior ao inicial nos testes: 49, 50, 51, 52, 53; e igual, no teste 54. O recurso R02 apresentou aumento gradativo e redução da demanda, com pico igual ao da programação inicial nos testes 51 e 54, e inferior nos demais testes. O recurso R03 apresentou redução gradativa da demanda som pico inferior ao da programação inicial nos testes 51, 52, 53 e 54, com oscilação nos testes 49 e 50. O recurso R04 apresentou redução gradativa da demanda com pico inferior ao inicial nos testes 51, 52, 53 e 54, e ausência de recursos na 10ª ut nos testes 49 e 50.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	Total
Inicial R01		2	2	2	2	2	2	6	6	14	14	14	10	8	8	8	6	4	8	8	6	4	4	4	2	2	2	2	152
Nivelado R01	Prop dur	2	2	2	2	2	2	4	4	7	9	12,5	12,5	12	12	8	6	6	8	6	6	6	5,5	5,5	2,5	2,5	3	3	153
	Ativ. > dur	2	2	2	2	2	2	4	4	6	8	13	10,4	11,5	11,5	9	5	5	7	7	7,5	6,5	5,5	5,5	4,5	4,5	3	3	153
	Ativ. < dur	2	2	2	2	2	2	5	5	10,5	12,5	15,5	12	9,5	9,5	8,5	6	4	6,5	5	4	4	4	5,5	4,5	2,5	3	3	152
	Prop rec	2	2	2	2	2	2	4,5	4,5	9,5	11,5	11,5	12,5	11	11	7	5	5	7,5	7,5	7	6	5,5	5,5	4,5	4,5	3	3	159
	Ativ. > rec	2	2	2	2	2	2	4,5	4,5	9	11	12	12	12	10	9	5	5	7,5	7,5	6	6	5,5	5,5	4,5	2,5	3	3	157
Nivelado R02	Ativ. < rec	2	2	2	2	2	2	4,5	4,5	12	14	14	10,5	10,5	10,5	8,5	6	6	6	6	5,5	5	5	5	4	2,5	3	3	158
	Prop dur									2	4	6	4	4	4	4	2												30
	Ativ. > dur									1,5	3,5	3,5	3,5	4	4	4	2	2	2										30
	Ativ. < dur									1	3	3	3	4,5	4,5	3,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5								30
	Prop rec									2	4	6	4	4	4	4	2												31,5
Nivelado R03	Ativ. > rec									1,5	3,5	3,5	5	3,5	3,5	3,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5								31,5
	Ativ. < rec									1	3	4,5	4,5	4,5	4,5	3,5	1,5	1,5	1,5	1,5									32
	Prop dur									2	4	6	4	4	4	4	2	2											20
	Ativ. > dur									6	6	4	4																20
	Ativ. < dur									4	4	2	2	3	3	1	1												20
Nivelado R04	Prop rec									5	5	3	3	1	1	1	1												21
	Ativ. > rec									4,5	4,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1												21
	Ativ. < rec									4,5	4,5	3	3	3	1	1	1												21
	Prop dur									6																			6
	Ativ. > dur									2			2,5	2,5															7
Nivelado R04	Ativ. < dur									2			4																6
	Prop rec									3,5	1,5	0,5	0,5																6
	Ativ. > rec									4	2	2																	8
	Ativ. < rec									4	2	2																	8
	Prop dur									5	3	1																	9

Quadro 115 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Rede 18 (testes de 55 a 60)

A rede 18 é formada por 21 atividades com densidade 1,31 (relação entre arcos e nós), conforme Figura 126.

Figura 126 Rede Lógica (Testes 55 a 60)

A partir da programação convencional desta rede, foi introduzido o seguinte elemento oriundo da TOC:

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas (2-5-11/18-21/17, 3-7-8-13-18-21, 6-12, 10-16, 14-19 e 17, barras na cor azul) tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica (1-4-9-15-20, barras cor vermelha) respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur), Figura 127.

Figura 127 Gráfico de Gantt inicial (Rede 18: Testes 55 a 60)

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 18, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga: proporcional a duração de cada atividade (Quadro 116); locada na atividade da cadeia de maior duração (Quadro 117); locada na atividade da cadeia de menor duração (Quadro 118); proporcional ao recurso (Quadro 119); locada na atividade da cadeia com a maior soma de recurso (Quadro 120); locada na atividade da cadeia com menor soma de recurso (Quadro 121).

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-9-15-20	0	0	0	5.0	2.00				2				5	0
2	2	1	2-5-11/18-21/17	4	0	0.3	1.3	1.50				1.5				1.3	1
4	3	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.4	2.4	1.69	1.69			2	2			2	2
4	4	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.00	2.00			2	2			2	0
4	5	2	2-5-11/18-21/17	4	0	0.7	2.7	1.50	1.50			1.5	1.5			2.7	1
4	6	2	6-12	3	0	0.4	2.4	1.67	1.67			2	2			2.0	3
4	7	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.4	2.4	1.69	1.69			2	2			2	2
4	8	1	3-7-8-13-18-21	2	0	0.2	1.2	1.69	1.69			2		2		1.0	2
4	9	1	1-4-9-15-20	0	0	0	1.0	2.00			2.00	2			2	1	0
4	10	1	10-16 (-2-5)	5	0	1	2.0	1.00			1.00	1			1	2	1
6	11	3	2-5-11/18-21/17	4	2	1.0	4.0	3.00	1.50			3	1.5			4	2
6	12	3	6-12	3	1	0.6	3.6	3.33	1.67			4	2			3	3
6	13	3	3-7-8-13-18-21	2	0	0.5	3.5	3.38	1.69			4	2			3	2
6	14	3	14-19	3	0	0.75	3.8	3.20	1.60			4	2			3	3
6	15	3	1-4-9-15-20	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3	0
2	16	2	10-16 (-2-5)	5	3	2	4.0	1.00				1				4.0	1
2	17	1	17	2	0	0.0	1.0	2.00				2				1	2
2	18	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.4	2.4	1.69				2				2.0	2
2	19	1	14-19	3	1	0.25	1.3	1.60				2				1	3
2	20	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.00				2				2	0
2	21	1	3-7-8-13-18-21	2	2	0.2	1.2	1.69				2				1	2

Quadro 116 Etapas para o nivelamento – Teste 55 (Rateio da folga proporcional a duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-9-15-20	0	0	0	5.0	2.00				2				5	0
2	2	1	2-5-11/18-21/17	4	0	0.0	1.0	2.00				2				1.0	2
4	3	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2	1
4	4	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.00		2.00		2		2		2	0
4	5	2	2-5-11/18-21/17	4	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	2
4	6	2	6-12	3	0	0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	2
4	7	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2	1
4	8	1	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	1.0	2.00			2.00	2			2	1.0	1
4	9	1	1-4-9-15-20	0	0	0	1.0	2.00			2.00	2			2	1	0
4	10	1	10-16 (-2-5)	5	0	0	1.0	2.00			2.00	1			1	2	2
6	11	3	2-5-11/18-21/17	4	2	2.0	5.0	2.40	1.20			3	1.5			4	3
6	12	3	6-12	3	1	1	4.0	3.00	1.50			3	1.5			4	2
6	13	3	3-7-8-13-18-21	2	0	2.0	5.0	2.40	1.20			3	1.5			4	1
6	14	3	14-19	3	0	1	4.0	3.00	1.50			3	1.5			4	2
6	15	3	1-4-9-15-20	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3	0
2	16	2	10-16 (-2-5)	5	3	3	5.0	0.80				1				4.0	2
2	17	1	17	2	0	0.0	1.0	2.00				2				1	1
2	18	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.00				2				2.0	1
2	19	1	14-19	3	1	0	1.0	2.00				2				1	2
2	20	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.00				2				2	0
2	21	1	3-7-8-13-18-21	2	2	0.0	1.0	2.00				2				1	1

Quadro 117 Etapas para o nivelamento – Teste 56 (Rateio da folga na atividade de maior duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-9-15-20	0	0	0	5.0	2.00				2				5	0
2	2	1	2-5-11/18-21/17	4	0	2.0	3.0	0.67				1				2.0	1
4	3	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2	0
4	4	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.00		2.00		2		2		2	0
4	5	2	2-5-11/18-21/17	4	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.0	1
4	6	2	6-12	3	0	1	3.0	1.33		1.33		1.5		1.5		2.7	1.33
4	7	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2	0
4	8	1	3-7-8-13-18-21	2	0	1.0	2.0	1.00			1.00	1			1	2.0	0
4	9	1	1-4-9-15-20	0	0	0	1.0	2.00			2.00	2			2	1	0
4	10	1	10-16 (-2-5)	5	0	3	4.0	0.50			0.50	0.5			0.5	4	1
6	11	3	2-5-11/18-21/17	4	2	0.0	3.0	4.00	2.00			4	2			3	2
6	12	3	6-12	3	1	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3	1.33
6	13	3	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	3.0	4.00	2.00			4	2			3	0
6	14	3	14-19	3	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3	0
6	15	3	1-4-9-15-20	0	0	0	3.0	4.00	2.00			4	2			3	0
2	16	2	10-16 (-2-5)	5	3	0	2.0	2.00				2				2.0	1
2	17	1	17	2	0	0.0	1.0	2.00				2				1	1
2	18	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.00				2				2.0	0
2	19	1	14-19	3	1	1	2.0	1.00				1				2	0
2	20	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.00				2				2	0
2	21	1	3-7-8-13-18-21	2	2	1.0	2.0	1.00				1				2	0

Quadro 118 Etapas para o nivelamento – Teste 57 (Rateio da folga na atividade de menor duração)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-9-15-20	0	0	0	5.0	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5-11/18-21/17	4	0	0.3	1.3	1.5				1.5				1.3	2
4	3	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.4	2.4	1.7		1.7		2		2		2	1.67
4	4	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	2-5-11/18-21/17	4	0	0.7	2.7	1.5		1.5		1.5		1.5		2.7	2
4	6	2	6-12	3	0	0.4	2.4	1.7		1.7		2		2		2	3
4	7	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.4	2.4	1.7		1.7		2		2		2	1.67
4	8	1	3-7-8-13-18-21	2	0	0.4	1.4	1.5			1.5	1.5			1.5	1.3	1.67
4	9	1	1-4-9-15-20	0	0	0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	0
4	10	1	10-16 (-2-5)	5	0	2	3.0	0.7			0.7	1			1	2	2.33
6	11	3	2-5-11/18-21/17	4	2	1.0	4.0	3.0	1.5			3	1.5			4	2
6	12	3	6-12	3	1	0.6	3.6	3.3	1.7			4	2			3	3
6	13	3	3-7-8-13-18-21	2	0	0.5	3.5	3.4	1.7			4	2			3	1.67
6	14	3	14-19	3	0	0.75	3.8	3.2	1.6			4	2			3	2.67
6	15	3	1-4-9-15-20	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
2	16	2	10-16 (-2-5)	5	3	1	3.0	1.3				1.5				2.7	2.33
2	17	1	17	2	0	0.0	1.0	2.0				2				1	1.67
2	18	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.2	2.2	1.8				2				2	1.67
2	19	1	14-19	3	1	0.25	1.3	1.6				2				1	2.67
2	20	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.0				2				2	0
2	21	1	3-7-8-13-18-21	2	2	0.2	1.2	1.7				2				1	1.67

Quadro 119 Etapas para o nivelamento – Teste 58 (Rateio da folga proporcional a quantidade de recursos)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-9-15-20	0	0	0	5.0	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5-11/18-21/17	4	0	0.0	1.0	2.0				2				1.0	2
4	3	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	1
4	4	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	2-5-11/18-21/17	4	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.0	2
4	6	2	6-12	3	0	0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	2
4	7	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	1
4	8	1	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	1.0	2.0			2.0				2	1.0	1
4	9	1	1-4-9-15-20	0	0	0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	0
4	10	1	10-16 (-2-5)	5	0	3	4.0	0.5			0.5	0.5			0.5	4	2
6	11	3	2-5-11/18-21/17	4	2	2.0	5.0	2.4	1.2			3	1.5			4	3
6	12	3	6-12	3	1	1	4.0	3.0	1.5			3	1.5			4	2
6	13	3	3-7-8-13-18-21	2	0	2.0	5.0	2.4	1.2			3	1.5			4	1
6	14	3	14-19	3	0	1	4.0	3.0	1.5			3	1.5			4	2
6	15	3	1-4-9-15-20	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
2	16	2	10-16 (-2-5)	5	3	0	2.0	2.0				2				2.0	2
2	17	1	17	2	0	0.0	1.0	2.0				2				1	1
2	18	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.0				2				2	1
2	19	1	14-19	3	1	0	1.0	2.0				2				1	2
2	20	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.0				2				2	0
2	21	1	3-7-8-13-18-21	2	2	0.0	1.0	2.0				2				1	1

Quadro 120 Etapas para o nivelamento – Teste 59 (Rateio da folga na atividade de maior recurso)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-4-9-15-20	0	0	0	5.0	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5-11/18-21/17	4	0	2.0	3.0	0.7				1				2.0	2
4	3	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	1
4	4	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	2-5-11/18-21/17	4	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.0	2
4	6	2	6-12	3	0	1	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.67	2
4	7	2	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	1
4	8	1	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1.0	1
4	9	1	1-4-9-15-20	0	0	0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	0
4	10	1	10-16 (-2-5)	5	0	0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	2
6	11	3	2-5-11/18-21/17	4	2	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	3
6	12	3	6-12	3	1	0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	2
6	13	3	3-7-8-13-18-21	2	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	1
6	14	3	14-19	3	0	0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	2
6	15	3	1-4-9-15-20	0	0	0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
2	16	2	10-16 (-2-5)	5	3	3	5.0	0.8				1				4.0	2
2	17	1	17	2	0	0.0	1.0	2.0				2				1	1
2	18	2	3-7-8-13-18-21	2	0	1.0	3.0	1.3				1.5				2.7	1
2	19	1	14-19	3	1	1	2.0	1.0				1				2	2
2	20	2	1-4-9-15-20	0	0	0	2.0	2.0				2				2	0
2	21	1	3-7-8-13-18-21	2	2	1.0	2.0	1.0				1				2	1

Quadro 121 Etapas para o nivelamento – Teste 60 (Rateio da folga na atividade de menor recurso)

A Figura 128 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. Onde se identifica, em cada teste, o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas e algumas se tornaram críticas.

Figura 128 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 18: Testes 55 a 60)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 122. O recurso R01 apresentou aumento gradativo e redução da demanda, com pico inferior ao inicial em todos os testes. O recurso R02 apresentou aumento gradativo e redução da demanda, com pico igual ao da programação inicial no teste 57 e inferior nos demais testes. O recurso R03 apresentou

redução gradativa da demanda com pico inferior ao da programação inicial nos testes 57 e 60, ausência de demanda na 5ª ut nos demais testes. O recurso R04 apresentou oscilação da demanda nos testes 57 e 58 e ausência de demanda na 7ª ut (nos testes 55, 56, 58, 60); e na 6ª ut (nos testes 56 e 60).

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
Inicial R01		6	6	8	12	14	20	14	10	10	6	6	2	2	116
Nivelado R01	Prop dur	5.5	5.5	7.5	7.5	12	18	18	14	11	7	6	2	2	116
	Ativ. > dur	6	6	8	10	11	15	15	12	11	10	6	4	2	116
	Ativ. < dur	5	5	7.5	7.5	11.5	12	18.5	14.5	14	11	7	3	3	119
	Prop rec	5.5	5.5	7.5	7.5	11.5	18	18.5	14.5	13.5	10	6	4	2	124
	Ativ. > rec	6	6	8	9.5	10.5	15	14.5	13	12	10	6	4	2	116
	Ativ. < rec	5	5	7.5	7.5	14	19	19	15	9.5	7	6	3	3	120
Inicial R02					2	4	8	6	4	2	2				30
Nivelado R02	Prop dur					3.5	7.5	7.5	5.5	2	2	2			30
	Ativ. > dur				1.5	3	6	6	4.5	5	2	2			30
	Ativ. < dur					4	4	8	6	6	2	2			32
	Prop rec					3.5	7.5	7.5	5.5	6	2	2			34
	Ativ. > rec				1.5	3	6	6	4.5	5	2	2			30
	Ativ. < rec					4	8	8	6	2	2	2			32
Inicial R03		2	4	6	4		2	2							20
Nivelado R03	Prop dur	2	3.5	5.5	5.5		2	2							20.5
	Ativ. > dur	2	4	6	4		2	2							20
	Ativ. < dur	2	2	5.5	5.5	1.5	2	2							20.5
	Prop rec	2	3.5	5.5	5.5		2	2							20.5
	Ativ. > rec	2	4	6	4		2	2							20
	Ativ. < rec	2	2	5.5	5.5	1.5	2	2							20.5
Inicial R04					2	2			2						6
Nivelado R04	Prop dur					3	1		2						6
	Ativ. > dur				1	3			2						6
	Ativ. < dur					1.5	1.5	0.5	2.5						6
	Prop rec					2.5	2.5		2						7
	Ativ. > rec				0.5	2.5	0.5	0.5	2						6
	Ativ. < rec					4			2						6

Quadro 122 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo)

Análise de dados

O Quadro 123 apresenta uma matriz onde se identifica cada recurso aplicado nas 10 redes do 1º conjunto de testes e os resultados obtidos após a aplicação do nivelamento.

Para essa análise o nivelamento é considerado satisfatório, quando os resultados apresentam uma suavização das flutuações, ou seja, os picos e vales são reduzidos e a frequência em que se repete é minimizada.

		Inicial		Proporcional a duração		> Duração		< Duração		Proporcional ao recurso		> Recurso		< Recurso	
Rede 4	R01	S	8	S	5.5	I	5	S	6	S	6.5	S	6.5	S	7
	R03	I	4	S	4.5	S	3.5	S	4	S	4.5	S	4.5	I	5.5
	R04	I	2	I	1.5	I	2	S	2	I	2	I	2	S	2
Rede 5	R01	I	6	I	4	I	4.5	I	4.5	I	4	I	4.5	I	4.5
	R03	I	4	I	4	S	4	I	4	I	4	S	4	I	4
	R04	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2
Rede 6	R01	I	8	I	5.5	I	6	I	7	I	6	I	5.5	I	7
	R02	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2
	R03	I	6	S	4	I	4	I	5	I	4	I	3.5	S	7
	R04	I	2	S	3	S	2	I	2.5	I	2	S	2	S	2
Rede 9	R01	I	12	I	10	I	10	I	10	I	10	I	10	I	10
	R02	S	6	S	5	S	5	S	5	S	5	S	5	S	5
	R03	S	6	S	4	S	4	S	5	S	4.5	S	4.5	S	4.5
	R04	I	2	S	3.5	I	2	I	2.5	I	2	I	2	I	2
Rede 10	R01	I	8	S	6.5	S	6	I	7	I	7	I	7	I	6.5
	R02	S	2	S	1.5	S	1	S	2	S	2	S	1	S	2
	R03	I	4	I	3.5	I	2.5	I	3.5	I	3	I	3	I	3.5
	R04	I	2	I	2	S	2	I	2	I	2	I	2	I	2
Rede 12	R01	S	10	S	10	I	9	S	11	I	10	I	8	S	10
	R02	S	4	S	3.5	S	2.5	S	4	S	3.5	S	2.5	S	4
	R03	I	4	S	4.5	I	3	S	4.5	I	3.5	I	3	I	3.5
	R04	I	2	S	2	I	4	S	2	I	1.5	I	4	I	3
Rede 15	R01	I	10	I	9	I	9	I	9	I	9	I	9	I	9
	R02	S	4	S	4	S	3.5	S	4	S	4	S	3.5	S	4
	R03	S	6	S	4.5	S	4.5	S	4.5	S	4.5	S	4.5	S	4.5
	R04	I	2	S	2	S	2	S	1.5	S	2	S	2	S	2
Rede 16	R01	I	8	S	6	I	7	I	8	I	7	I	6	I	6.5
	R02	S	4	S	3	S	3	S	4	S	3.5	S	3	S	6
	R03	S	4	S	4	S	4	S	4	S	4.5	S	4.5	S	4.5
	R04	S	4	S	2	S	4	S	1	S	2	S	2	S	3
Rede 17	R01	I	14	I	12.5	I	11.5	I	15.5	I	11.5	I	12	I	14
	R02	S	6	S	4	S	4.5	S	6	S	5	S	4.5	S	6
	R03	S	6	I	4	I	4	S	5	S	4.5	S	4.5	S	4.5
	R04	S	6	I	2.5	I	4	S	3.5	S	4	S	4	S	5
Rede 18	R01	S	20	S	18	S	15	S	18.5	S	18.5	S	14.5	S	19
	R02	S	8	S	7.5	I	6	S	8	I	7.5	I	6	S	8
	R03	I	6	I	5.5	I	6	I	5.5	I	5.5	I	6	I	5.5
	R04	I	2	I	3	I	3	I	2.5	I	2.5	I	2.5	I	4
Nivelamento satisfatório		18	47%	25	66%	19	50%	23	61%	18	47%	20	53%	22	58%
Nivelamento insatisfatório		20	53%	13	34%	19	50%	15	39%	20	53%	18	47%	16	42%

Quadro 123 Resultados de nivelamento do 1º conjunto

Ao analisar os dados dos 60 testes pode-se concluir que o primeiro conjunto realizado nas redes: 04, 05, 06, 09, 10, 12, 15, 16, 17 e 18 apresentaram melhor nivelamento quando as durações das atividades foram relaxadas distribuindo a folga de forma proporcional à duração de cada atividade. Dos 38 recursos nivelados, 25 apresentaram-se uma condição de expectativa de demanda melhor que a inicial. Vale ressaltar que, nenhum dos casos observou-se uma condição inferior a inicial.

Ao analisar os picos de demanda de recurso identifica-se que (Quadro 124):

- o nivelamento realizado rateando a folga para ser adicionada a duração na atividade de maior recurso foi a que apresentou pico menor que a inicial em relação as demais;
- o nivelamento realizado rateando a folga para ser adicionada a duração na atividade de menor duração e menor recurso foram as que apresentaram pico maior que a inicial em relação as demais;
- o nivelamento realizado rateando a folga para ser adicionada a duração na atividade de menor recurso foi a que apresentou pico igual a inicial em relação as demais.

	Proporcional a duração		> Duração		< Duração		Proporcional ao recurso		> Recurso		< Recurso	
Pico igual ao inicial	9	24%	11	29%	15	39%	11	29%	9	24%	15	39%
Pico Maior que o inicial	5	13%	2	5%	6	16%	3	8%	4	11%	6	16%
Pico menor que o inicial	24	63%	25	66%	17	45%	24	63%	25	66%	17	45%

Quadro 124 Pico na demanda de recurso

Conjunto de testes 02

Para analisar o conjunto de testes realizados nas redes 01, 02, 03, 07, 08, 11, 13, 14, 19 e 20 serão apresentados: a topologia de cada rede, onde se identifica a rede inicial e a posterior inserção do *buffer* de alimentação (BA), variando em 10%, 20%, 30%, 40% e 50%; o gráfico de Gantt inicial e o resultante de cada teste; as etapas para o nivelamento; e, finalmente, o histograma inicial e o resultante com o nivelamento após a inserção dos *buffers*. Vale ressaltar que o relaxamento das redes desse conjunto será realizado com a melhor regra apresentado no conjunto 01, que foi o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade das cadeias não-críticas.

Rede 01 (testes 01 a 05)

A rede 01 é formada por 7 atividades com densidade 1,17 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 129 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 129 Rede lógica com e sem *buffer* (Testes 01 a 05)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (2-5), a qual alimenta a cadeia crítica 1-3-4-6-7;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações relaxadas para a mesma duração da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-3-4-6-7 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2-5 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica 2-5) a duração da rede lógica da configuração 01 não sofreu alteração da cadeia crítica.

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 01, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 125 ao Quadro 129 apresentam os dados de cálculo para a rede 01 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	3.7	0	1.23	2.23	0.9				1				2	0.7
4	3	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2				2	0
4	4	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2				2	0
4	5	2	2-5	3.7	3.7	2.46	4.46	0.9	0.9			1				4	0.7
4	6	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2				2	0
4	7	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2				2	0

Quadro 125 Etapas para o nivelamento – Teste 01 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	3.4	0	1.13	2.13	0.9				1				2	0.4
4	3	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	4	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	2-5	3.4	3.4	2.26	4.26	0.9	0.9			1	1			4	0.4
4	6	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	7	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0

Quadro 126 Etapas para o nivelamento – Teste 02 (*buffer* de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	3.1	0	1.03	2.03	1.0				1				2	0.1
4	3	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	4	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	2-5	3.1	3.1	2.06	4.06	1.0	1.0			1	1			4	0.1
4	6	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	7	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0

Quadro 127 Etapas para o nivelamento – Teste 03 (*buffer* de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	2.8	0	0.9	1.9	1.1				1.5				1.3	1.8
4	3	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	4	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	2-5	2.8	2.8	1.8	3.8	1.1	1.1	1.5	1.5					2.7	1.8
4	6	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	7	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0

Quadro 128 Etapas para o nivelamento – Teste 04(buffer de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	2.5	0	0.8	1.8	1.1				1.5				1.3	1.5
4	3	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	4	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	5	2	2-5	2.5	2.5	1.7	3.7	1.1	1.1	1.5	1.5					2.7	1.5
4	6	2	1-3-6	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	7	2	4-7	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2	0

Quadro 129 Etapas para o nivelamento – Teste 05(buffer de alimentação de 50%)

A Figura 130 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades (2) e (5) e ainda possuem folga, barras cor azul em todos os testes. As atividades em vermelho se tornaram críticas consumindo sua folga ou já pertenciam à cadeia crítica.

Figura 130 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 01: Testes 01 a 05)

O prazo final da rede 01 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada teste podem ser identificados no Quadro 130. O recurso R01 não sofreu alteração até a inserção de 20% do *buffer* de alimentação, se apresentando nivelado com pico de 5ur. Com a inserção do *buffer* de 30%, 40% e 50% o recurso R01 apresentou oscilações. Já o recurso R03 se manteve constante e nivelado até a inserção de 30% do *buffer*, apresentando um vale na 5ª ut após a inserção do *buffer* de 40 e 50%.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	45
Inicial R01	0%	4	4	4	2	2	4	4	4	4	32
	10%	3	3	3	3	3	5	4	4	4	32
Nivelado R01 buffer	20%	3	3	3	3	3	5	4	4	4	32
	30%	3.5	3.5	3	3	3	5	4	4	4	33
	40%	3.5	3.5	3.5	3.5	2	4	4	4	4	32
	50%	3.5	3.5	3.5	3.5	2	4	4	4	4	32
	50%	3.5	3.5	3.5	3.5	2	4	4	4	4	32
Inicial R03	0%			1	1	1	5	4	4	4	20
	10%			1	1	1	5	4	4	4	20
Nivelado R03 buffer	20%			1	1	1	5	4	4	4	20
	30%			1	1	1	5	4	4	4	20
	40%		1.5	1.5	1.5		4	4	4	4	20.5
	50%		1.5	1.5	1.5		4	4	4	4	20.5
	50%		1.5	1.5	1.5		4	4	4	4	20.5

Quadro 130 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01 e R03

Rede 02 (testes 06 a 10)

A rede 02 é formada por 8 atividades com densidade 1,33 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 131 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 131 Rede lógica com e sem *buffer* (Testes 06 a 10)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (2-4 e 5), a qual alimenta a cadeia crítica 1-3-6-8;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações aumentadas para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-3-6-8 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2-4 e 5 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica 2-4 e 5) a duração da rede lógica da configuração 02 não sofreu alteração da cadeia crítica.

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 02, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 131 ao

Quadro 135 apresentam os dados de cálculo para a rede 02 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6-8	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-4	3.7	0	1.23	2.23	0.9				1				2	0.3
4	3	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	2-4	3.7	3.7	2.46	4.46	0.9	0.9			1	1			4	0
4	5	2	5	5.8	5.8	4.57	6.57	0.6	0.6			1	1			4	2.1
4	6	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5		1.5		2.7	0.3
4	8	1	1-3-6-8	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 131 Etapas para o nivelamento – Teste 06 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6-8	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-4	3.4	0	1.13	2.13	0.9				1				2	0.4
4	3	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	2-4	3.4	3.4	2.26	4.26	0.9	0.9			1	1			4	0.4
4	5	2	5	5.6	5.6	4.47	6.47	0.6	0.6			1	1			4	2.6
4	6	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5		1.5		2.7	0.33
4	8	1	1-3-6-8	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 132 Etapas para o nivelamento – Teste 07 (*buffer* de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6-8	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-4	3.1	0	1.03	2.03	1.0				1				2	0.1
4	3	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	2-4	3.1	3.1	2.06	4.06	1.0	1.0			1	1			4	0.1
4	5	2	5	5.4	5.4	4.37	6.37	0.6	0.6			1	1			4	2.4
4	6	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5		1.5		2.7	0.33
4	8	1	1-3-6-8	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 133 Etapas para o nivelamento – Teste 08 (*buffer* de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6-8	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-4	2.8	0	0.9	1.9	1.1				1				2	0.1
4	3	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	2-4	2.8	2.8	1.83	3.83	1.0	1.0			1	1			4	0.1
4	5	2	5	5.2	5.2	4.3	6.3	0.6	0.6			1	1			4	2.4
4	6	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5		1.5		2.7	0.33
4	8	1	1-3-6-8	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 134 Etapas para o nivelamento – Teste 09 (*buffer* de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6-8	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-4	2.5	0	0.80	1.80	1.1				1.5				1.3	1.5
4	3	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	4	2	2-4	2.5	2.5	1.70	3.70	1.1	1.1			1.5	1.5			2.7	1.5
4	5	2	5	5	5	4.20	6.20	0.6	0.6			1	1			4	2.7
4	6	2	1-3-6-8	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5		1.5		2.7	0.33
4	8	1	1-3-6-8	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 135 Etapas para o nivelamento – Teste 10 (*buffer* de alimentação de 50%)

A Figura 132 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades (2), (4) e (5) ainda possuem folga, barras cor azul em todos os testes, a atividade (7) passou a ser crítica após o nivelamento do teste 06 (*buffer* 10%), possuindo folga nos demais testes.

Figura 132 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 02: Testes 06 a 10)

O prazo final da rede 02 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser identificado no Quadro 136. O recurso R 01 após a inserção dos *buffers* de alimentação de 10% até o de 30% apresentou o mesmo resultado, com vale na 7ª ut. A inserção do *buffer* de 40% ocasionou um aumento deste recurso na 1ª e 2ª ut, com vale na 7ª ut. Com o *buffer* de 50% os resultados se alteraram apresentando o maior pico de 4.5 ur. Esse recurso, em todos os casos, apresentou oscilação, pico e vale. Já o recurso R03 manteve o mesmo resultado com a inserção de 10%, 20% e 30% do *buffer*, apresentando um vale na 7ª ut em todos os casos e na 5ª ut no teste 10. O recurso R04 se manteve constante e com um nivelamento satisfatório em todos os casos, inclusive na programação inicial.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Inicial R01	0%	4	6	6	2	2	2	2	4	4	2	34
Nivelado R01	10%	3	3	4	4	4	4	2	3.5	3.5	3.5	34.5
	20%	3	3	4	4	4	4	2	3.5	3.5	3.5	34.5
	30%	3	3	4	4	4	4	2	3.5	3.5	3.5	34.5
	40%	3.5	4	4	4	4	4	2	3.5	3.5	3.5	36
	50%	3.5	4.5	4.5	4.5	3	3	2	3.5	3.5	3.5	35.5
Inicial R03	0%		4	4			2	2	4	4		20
Nivelado R03	10%			2	2	2	4	2	3.5	3.5	1.5	20.5
	20%			2	2	2	4	2	3.5	3.5	1.5	20.5
	30%			2	2	2	4	2	3.5	3.5	1.5	20.5
	40%		2	2	2	2	4	2	3.5	3.5	1.5	22.5
	50%		2.5	2.5	2.5	1	3	2	3.5	3.5	1.5	22
Inicial R04	0%										2	2
Nivelado R04	10%										2	2
	20%										2	2
	30%										2	2
	40%										2	2
	50%										2	2

Quadro 136 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R03 e R04

Rede 03 (testes 11 a 15)

A rede 03 é formada por 9 atividades com densidade 1,12 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 133 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 133 Rede lógica com e sem *buffer* (Testes 11 a 15)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (3-6), a qual alimenta a cadeia crítica 1-2-5-7-9;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-2-5-7-9 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 3-6 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica 3-6) a duração da rede lógica da configuração 03 sofreu alteração da cadeia crítica nos testes 13(30%), 14 (40%) e 15 (50%).

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 03, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 137 ao Quadro 141 apresentam os dados de cálculo para a rede 03 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-9	0	0	0.00	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-5-7-9	0	0	0.00	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-6	0.6	0	0.30	2.3	1.7	1.7			2				2	0.6
4	4	2	4-8	2	0	1.30	3.30	1.2	1.2			1.5		1.5		2.7	1
4	5	2	1-2-5-7-9	0	0	0.00	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	3-6	0.6	0.6	0.30	2.3	1.7	1.7			2		2		2	0.6
4	7	2	1-2-5-7-9	0	0	0.00	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	8	1	4-8	2	2	0.70	1.70	1.2			1.2	1.5			1.5	1.3	1
4	9	1	1-2-5-7-9	0	0	0.00	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 137 Etapas para o nivelamento – Teste 11 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-9	0	0	0.00	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-5-7-9	0	0	0.00	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-6	0.2	0	0.10	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0.2
4	4	2	4-8	2	0	1.30	3.30	1.2		1.2		1.5		1.5		2.7	1
4	5	2	1-2-5-7-9	0	0	0.00	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	3-6	0.2	0.2	0.10	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0.2
4	7	2	1-2-5-7-9	0	0	0.00	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	8	1	4-8	2	2	0.70	1.70	1.2			1.2	1.5			1.5	1.3	1
4	9	1	1-2-5-7-9	0	0	0.00	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 138 Etapas para o nivelamento – Teste 12 (buffer de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-9	0	0	0.00	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-5-7-9	0	0	0.00	1	2.0				2				1	0
4	3	2	3-6	0.2	0	0.10	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0.2
4	4	2	4-8	2	0	1.30	3.30	1.2		1.2		1.5		1.5		2.7	1
4	5	2	1-2-5-7-9	0	0	0.00	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	3-6	0.2	0.2	0.10	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0.2
4	7	2	1-2-5-7-9	0	0	0.00	2	2.0		2.0		2		2		2	0
4	8	1	4-8	2	2	0.70	1.70	1.2			1.2	1.5			1.5	1.3	1
4	9	1	1-2-5-7-9	0	0	0.00	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 139 Etapas para o nivelamento – Teste 13 (buffer de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-9	0	0	0.00	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-5-7-9	0.6	0	0.15	1.15	1.7				2				1	0.6
4	3	2	3-6	0	0	0.00	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	4	2	4-8	2.6	0	1.73	3.73	1.1		1.1		1.5		1.5		2.7	1.6
4	5	2	1-2-5-7-9	0.6	0	0.30	2.3	1.7		1.7		2		2		2	0.6
4	6	2	3-6	0	0	0.10	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0
4	7	2	1-2-5-7-9	0.6	0.6	0.15	2.15	1.9		1.9		2		2		2	0.6
4	8	1	4-8	2.6	2.6	0.87	1.87	1.1			1.1	1.5			1.5	1.3	1.6
4	9	1	1-2-5-7-9	0	0	0.00	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 140 Etapas para o nivelamento – Teste 14 (buffer de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-9	0	0	0.00	5	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-5-7-9	1	0	0.25	1.25	1.6				2				1	0.6
4	3	2	3-6	0	0	0.00	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	4	2	4-8	3	0	2.00	4.00	1.0		1.0		1		1		4.0	1.6
4	5	2	1-2-5-7-9	1	0	0.50	2.5	1.6		1.6		2		2		2	0.6
4	6	2	3-6	0	0	0.10	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0
4	7	2	1-2-5-7-9	1	0.6	0.50	2.5	1.6		1.6		2		2		2	0.6
4	8	1	4-8	3	2.6	1.00	2.00	1.0			1.0	1			1	2.0	1.6
4	9	1	1-2-5-7-9	0	0	0.00	1	2.0			2.0	2			2	1	0

Quadro 141 Etapas para o nivelamento – Teste 15 (buffer de alimentação de 50%)

A Figura 134 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades na cor azul ainda possuem folga, as atividades em vermelho se tornaram críticas consumindo sua folga ou pertenciam à cadeia crítica.

Figura 134 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 03: Testes 11 a 15)

O prazo final da rede 03 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser identificado no Quadro 142. O recurso R01 após a inserção dos *buffers* de alimentação de 10% e 20% apresentou o mesmo resultado. A inserção do *buffer* de 30%, 40% e 50% aumentou 1 ut o prazo da rede e conseqüentemente solicitou demanda de recurso nesse período. O recurso R03 se manteve constante nos testes 11 a 14. Sendo que o teste 15 apresentou o menor pico. O recurso R04 apresentou o mesmo resultado nos testes 11(10%) e 12(20%), exigindo uma demanda de 2ur no 12º ut nos testes 13(30%) e 14(40%). A inserção do *buffer* de 50% apresentou o maior pico desse recurso e a postergação de sua utilização para o 11º e 12º período.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inicial R01	0%	2	2	2	2	2	4	6	6	6	2	2		36
	10%	2	2	2	2	2	4	5.5	5.5	5.5	3.5	2		36
	20%	2	2	2	2	2	4	5.5	5.5	5.5	3.5	2		36
	30%	2	2	2	2	2	4	5.5	5.5	5.5	3.5	2	2	38
	40%	2	2	2	2	2	4	5.5	5.5	5.5	3.5	2	2	38
	50%	2	2	2	2	2	4	5	5	5	3	1	3	36
Inicial R03	0%						2	6	6	4	2			20
	10%						2	5.5	5.5	5.5	2			20.5
	20%						2	5.5	5.5	5.5	2			20.5
	30%						2	5.5	5.5	5.5	2			20.5
	40%						2	5.5	5.5	5.5	2			20.5
	50%						2	5	5	5	3			20
Inicial R04	0%									2		2		4
	10%									1.5	1.5	2		5
	20%									1.5	1.5	2		5
	30%									1.5	1.5	2	2	7
	40%									1.5	1.5	2	2	7
	50%										1	3	4	4

Quadro 142 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R03 e R04

Rede 07 (testes 16 a 20)

A rede 07 é formada por 10 atividades com densidade 1,67 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 135 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 135 Rede lógica com e sem *buffer* (Testes 16 a 20)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (2 e 4), a qual alimenta a cadeia crítica 1-5-6-9;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram sua duração aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-2-5-7-9 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2 e 4 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica) a duração da rede lógica da configuração 07 sofreu alteração da cadeia crítica nos testes 13(30%), 14 (40%) e 15 (50%).

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 07, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 143 ao Quadro 147 apresentam os dados de cálculo para a rede 07 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-6-9	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2	5.7	5.7	5.7	6.7	0.3				0.5				4.0	2.7
4	3	2	3	7	6	6	8	0.5	0.5			0.5	0.5			8.0	0.7
4	4	2	4	1.8	1.8	1.8	3.8	1.1	1.1			1.5	1.5			2.7	1.13
4	5	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	6	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2			2.0	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3	1.3			1.5	1.5			2.7	0.3
4	8	1	8-10	1	0	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3
4	9	1	1-5-6-9	0	0	0	1	2.0				2				2	1.0
4	10	1	8-10	1	1	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3

Quadro 143 Etapas para o nivelamento – Teste 16 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-6-9	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2	4.8	4.8	4.8	5.8	0.3				0.5				4.0	2.8
4	3	2	3	7	6	6	8	0.5		0.5		0.5		0.5		8.0	0.7
4	4	2	4	1.8	1.8	1.8	3.8	1.1		1.1		1.5		1.5		2.7	0.9
4	5	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.3
4	8	1	8-10	1	0	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3
4	9	1	1-5-6-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1.0	0
4	10	1	8-10	1	1	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3

Quadro 144 Etapas para o nivelamento – Teste 17 (buffer de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-6-9	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2	5.7	5.7	5.7	6.7	0.3				0.5				4.0	2.7
4	3	2	3	7	6	6	8	0.5		0.5		0.5		0.5		8.0	0.7
4	4	2	4	1.4	1.4	1.4	3.4	1.2		1.2		1.5		1.5		2.7	0.7
4	5	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.3
4	8	1	8-10	1	0	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3
4	9	1	1-5-6-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1.0	0
4	10	1	8-10	1	1	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3

Quadro 145 Etapas para o nivelamento – Teste 18 (buffer de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-6-9	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2	5.6	5.6	5.6	6.6	0.3				0.5				4.0	2.6
4	3	2	3	7	6	6	8	0.5		0.5		0.5		0.5		8.0	0.7
4	4	2	4	1.2	1.2	1.2	3.2	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.5
4	5	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.3
4	8	1	8-10	1	0	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3
4	9	1	1-5-6-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1.0	0
4	10	1	8-10	1	1	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3

Quadro 146 Etapas para o nivelamento – Teste 19 (buffer de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-6-9	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2	5.5	5.5	5.5	6.5	0.3				0.5				4.0	2.5
4	3	2	3	7	6	6	8	0.5		0.5		0.5		0.5		8.0	0.7
4	4	2	4	1	1	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.3
4	5	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	1-5-6-9	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	7	2	7	1	1	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.3
4	8	1	8-10	1	0	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3
4	9	1	1-5-6-9	0	0	0	1	2.0			2.0	2			2	1.0	0
4	10	1	8-10	1	1	0.5	1.5	1.3			1.3	1.5			1.5	1.3	0.3

Quadro 147 Etapas para o nivelamento – Teste 20 (buffer de alimentação de 50%)

A Figura 136 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades (2), (3), (4), (7), (8), e (10) ainda possuem folga, barras cor azul em todos os testes. As atividades em vermelho se tornaram críticas consumindo sua folga ou pertenciam à cadeia crítica.

Figura 136 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 07: Testes 16 a 20)

O prazo final da rede 07 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser identificado no Quadro 148. Os recursos R01, R03 e R04 após a inserção dos *buffers* de alimentação de 10% até o de 50% apresentaram o mesmo resultado. O recurso R01 apresenta um vale na 5ª ut. Já o R03 e R04 apresentam um nivelamento satisfatório.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Inicial R01	0%	6	4	2	2	2	4	4	6	6	2	38
	10%	3	3	3	3	2.5	4	4	7	5	5	39.5
	20%	3	3	3	3	2.5	4	4	7	5	5	39.5
	30%	3	3	3	3	2.5	4	4	7	5	5	39.5
	40%	3	3	3	3	2.5	4	4	7	5	5	39.5
	50%	3	3	3	3	2.5	4	4	7	5	5	39.5
Inicial R03	0%	2	2				4	4	4	4		20
	10%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4	4	5.5	3.5	1.5	21
	20%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4	4	5.5	3.5	1.5	21
	30%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4	4	5.5	3.5	1.5	21
	40%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4	4	5.5	3.5	1.5	21
	50%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4	4	5.5	3.5	1.5	21
Inicial R04	0%								2	2	2	6
	10%								1.5	1.5	3.5	6.5
	20%								1.5	1.5	3.5	6.5
	30%								1.5	1.5	3.5	6.5
	40%								1.5	1.5	3.5	6.5
	50%								1.5	1.5	3.5	6.5

Quadro 148 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R03 e R04

Rede 8 (testes 21 a 25)

A rede 08 é formada por 11 atividades com densidade 1,10 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 137 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 137 Rede Lógica 8 com e sem Buffer (Testes 21 a 25)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (3-6-8 e 4-9), a qual alimenta a cadeia crítica 1-2-5-7-10-11;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-2-5-7-10-11 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 3-6-8 e 4-9 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica 3-6-8 e 4-9) a duração da rede lógica da configuração 08 não sofreu alteração da cadeia crítica.

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 08, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 149 ao Quadro 153 apresentam os dados de cálculo para a rede 8 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-10-11	0	0	0	5	2,0				2				5,0	0
2	2	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2,0				2				1,0	0
4	3	2	3-6-8	4,5	0	1,8	4	1,1		1,1		1,5		1,5		2,7	2,8
4	4	2	4-9	7,7	0	5,1	7,1	0,6		0,6		1		1		4,0	4,7
4	5	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2,0		2,0		2		2		2,0	0
4	6	2	3-6-8	4,5	0	2	3,8	1,1		1,1		1,5		1,5		2,7	2,8
4	7	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2,0		2,0		2		2		2,0	0
4	8	1	3-6-8	4,5	4,5	0,9	1,9	1,1			1,1	1,5			1,5	1,3	2,8
4	9	1	4-9	7,7	7,7	2,6	3,6	0,6			0,6	1			1	2,0	4,7
4	10	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2,0			2,0	2			2	1,0	0
6	11	3	1-2-5-7-10-11	0	0	0	3	4,0	2,0			4	2			3,0	0

Quadro 149 Etapas para o nivelamento – Teste 21 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-10-11	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2.0				2				1.0	0
4	3	2	3-6-8	4	0	1.6	4	1.1		1.1		1.5		1.5		2.7	2.3
4	4	2	4-9	7.4	0	4.9	6.9	0.6		0.6		1		1		4.0	4.4
4	5	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	3-6-8	4	0	1.6	3.6	1.1		1.1		1.5		1.5		2.7	2.3
4	7	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	8	1	3-6-8	4	4	0.8	1.8	1.1				1.1		1.5		1.3	2.3
4	9	1	4-9	7.4	7.4	2.5	3.5	0.6				0.6		1		2.0	4.4
4	10	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2.0				2		2		1.0	0
6	11	3	1-2-5-7-10-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3.0	0

Quadro 150 Etapas para o nivelamento – Teste 22 (buffer de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-10-11	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2.0				2				1.0	0
4	3	2	3-6-8	3.5	0	1.4	3	1.2		1.2		1.5		1.5		2.7	2.7
4	4	2	4-9	7.1	0	4.7	6.7	0.6		0.6		1		1		4.0	4.1
4	5	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	3-6-8	3.5	0	1.4	3.4	1.2		1.2		1.5		1.5		2.7	1.8
4	7	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	8	1	3-6-8	3.5	3.5	0.7	1.7	1.2				1.2		1.5		1.3	1.8
4	9	1	4-9	7.1	7.1	2.4	3.4	0.6				0.6		1		2.0	4.1
4	10	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2.0				2.0		2		1.0	0
6	11	3	1-2-5-7-10-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3.0	0

Quadro 151 Etapas para o nivelamento – Teste 23 (buffer de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-10-11	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2.0				2				1.0	0
4	3	2	3-6-8	3	0	1.2	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	1.3
4	4	2	4-9	6.8	0	4.5	6.5	0.6		0.6		1		1		4.0	3.8
4	5	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	3-6-8	3	0	1.2	3.2	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	1.3
4	7	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	8	1	3-6-8	3	3	0.6	1.6	1.3				1.3		1.5		1.3	1.3
4	9	1	4-9	6.8	6.8	2.3	3.3	0.6				0.6		1		2.0	3.8
4	10	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2.0				2.0		2		1.0	0
6	11	3	1-2-5-7-10-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3.0	0

Quadro 152 Etapas para o nivelamento – Teste 24 (buffer de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-7-10-11	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2.0				2				1.0	0
4	3	2	3-6-8	2.5	0	1.0	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.8
4	4	2	4-9	6.5	0	4.3	6.3	0.6		0.6		1		1		4.0	3.5
4	5	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	3-6-8	2.5	0	1.0	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.8
4	7	2	1-2-5-7-10-11	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	8	1	3-6-8	2.5	2.5	0.5	1.5	1.3				1.3		1.5		1.3	0.8
4	9	1	4-9	6.5	6.5	2.2	3.2	0.6				0.6		1		2.0	3.5
4	10	1	1-2-5-7-10-11	0	0	0	1	2.0				2.0		2		1.0	0
6	11	3	1-2-5-7-10-11	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3.0	0

Quadro 153 Etapas para o nivelamento – Teste 25 (buffer de alimentação de 50%)

A Figura 138 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades (3), (4) (6), (8) e (9) e ainda possuem folga, barras cor azul em todos os testes. As atividades em vermelho se tornaram críticas consumindo sua folga ou pertenciam à cadeia crítica.

Figura 138 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 08: Testes 21 a 25)

O prazo final da rede 08 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser identificado no Quadro 154. Os recursos R01, R02, R03 e R04 após a inserção dos *buffers* de alimentação de 10% até o de 50% apresentaram o mesmo resultado. Os recursos apresentam um vale: R01, da 7ª a 11ª ut; R03, da 5ª e 6ª ut; e R04, da 8ª a 11ª ut, já o recurso R02 apresentou um nivelamento satisfatório.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
Inicial R01	0%	6	6	6	4	4	2	2	2	2	2	2	4	4	4	50
Nivelado R01	10%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	2	2	2	2	4	4	4	50.5
	20%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	2	2	2	2	4	4	4	50.5
	30%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	2	2	2	2	4	4	4	50.5
	40%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	2	2	2	2	4	4	4	50.5
	50%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	2	2	2	2	4	4	4	50.5
Inicial R02	0%												2	2	2	6
Nivelado R02	10%												2	2	2	6
	20%												2	2	2	6
	30%												2	2	2	6
	40%												2	2	2	6
	50%												2	2	2	6
Inicial R03	0%	4	4	2	2			2	2	2	2					20
Nivelado R03	10%	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2	2	2	2					21
	20%	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2	2	2	2					21
	30%	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2	2	2	2					21
	40%	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2	2	2	2					21
	50%	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2	2	2	2					21
Inicial R04	0%		2		2								2			6
Nivelado R04	10%				1	2.5	1.5					2				7
	20%				1	2.5	1.5					2				7
	30%				1	2.5	1.5					2				7
	40%				1	2.5	1.5					2				7
	50%				1	2.5	1.5					2				7

Quadro 154 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04

Rede 11 (testes 26 a 30)

A rede 11 é formada por 14 atividades com densidade 1,56 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 139 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 139 Rede Lógica 11 com e sem Buffer (Testes 26 a 30)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (2-5, 6 e 2-8), a qual alimenta a cadeia crítica 1-3-4-7-10-11-12;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-3-4-7-10-11-12 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2-5, 6, 2-8 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica) a duração da rede lógica da configuração 11 não sofreu alteração da cadeia crítica. As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 11, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 155 ao Quadro 159 apresentam os dados de cálculo para a rede 11 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	5	2,0				2				5	0
2	2	1	2-5	4	0	1,2	2,2	0,9				1				2,0	0,8
4	3	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2,0				2				2	0
4	4	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2,0				2				2	0
4	5	2	2-5	4	3,7	2,5	4,5	0,9				1				4,0	0,8
4	6	2	6	0,8	0,8	0,8	2,8	1,43				1,5				2,7	0,13
4	7	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2,0				2				2	0
4	8	1	4	6,8	6,8	5,6	6,6	0,3				0,3	0,5			4	2,8
4	9	1	9	2	2	2	3	0,7				0,7	1			2	1
4	10	1	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	1	2,0				2,0				1	0
6	11	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0		3	4,0	2,0			4	2			3	0
6	12	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0		3	4,0	2,0			4	2			3	0
6	13	3	13	1	1	1	4	3,0	1,5			3	1,5			4	0
6	14	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0		3	4,0	2,0			4	2			3	0

Quadro 155 Etapas para o nivelamento – Teste 26 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	4	0	1.1	2.1	0.9				1				2.0	1
4	3	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	4	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	5	2	2-5	4	3.4	2.3	4.3	0.9				1	1			4.0	1
4	6	2	6	0.6	0.6	0.6	2.6	1.54	1.54			2	2			2.0	0.6
4	7	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	8	1	4	6.6	6.6	5.5	6.5	0.3				0.3	0.5	0.5		4	2.6
4	9	1	9	2	2	2	3	0.7				0.7	1	1		2	1
4	10	1	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	1	2.0				2.0	2	2		1	0
6	11	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	12	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	13	1	1	1	4	3.0	1.5			3	1.5			4	0
6	14	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0

Quadro 156 Etapas para o nivelamento – Teste 27 (buffer de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	3.5	0	1.0	2.0	1.0				1				2.0	0.5
4	3	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	4	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	5	2	2-5	3.5	3.1	2.1	4.1	1.0	1.0			1	1			4.0	0.5
4	6	2	6	0.4	0.4	0.4	2.4	1.7	1.7			2	2			2	0.4
4	7	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	8	1	4	6.4	6.4	5.4	6.4	0.3				0.3	0.5	0.5		4	2.4
4	9	1	9	2	2	2	3	0.7				0.7	1	1		2	1
4	10	1	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	1	2.0				2.0	2	2		1	0
6	11	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	12	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	13	1	1	1	4	3.0	1.5			3	1.5			4	0
6	14	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0

Quadro 157 Etapas para o nivelamento – Teste 28 (buffer de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	3	0	0.9	1.9	1.03				1.5				1.3	2
4	3	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	4	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	5	2	2-5	3	2.8	1.9	3.9	1.03	1.03			1.5	1.5			2.7	2
4	6	2	6	0.2	0.2	0.2	2.2	1.8	1.8			2	2	2		2	0.2
4	7	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	8	1	4	6.2	6.2	5.3	6.3	0.3				0.3	0.5	0.5		4	2.9
4	9	1	9	2	2	2	3	0.7				0.7	1	1		2	1
4	10	1	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	1	2.0				2.0	2	2		1	0
6	11	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	12	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	13	1	1	1	4	3.0	1.5			3	1.5			4	0
6	14	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0

Quadro 158 Etapas para o nivelamento – Teste 29 (buffer de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	5	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	2.5	0	0.8	1.8	1.1				1.5				1.3	1.5
4	3	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	4	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	5	2	2-5	2.5	2.5	1.7	3.7	1.1	1.1			1.5	1.5			2.7	1.5
4	6	2	6	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	7	2	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	2	2.0	2.0			2	2	2		2	0
4	8	1	4	6	6	5.2	6.2	0.3				0.3	0.5	0.5		4	2.7
4	9	1	9	2	2	2	3	0.7				0.7	1	1		2	1
4	10	1	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	1	2.0				2.0	2	2		1	0
6	11	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	12	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	13	1	1	1	4	3.0	1.5			3	1.5			4	0
6	14	3	1-3-4-7-10-11-12-14	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3	0

Quadro 159 Etapas para o nivelamento – Teste 30 (buffer de alimentação de 50%)

A Figura 140 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades (2), (6), (7), (9) e (10) ainda possuem folga, barras cor azul em todos os testes. As atividades em vermelho se tornaram críticas consumindo sua folga ou pertenciam à cadeia crítica.

Figura 140 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 11: Testes 26 ao 30)

O prazo final da rede 11 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser identificado no Quadro 160. O recurso R01 após a inserção dos *buffers* de alimentação de 10% e 20% apresentou o mesmo resultado. A inserção do *buffer* de 10%, 20% e 30% apresentou um vale na 7ª ut. Com a inserção dos *buffers* de 40% e 50% o histograma apresentou um vale na 5ª e 7ª ut. O recurso R02 apresentou o mesmo resultado em todos os testes. O recurso R03 apresentou um nivelamento satisfatório com a inserção dos *buffers* de 10% e 40%. Já o recurso R04 não apresentou um nivelamento satisfatório em nenhum dos casos, mostrando uma ausência da demanda na 5ª ut.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inicial R01	0%	6	8	10	14	14	16	6	12	8	8	4	2	108
Nivelado R01	10%	5	5	9	11	13	14.5	9.5	13.5	13.5	8	4	2	108
	20%	5	5	9	11	13	14.5	9.5	13.5	13.5	8	4	2	108
	30%	5	5	9	11	13	14.5	9.5	13.5	13.5	8	4	2	108
	40%	5.5	7.5	9.5	13.5	12	14	10	14	12	8	4	2	112
	50%	5.5	7.5	9.5	13.5	12	14	10	14	12	8	4	2	112
Inicial R02	0%				6	6	6		4	4	4			30
Nivelado R02	10%				3	5	5	3	5	5	4			30
	20%				3	5	5	3	5	5	4			30
	30%				3	5	5	3	5	5	4			30
	40%				5	5	5	3	5	5	4			32
	50%				5	5	5	3	5	5	4			32
Inicial R03	0%	2	6	4			4	4						20
Nivelado R03	10%	2	2	3	3	1	4.5	3.5	1.5					20.5
	20%	2	2	3	3	1	4.5	3.5	1.5					20.5
	30%	2	2	3	3	1	4.5	3.5	1.5					20.5
	40%	2	5.5	3.5	3.5		4	4						22.5
	50%	2	5.5	3.5	3.5		4	4						22.5
Inicial R04	0%			4					2					6
Nivelado R04	10%			4					1.5	1.5				7
	20%			4					1.5	1.5				7
	30%			4					1.5	1.5				7
	40%			4					2					6
	50%			4					2					6

Quadro 160 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04

Rede 13 (testes 31 a 35)

A rede 13 é formada por 18 atividades com densidade 1,50 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 141 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 141 Rede lógica com e sem *buffer* (Testes 31 a 35)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (2-6 e 4-10), a qual alimenta a cadeia crítica 1-5-11-16;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-5-11-16 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2-6 e 4-10 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica) a duração da rede lógica da configuração 13 não sofreu alteração da cadeia crítica.

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 13, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 161 ao Quadro 165 apresentam os dados de cálculo para a rede 13 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-16	0	0	0.0	5.0	2.0				2				5.00	0
2	2	1	2-6	3.7	0	1.2	2.2	0.9				1				2.00	0.7
4	3	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.6		1.6		2		2		2.00	2
4	4	2	4-10	1.7	0	1.1	3.1	1.3		1.3		1.5		1.5		2.67	0.7
4	5	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	6	2	2-6	3.7	3.7	2.5	4.5	0.9		0.9		1		1		4.00	0.7
4	7	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.6		1.6		2		2		2.00	3
4	8	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.6			1.6	2			2	1.00	4
4	9	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.6			1.6	2			2	1.00	2
4	10	1	4-10	1.7	1.7	0.6	1.6	1.3			1.3	1.5			1.5	1.33	0.7
6	11	3	1-5-11-16	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3.00	0
6	12	3	12-17	1	0	0.8	3.8	3.2	1.6			4	2			3.00	1
6	13	3	3	5	4	4.0	7.0	1.7	0.9			2	1			6.00	2
6	14	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.1	1.6			4	2			3.00	3
6	15	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.1	1.6			4	2			3.00	4
2	16	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.0				2				2.00	0
2	17	1	12-17	1	1	0.3	1.3	1.6				2				1.00	1
2	18	2	3-7-8-9-14-15-18	4	4	0.6	2.6	1.6				2				2.00	3

Quadro 161 Etapas para o nivelamento – Teste 31 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-16	0	0	0.0	5.0	2.0				2				5.00	0
2	2	1	2-6	3.4	0	1.1	2.1	0.9				1				2.00	0.4
4	3	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.6		1.6		2		2		2.00	2
4	4	2	4-10	1.4	0	0.9	2.9	1.4		1.4		1.5		1.5		2.67	0.4
4	5	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	6	2	2-6	3.4	3.4	2.3	4.3	0.9		0.9		1		1		4.00	0.4
4	7	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.6		1.6		2		2		2.00	3
4	8	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.6			1.6	2			2	1.00	4
4	9	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.6			1.6	2			2	1.00	2
4	10	1	4-10	1.4	1.4	0.5	1.5	1.4			1.4	1.5			1.5	1.33	0.4
6	11	3	1-5-11-16	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3.00	0
6	12	3	12-17	1	0	0.8	3.8	3.2	1.6			4	2			3.00	1
6	13	3	3	5	4	4.0	7.0	1.7	0.9			2	1			6.00	2
6	14	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.1	1.6			4	2			3.00	3
6	15	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.1	1.6			4	2			3.00	4
2	16	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.0				2				2.00	0
2	17	1	12-17	1	1	0.3	1.3	1.6				2				1.00	1
2	18	2	3-7-8-9-14-15-18	4	4	0.6	2.6	1.6				2				2.00	3

Quadro 162 Etapas para o nivelamento – Teste 32 (*buffer* de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-16	0	0	0.0	5.0	2.0				2				5.00	0
2	2	1	2-6	3.1	0	1.0	2.0	1.0				1				2.00	0.1
4	3	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.6		1.6		2		2		2.00	2
4	4	2	4-10	1.1	0	0.7	2.7	1.5		1.5		1.5		1.5		2.67	0.1
4	5	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	6	2	2-6	3.1	3.1	2.1	4.1	1.0		1.0		1		1		4.00	0.1
4	7	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.6		1.6		2		2		2.00	3
4	8	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.6			1.6	2			2	1.00	4
4	9	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.6			1.6	2			2	1.00	2
4	10	1	4-10	1.1	1.1	0.4	1.4	1.5			1.5	1.5			1.5	1.33	0.1
6	11	3	1-5-11-16	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3.00	0
6	12	3	12-17	1	0	0.8	3.8	3.2	1.6			4	2			3.00	1
6	13	3	3	5	4	4.0	7.0	1.7	0.9			2	1			6.00	2
6	14	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.1	1.6			4	2			3.00	3
6	15	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.1	1.6			4	2			3.00	4
2	16	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.0				2				2.00	0
2	17	1	12-17	1	1	0.3	1.3	1.6				2				1.00	1
2	18	2	3-7-8-9-14-15-18	4	4	0.6	2.6	1.6				2				2.00	3

Quadro 163 Etapas para o nivelamento – Teste 33(buffer de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-16	0	0	0.0	5.0	2.00				2				5.00	0
2	2	1	2-6	2.8	0	0.9	1.9	1.03				1.5				1.33	1.8
4	3	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.56		1.56		2		2		2.00	2
4	4	2	4-10	0.8	0	0.5	2.5	1.58		1.58		2		2		2.00	0.8
4	5	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.00				2		2		2.00	0
4	6	2	2-6	2.8	2.8	1.9	3.9	1.03		1.03		1.5		1.5		2.67	1.8
4	7	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.56		1.56		2		2		2.00	3.7
4	8	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.56			1.56	2			2	1.00	4
4	9	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.56			1.56	2			2	1.00	2
4	10	1	4-10	0.8	0.8	0.3	1.3	1.58			1.58	2			2	1.00	0.8
6	11	3	1-5-11-16	0	0	0.0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.00	0
6	12	3	12-17	1	0	0.8	3.8	3.20	1.60			4	2			3.00	1
6	13	3	3	5	4	4.0	7.0	1.71	0.86			2	1			6.00	2
6	14	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.11	1.56			4	2			3.00	3.7
6	15	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.11	1.56			4	2			3.00	4
2	16	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.00				2				2.00	0
2	17	1	12-17	1	1	0.3	1.3	1.60				2				1.00	1
2	18	2	3-7-8-9-14-15-18	4	4	0.6	2.6	1.56				2				2.00	3.7

Quadro 164 Etapas para o nivelamento – Teste 34(buffer de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-16	0	0	0.0	5.0	2.00				2				5.00	0
2	2	1	2-6	2.5	0	0.8	1.8	1.09				1.5				1.33	1.5
4	3	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.56		1.56		2		2		2.00	2
4	4	2	4-10	0.5	0	0.3	2.3	1.71		1.71		2		2		2.00	0.5
4	5	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.00		2.00		2		2		2.00	0
4	6	2	2-6	2.5	2.5	1.7	3.7	1.09		1.09		1.5		1.5		2.67	1.5
4	7	2	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.6	2.6	1.56		1.56		2		2		2.00	3.7
4	8	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.56			1.56	2			2	1.00	4
4	9	1	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.3	1.3	1.56			1.56	2			2	1.00	2
4	10	1	4-10	0.5	0.5	0.2	1.2	1.71			1.71	2			2	1.00	0.5
6	11	3	1-5-11-16	0	0	0.0	3.0	4.00	2.00			4	2			3.00	0
6	12	3	12-17	1	0	0.8	3.8	3.20	1.60			4	2			3.00	1
6	13	3	3	5	4	4.0	7.0	1.71	0.86			2	1			6.00	2
6	14	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.11	1.56			4	2			3.00	3.7
6	15	3	3-7-8-9-14-15-18	4	0	0.9	3.9	3.11	1.56			4	2			3.00	4
2	16	2	1-5-11-16	0	0	0.0	2.0	2.00				2				2.00	0
2	17	1	12-17	1	1	0.3	1.3	1.60				2				1.00	1
2	18	2	3-7-8-9-14-15-18	4	4	0.6	2.6	1.56				2				2.00	3.7

Quadro 165 Etapas para o nivelamento – Teste 35(buffer de alimentação de 50%)

A Figura 142 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades (2), (3), (4), (6), (7), (8), (9), (10), (12), (13), (14), (15), (17) e (18) ainda possuem folga, barras cor azul em todos os testes. As atividades em vermelho se tornaram críticas consumindo sua folga ou pertenciam à cadeia crítica.

Figura 142 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 13: Testes 31 a 35)

O prazo final da rede 13 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser identificado no Quadro 166. O recurso R01 apresentou resultados semelhantes nos testes 31, 32 e 33, com pico de 14.5ur e vale na 7ª ut e nos testes 34 e 35, com pico de 15ur e vale na 5ª e 7ª ut. O recurso R02 se manteve constante em todos os testes com vele na 7ª ut. O recurso R03 apresentou o mesmo resultado nos testes 31(10%), 32(20%) e 33(30%), com vale na 5ª ut e nos testes 34(40%) e 35(50%) mostrou uma ausência desse recurso na 5ª ut. Já o recurso R04 em todos os casos apresentou um vale da 5ª a 7ª ut.

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inicial R01	0%	6	8	10	14	14	16	6	12	8	8	4	2	108
Nivelado R01	10%	5	5	9	11	13	14.5	9.5	13.5	13.5	8	4	2	108
	20%	5	5	9	11	13	14.5	9.5	13.5	13.5	8	4	2	108
	30%	5	5	9	11	13	14.5	9.5	13.5	13.5	8	4	2	108
	40%	5.5	7.5	9.5	13.5	12	14	10	14	12	8	4	2	112
	50%	5.5	7.5	9.5	13.5	12	14	10	14	12	8	4	2	112
Inicial R02	0%				6	6	6		4	4	4			30
Nivelado R02	10%				3	5	5	3	5	5	4			30
	20%				3	5	5	3	5	5	4			30
	30%				3	5	5	3	5	5	4			30
	40%				5	5	5	3	5	5	4			32
	50%				5	5	5	3	5	5	4			32
Inicial R03	0%	2	6	4			4	4						20
Nivelado R03	10%	2	2	3	3	1	4.5	3.5	1.5					20.5
	20%	2	2	3	3	1	4.5	3.5	1.5					20.5
	30%	2	2	3	3	1	4.5	3.5	1.5					20.5
	40%	2	5.5	3.5	3.5		4	4						22.5
	50%	2	5.5	3.5	3.5		4	4						22.5
Inicial R04	0%			4					2					6
Nivelado R04	10%			4					1.5	1.5				7
	20%			4					1.5	1.5				7
	30%			4					1.5	1.5				7
	40%			4					2					6
	50%			4					2					6

Quadro 166 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04

Rede 14 (testes 36 a 40)

A rede 14 é formada por 19 atividades e 2 atividades fictícias, com densidade 1,40 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 143 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 143 Rede lógica com e sem *buffer* (Testes 36 a 40)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (2-5, 7, 15, 2-5-8-11 e 2-5-8-11-13-16), a qual alimenta a cadeia crítica 1-3-6-9-12-14-17-18-19;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-3-6-9-12-14-17-18-19 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2-5, 7, 15, 2-5-8-11 e 2-5-8-11-13-16 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica) a duração da rede lógica da configuração 14 sofreu alteração cadeia crítica nos testes 37(20%), 38 (20%), 39 (40%) e 40 (50%) e a cadeia crítica passou a ser 1-2-5-8-11-13-16-19.

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 14, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 167 ao Quadro 171 apresentam os dados de cálculo para a rede 14 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0	0.0	5.0	2.0				2				5	0
2	2	1	2-5	0.7	0	0.2	1.2	1.6				2				1	0.7
4	3	2	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0	0.0	2.0	2.0				2		2		2	0
4	4	2	4	1.8	1	1.0	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	1.13
4	5	2	2-5	0.7	0.7	0.5	2.5	1.6		1.6		2		2		2	0.7
4	6	2	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	7	2	7	0.8	0.8	0.8	2.8	1.4		1.4		1.5		1.5		3	0.13
4	8	1	8-11-13-16	0.8	0	0.1	1.1	1.8			1.8	2			2	1	0.8
4	9	1	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	0
4	10	1		5.8	5	5.0	6.0	0.3			0.3	0.5			0.5	4	2.8
6	11	3	8-11-13-16	0.8	0	0.3	3.3	3.7	1.8			4	2			3	0.8
6	12	3	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	13	3	8-11-13-16	0.8	0	0.3	3.3	3.7	1.8			4	2			3	0.8
6	14	3	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0		3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	15	3	15	0.7	0.7	0.7	3.7	3.2	1.6			4	2			3	0.7
2	16	2	8-11-13-16	0.8	0.8	0.2	2.2	1.8				2				2	0.8
2	17	1	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1	0
2	18	2	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0	0.0	2.0	2.0				2				2	0
2	19	1	1-3-6-9-12-14-17-18-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1	0

Quadro 167 Etapas para o nivelamento – Teste 36 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	5.0	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1	0
4	3	2	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.1	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0.3
4	4	2	4	1.8	1	1.0	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.3
4	5	2	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.1	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0.4
4	7	2	7	0.8	0.6	0.6	2.6	1.5		1.5		1.5		1.5		3	0.3
4	8	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2			2	1	0
4	9	1	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.0	1.0	1.9			1.9	2			2	1	0.4
4	10	1	10	5	5	5.0	6.0	0.3			0.3	0.5			0.5	4	2
6	11	3	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	12	3	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.1	3.1	3.9	1.9			4	2			3	0.3
6	13	3	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	14	3	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.1	3.1	3.9	1.9			4	2			3	0.3
6	15	3	15	0.8	0.4	0.4	3.4	3.5	1.8			4	2			3	0.7
2	16	2	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	2.0	2.0				2				2	0
2	17	1	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.0	1.0	1.9				2				1	0.3
2	18	2	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0.4	0.1	2.1	1.9				2				2	0.3
2	19	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1	0

Quadro 168 Etapas para o nivelamento – Teste 37 (*buffer* de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R01	R02	R03	R04	R01	R02	R03	R04		
2	1	5	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	5.0	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1	0
4	3	2	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.1	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0.4
4	4	2	4	1.8	1	1.0	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.3
4	5	2	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.1	2.1	1.9		1.9		2		2		2	0.4
4	7	2	7	0.8	0.4	0.4	2.4	1.7		1.7		1.5		1.5		3	1.3
4	8	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2				2	0
4	9	1	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.0	1.0	1.9		1.9		2		2		2	0.4
4	10	1	10	5.8	5	5.0	6.0	0.3			0.3	0.5			0.5	4	2
6	11	3	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	12	3	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.1	3.1	3.9	1.9			4	2			3	0.1
6	13	3	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	14	3	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.1	3.1	3.9	1.9			4	2			3	0.1
6	15	3	15	0.7	0.1	0.1	3.1	3.9	1.9			4	2			3	0.4
2	16	2	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	2.0	2.0				2		2		2	0
2	17	1	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0	0.0	1.0	1.9				2				1	0.1
2	18	2	3-6-9-12-14-17-18	0.4	0.4	0.1	2.1	1.9				2				2	0.1
2	19	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1	0

Quadro 169 Etapas para o nivelamento – Teste 38(buffer de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R01	R02	R03	R04	R01	R02	R03	R04		
2	1	5	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	5.0	2.0				2				5	0
2	2	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1	0
4	3	2	3-6	0.4	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0.4
4	4	2	4	1.8	1	1.0	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.3
4	5	2	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0
4	6	2	3-6	0.4	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2	0.4
4	7	2	7	0.8	0.4	0.4	2.4	1.7		1.7		2		2		2	0.8
4	8	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2				2	0
4	9	1	9-12-15-18	2.4	0	0.3	1.3	1.6			1.6	2		2		2	2.4
4	10	1	10	5.8	5	5.0	6.0	0.3			0.3	0.5			0.5	4	2
6	11	3	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	12	3	9-12-15-18	2.4	0	0.8	3.8	3.2	1.6			4	2			3	2.4
6	13	3	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3	0
6	14	3	3-6-9-12-14-17-18	2.6	0	0.15	3.2	3.8	1.9			4	2			3	2.6
6	15	3	9-12-15-18	2.4	0	0.8	3.8	3.2	1.6			4	2			3	2.4
2	16	2	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	2.0	2.0				2		2		2	0
2	17	1	3-6-9-12-14-17-18	2.6	0.2	0.05	1.1	1.9				2				1	2.6
2	18	2	9-12-15-18	2.4	2.4	0.5	2.5	1.6				2				2	2.4
2	19	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1	0

Quadro 170 Etapas para o nivelamento – Teste 39(buffer de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad a (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R01	R02	R03	R04	R01	R02	R03	R04		
2	1	5	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	5.0	2.0				2				5.00	0
2	2	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1.00	0
4	3	2	3-6	0.4	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.00	0.5
4	4	2	4	1.8	1	1.0	3.0	1.3		1.3		1.5		1.5		2.67	0.3
4	5	2	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.00	0
4	6	2	3-6	0.4	0	0.0	2.0	2.0		2.0		2		2		2.00	0.5
4	7	2	7	0.8	0.5	0.5	2.5	1.6		1.6		2		2		2.00	0.8
4	8	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0			2.0	2				1.00	0
4	9	1	9-12-15-18	3	0	0.3	1.3	1.5			1.5	1.5			1.5	1.33	0
4	10	1	10	5.8	5	5.0	6.0	0.3			0.3	0.5			0.5	4.00	2
6	11	3	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3.00	0
6	12	3	9-12-15-18	3	0	1.0	4.0	3.0	1.5			3	1.5			4.00	0
6	13	3	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	3.0	4.0	2.0			4	2			3.00	0
6	14	3	3-6-9-12-14-17-18	3.5	0	0.38	3.4	3.6	1.8			4	2			3.00	1.5
6	15	3	9-12-15-18	3	0	1.0	4.0	3.0	1.5			3	1.5			4.00	0
2	16	2	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	2.0	2.0				2		2		2.00	0
2	17	1	3-6-9-12-14-17-18	3.5	0.5	0.13	1.1	1.8				2				1.00	1.5
2	18	2	9-12-15-18	3	3	0.7	2.7	1.50				1.50				2.67	0
2	19	1	1-2-5-8-11-13-16-19	0	0	0.0	1.0	2.0				2				1.00	0

Quadro 171 Etapas para o nivelamento – Teste 40(buffer de alimentação de 50%)

A Figura 144 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades (9), (12), (15) e (18) passou a ser crítica após o nivelamento do teste 40 (buffer 50%).

Figura 144 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 14: Testes 36 ao 40)

O prazo final da rede 14 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser identificado no Quadro 172. O recurso R01 após a inserção dos *buffers* de alimentação de 10%, 20% e 30% apresentou-se nivelado. Só que no teste 37 e 38 houve uma extensão de prazo de 1 e 2 ut respectivamente. Ao inserir o *buffer* de 40% e 50% além da extensão de 3 e 4ut, ainda existe um vale no 21ª e 20ª ut. O recurso R02, R03 e R04 também se apresentaram nivelado só que com picos e distribuições diferenciado ao longo do tempo.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Total
Inicial R01	0%	2	2	2	2	4	6	8	6	8	8	8	8	12	12	10	4	2	2	2					110
Nivelado R01	10%	2	2	2	2	4	5.5	7	7	8	8.5	8.5	8.5	12	12	10	4	2	2	2					111
	20%	2	2	2	2	4	5.5	7	7	8	8.5	8.5	8.5	12	12	10	4	2	2	2	2				113
	30%	2	2	2	2	4	5.5	7	7	8	8.5	8.5	8.5	12	12	10	4	2	2	2	2				115
	40%	2	2	2	2	4	5.5	7.5	7.5	6.5	8.5	8.5	8.5	12	12	10	10	2	2	2		2	2		121
	50%	2	2	2	2	4	5.5	7.5	7.5	6	7.5	7.5	7.5	7	11	9	9	7	5		1.5	1.5	1.5	2	118
Inicial R02	0%									2	4	4	4	6	6	4									30
Nivelado R02	10%									2	4	4	4	6	6	4									30
	20%									2	4	4	4	6	6	4									30
	30%									2	4	4	4	6	6	4									30
	40%									2	4	4	4	6	6	4	4								34
	50%									2	3.5	3.5	3.5	2.5	5.5	3.5	3.5	3.5	1.5						32.5
Inicial R03	0%					2	6	8	4																20
Nivelado R03	10%					2	5.5	7	5	1.5															21
	20%					2	5.5	7	5	1.5															21
	30%					2	5.5	7	5	1.5															21
	40%					2	5.5	7.5	5.5																20.5
	50%					2	5.5	7.5	5.5																20.5
Inicial R04	0%									2	4														6
Nivelado R04	10%									2	2.5	0.5	0.5	0.5											6
	20%									2	2.5	0.5	0.5	0.5											6
	30%									2	2.5	0.5	0.5	0.5											6
	40%									2	2.5	0.5	0.5	0.5											8
	50%									2	2	2	0.5	0.5											7

Quadro 172 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04

Rede 19 (testes 41 a 45)

A rede 19 é formada por 39 atividades com densidade 1,30 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 145 pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 145 Rede Lógica 19 com e sem Buffer (Testes 41 a 45)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (2-6-12-20-26, 2-6-15-13-21, 2-6-15-16-14-22), a qual alimenta a cadeia crítica 1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39;

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2-6-12-20-26, 2-6-15-13-21, 2-6-15-16-14-22 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica) a duração da rede lógica da configuração 19 sofreu alteração da cadeia crítica nos testes 42(20%), 43(30%), 44 (40%) e 45 (50%).

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 19, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 173 ao Quadro 177 apresentam os dados de cálculo para a rede 19 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	5	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2-6-15-16-14-22	0.7	0	0.05	1.05	1.9				2				1.0	0.67
4	3	2	3-7	2.7	0	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	2
4	4	2	4-10-18-24-30	6	0	0.4	2.4	1.6		1.6		2		2		2.0	2.33
4	5	2	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	2-6-15-16-14-22	0.7	0	0.11	2.11	1.9		1.9		2		2		2.0	0.67
4	7	2	3-7	2.7	2	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	2
4	8	1	8	5.7	5	5	6	0.3			0.3	0.5			0.5	4.0	4.7
4	9	1	9-17-23-29	9	0	1.25	2.25	0.9				1		1		2.0	2.33
4	10	1	4-10-18-24-30	6	0	0.2	1.2	1.6			1.6	2			2	1.0	4.33
6	11	3	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	3	4.0	2.0			4	2			3.0	0
6	12	3	12-20-26	1	0	0.4	3.4	3.5	1.8			4	2			3.0	1
6	13	3	13-21	2	0	1.5	4.5	2.7	1.3			3	1.5			4.0	0.67
6	14	3	2-6-15-16-14-22	0.7	0	0.16	3.16	3.8	1.9			4	2			3.0	0.7
6	15	3	2-6-15-16-14-22	0.7	0	0.16	3.16	3.8	1.9			4	2			3.0	0.67
2	16	2	2-6-15-16-14-22	0.7	0	0.11	2.11	1.9				2				2.0	0.7
2	17	1	9-17-23-29	9	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0	2.33
2	18	2	4-10-18-24-30	6	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0	4.33
2	19	1	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	1	2.0				2				1.0	0
2	20	2	12-20-26	1	0	0.3	2.3	1.8				2				2.0	1
2	21	1	13-21	2	2	0.5	1.5	1.3				1.5				1.3	0.67
2	22	2	2-6-15-16-14-22	0.7	0.7	0.11	2.11	1.9				2				2.0	0.7
2	23	1	9-17-23-29	9	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0	2.33
2	24	2	4-10-18-24-30	6	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0	4.33
2	25	1	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	1	2.0				2				1.0	0
2	26	2	12-20-26	1	1	0.3	2.3	1.8				2				2.0	1
2	27	1	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	1	2.0				2				1.0	0
2	28	2	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0
2	29	1	9-17-23-29	9	5	1.25	2.25	0.9				1				2.0	2.33
2	30	2	4-10-18-24-30	6	2	0.4	2.4	1.6				2				2.0	4.33
2	31	4	31-35	4	0	2.00	6.00	1.3				1.5				5.3	2
2	32	3	32	4	1	1.00	4.00	1.50				1.5				4.0	2
2	33	3	33-36	3	0	1.5	4.5	1.3				1.5				4.0	1
2	34	2	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0
2	35	2	31-35	4	4	1.00	3.00	1.3				1.5				2.7	2
2	36	3	33-36	3	3	1.5	4.5	1.3				1.5				4.0	1
2	37	3	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	3	2.0				2				3.0	0
2	38	2	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0
2	39	2	1-5-11-19-25-27-28-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0

Quadro 173 Etapas para o nivelamento – Teste 41 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-19-25-26-27-28	0.6	0	0.14	5.14	1.9				2				5.0	0.6
2	2	1	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0	0
4	3	2	3-7	2	0	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.67
4	4	2	4-10-18-24-30	6.6	0	0.4	2.4	1.6		1.6		2		2		2.0	4.9
4	5	2	1-5-11-19-25-26-27-28	0.6	0	0.05	2.05	1.9		1.9		2		2		2.0	0.6
4	6	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	7	2	3-7	2	2	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.67
4	8	1	8	5	5	5	6	0.3			0.3	0.5			0.5	4.0	1.33
4	9	1	9-17-23-29	9.6	0	1.25	2.25	0.9			0.9	1			1	2.0	4.9
4	10	1	4-10-18-24-30	6.6	0	0.2	1.2	1.6			1.6	2			2	1.0	5.9
6	11	3	1-5-11-19-25-26-27-28	0.6	0	0.08	3.08	3.9	1.9			4	2			3.0	0.6
6	12	3	12-20-26-27-28	0.6	0	0.08	3.08	3.9	1.9			4	2			3.0	0.6
6	13	3	13-21	1.6	0	1.2	4.2	2.9	1.4			3	1.5			4.0	0.27
6	14	3	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0	0
6	15	3	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0	0
2	16	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0				2				2.0	0
2	17	1	9-17-23-29	9.6	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0	4.93
2	18	2	4-10-18-24-30	6.6	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0	5.93
2	19	1	1-5-11-19-25-26-27-28	0.6	0	0.03	1.03	1.9				2				1.0	0.6
2	20	2	12-20-26-27-28	0.6	0	0.05	2.05	1.9				2				2.0	0.6
2	21	1	13-21	1.6	1.6	0.4	1.4	1.4				1.5				1.3	0.27
2	22	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0				2				2.0	0
2	23	1	9-17-23-29	9.6	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0	4.93
2	24	2	4-10-18-24-30	6.6	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0	5.93
2	25	1	1-5-11-19-25-26-27-28	0.6	0	0.03	1.03	1.9				2				1.0	0.6
2	26	2	1-5-11-19-25-26-27-28	0.6	0	0.05	2.05	1.9				2				2.0	0.6
2	27	1	1-5-11-19-25-26-27-28	0.6	0	0.03	1.03	1.9				2				1.0	0.6
2	28	2	1-5-11-19-25-26-27-28	0.6	0.6	0.05	2.05	1.9				2				2.0	0.27
2	29	1	9-17-23-29	9.6	5	1.25	2.25	0.9				1				2.0	4.93
2	30	2	4-10-18-24-30	6.6	2	0.4	2.4	1.6				2				2.0	5.93
2	31	4	31-35	4.6	0	2.40	6.40	1.3				1.5				5.3	2.6
2	32	3	32	4.6	1	1.00	4.00	1.50				1.5				4.0	2.6
2	33	3	33-36	3.6	0	1.8	4.8	1.3				1.5				4.0	1.6
2	34	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0
2	35	2	31-35	4.6	4.6	0.77	2.77	1.4				1.5				2.7	2.6
2	36	3	33-36	3.6	3.6	1.8	4.8	1.3				1.5				4.0	1.6
2	37	3	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0	3	2.0				2				3.0	0
2	38	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0
2	39	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0

Quadro 174 Etapas para o nivelamento – Teste 42 (*buffer* de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionad	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-19-25	1.9	0	0.00	5.00	2.0				2				5.0	0
2	2	1	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0	0.1
4	3	2	3-7	2	0	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.77
4	4	2	4-10-18-24-30	7.9	0	0.4	2.4	1.6		1.6		2		2		2.0	5
4	5	2	1-5-11-19-25-26-27-28	1.9	0	0.00	2.00	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	6	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0		2.0		2		2		2.0	0.1
4	7	2	3-7	2	2	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.77
4	8	1	8	5	5	5	6	0.3			0.3	0.5			0.5	4.0	1.43
4	9	1	9-17-23-29	10.9	0	1.25	2.25	0.9			0.9	1			1	2.0	5
4	10	1	4-10-18-24-30	7.9	0	0.2	1.2	1.6			1.6	2			2	1.0	6
6	11	3	1-5-11-19-25-26-27-28	1.9	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0	0
6	12	3	12-20-26-27-28	0.9	0	0.27	3.27	3.7	1.8			4	2			3.0	1
6	13	3	13-21	1.9	0	0.75	3.75	3.2	1.6			4	2			3.0	0.67
6	14	3	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0	0.1
6	15	3	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0	0.1
2	16	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0				2				2.0	0.1
2	17	1	9-17-23-29	10.9	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0	5
2	18	2	4-10-18-24-30	7.9	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0	6
2	19	1	1-5-11-19-25-26-27-28	1.9	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0	0
2	20	2	12-20-26-27-28	0.9	0	0.18	2.18	1.8				2				2.0	1
2	21	1	13-21	1.9	1	0.25	1.25	1.6				2				1.0	0.67
2	22	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0				2				2.0	0.1
2	23	1	9-17-23-29	10.9	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0	5
2	24	2	4-10-18-24-30	7.9	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0	6
2	25	1	1-5-11-19-25-26-27-28	1.9	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0	0
2	26	2	12-20-26-27-28	0.9	0	0.18	2.18	1.8				2				2.0	1
2	27	1	12-20-26-27-28	0.9	0	0.09	1.09	1.8				2				1.0	1
2	28	2	12-20-26-27-28	0.9	0.9	0.18	2.18	1.8				2				2.0	0.67
2	29	1	9-17-23-29	10.9	5	1.25	2.25	0.9				1				2.0	5
2	30	2	4-10-18-24-30	7.9	2	0.4	2.4	1.6				2				2.0	6
2	31	4	31-35	5.9	0	2.60	6.60	1.2				1.5				5.3	0
2	32	3	32	5.9	2	2.00	5.00	1.20				1.5				4.0	4
2	33	3	33-36	3.9	0	1.95	4.95	1.2				1.5				4.0	2
2	34	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0.1
2	35	2	31-35	5.9	5.9	1.30	3.30	1.2				1.5				2.7	0
2	36	3	33-36	3.9	3.9	1.95	4.95	1.2				1.5				4.0	2
2	37	3	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0	3	2.0				2				3.0	0.1
2	38	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0.1
2	39	2	2-6-14-15-16-22-34-37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0

Quadro 175 Etapas para o nivelamento – Teste 43(buffer de alimentação de 30%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04	
2	1	5	1-5-11-19-25	3.2	0	0.00	5.00	2.0				2				5.0
2	2	1	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0
4	3	2	3-7	2	0	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7
4	4	2	4-10-18-24-30	9.2	0	0.4	2.4	1.6		1.6		2		2		2.0
4	5	2	1-5-11-19-25	3.2	0	0.00	2.00	2.0		2.0		2		2		2.0
4	6	2	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0		2.0		2		2		2.0
4	7	2	3-7	2	2	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7
4	8	1	8	5	5	5	6	0.3			0.3	0.5			0.5	4.0
4	9	1	9-17-23-29	12.2	0	1.25	2.25	0.9				0.9	1		1	2.0
4	10	1	4-10-18-24-30	9.2	0	0.2	1.2	1.6			1.6	2			2	1.0
6	11	3	1-5-11-19-25	3.2	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0
6	12	3	12-20-26-27-28	1.2	0	0.36	3.36	3.6	1.8			4	2			3.0
6	13	3	13-21	2.2	0	0.75	3.75	3.2	1.6			4	2			3.0
6	14	3	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0
6	15	3	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0
2	16	2	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0				2				2.0
2	17	1	9-17-23-29	12.2	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0
2	18	2	4-10-18-24-30	9.2	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0
2	19	1	1-5-11-19-25	3.2	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0
2	20	2	12-20-26-27-28	1.2	0	0.24	2.24	1.8				2				2.0
2	21	1	13-21	2.2	1	0.25	1.25	1.6				2				1.0
2	22	2	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0				2				2.0
2	23	1	9-17-23-29	12.2	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0
2	24	2	4-10-18-24-30	9.2	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0
2	25	1	1-5-11-19-25	3.2	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0
2	26	2	12-20-26-27-28	1.2	0	0.24	2.24	1.8				2				2.0
2	27	1	12-20-26-27-28	1.2	0	0.12	1.12	1.8				2				1.0
2	28	2	12-20-26-27-28	1.2	1.2	0.24	2.24	1.8				2				2.0
2	29	1	9-17-23-29	12.2	5	1.25	2.25	0.9				1				2.0
2	30	2	4-10-18-24-30	9.2	2	0.4	2.4	1.6				2				2.0
2	31	4	31-35	7.2	0	2.80	6.80	1.2				1.5				5.3
2	32	3	32	7.2	3	3.00	6.00	1.00				1				6.0
2	33	3	33-36	4.2	0	2.1	5.1	1.2				1.5				4.0
2	34	2	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0
2	35	2	31-35	7.2	7.2	1.40	3.40	1.2				1.5				2.7
2	36	3	33-36	4.2	4.2	2.1	5.1	1.2				1.5				4.0
2	37	3	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0	3	2.0				2				3.0
2	38	2	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0
2	39	2	2-6-14-15-16-22-34 37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0

Quadro 176 Etapas para o nivelamento – Teste 44(buffer de alimentação de 40%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-5-11-19-25	4.5	0	0.00	5.00	2.0				2				5.0	4.5
2	2	1	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0	0
4	3	2	3-7	2	0	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.26
4	4	2	4-10-18-24-30	10.5	0	0.4	2.4	1.6		1.6		2		2		2.0	8.83
4	5	2	1-5-11-19-25	4.5	0	0.00	2.00	2.0		2.0		2		2		2.0	4.5
4	6	2	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0		2.0		2		2		2.0	0
4	7	2	3-7	2	2	1	3	1.3		1.3		1.5		1.5		2.7	0.26
4	8	1	8	5	5	5	6	0.3			0.3	0.5			0.5	4.0	1.33
4	9	1	9-17-23-29	13.5	0	1.25	2.25	0.9			0.9	1			1	2.0	8.83
4	10	1	4-10-18-24-30	10.5	0	0.2	1.2	1.6			1.6	2			2	1.0	9.83
6	11	3	1-5-11-19-25	4.5	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0	4.5
6	12	3	12-20-26-27-28	1.5	0	0.45	3.45	3.5	1.7			4	2			3.0	1.5
6	13	3	13-21	2.5	0	0.75	3.75	3.2	1.6			4	2			3.0	2.5
6	14	3	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0	0
6	15	3	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0.00	3.00	4.0	2.0			4	2			3.0	0
2	16	2	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0				2				2.0	0
2	17	1	9-17-23-29	13.5	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0	8.83
2	18	2	4-10-18-24-30	10.5	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0	9.83
2	19	1	1-5-11-19-25	4.5	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0	4.5
2	20	2	12-20-26-27-28	1.5	0	0.30	2.30	1.7				2				2.0	1.5
2	21	1	13-21	2.5	1	0.25	1.25	1.6				2				1.0	2.5
2	22	2	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0.00	2.00	2.0				2				2.0	0
2	23	1	9-17-23-29	13.5	0	1.25	2.25	0.9				1				2.0	8.83
2	24	2	4-10-18-24-30	10.5	0	0.4	2.4	1.6				2				2.0	9.83
2	25	1	1-5-11-19-25	4.5	0	0.00	1.00	2.0				2				1.0	4.5
2	26	2	12-20-26-27-28	1.5	0	0.30	2.30	1.7				2				2.0	1.5
2	27	1	12-20-26-27-28	1.5	0	0.15	1.15	1.7				2				1.0	1.5
2	28	2	12-20-26-27-28	1.5	1.5	0.30	2.30	1.7				2				2.0	1.5
2	29	1	9-17-23-29	13.5	5	1.25	2.25	0.9				1				2.0	8.83
2	30	2	4-10-18-24-30	10.5	2	0.4	2.4	1.6				2				2.0	9.83
2	31	4	31-35	8.5	0	3.00	7.00	1.1				1.5				5.3	6.5
2	32	3	32	8.5	4	4.00	7.00	0.86				1				6.0	4.5
2	33	3	33-36	4.5	0	2.25	5.25	1.1				1.5				4.0	2.5
2	34	2	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0
2	35	2	31-35	8.5	8.5	1.50	3.50	1.1				1.5				2.7	6.5
2	36	3	33-36	4.5	4.5	2.25	5.25	1.1				1.5				4.0	2.5
2	37	3	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0	3	2.0				2				3.0	0
2	38	2	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0
2	39	2	2-6-14-15-16-22-34- 37-38-39	0	0	0	2	2.0				2				2.0	0

Quadro 177 Etapas para o nivelamento – Teste 45(buffer de alimentação de 50%)

A Figura 146 mostra o gráfico de Gantt após o nivelamento. As atividades na cor azul ainda possuem folga e as na cor vermelha se tornaram críticas consumindo sua folga ou pertenciam à cadeia crítica.

Figura 146 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 19: Testes 41 ao 45)

O prazo final da rede 19 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser

identificado no Quadro 178. O recurso R01, R02 e R03 apresentaram oscilações em todos os testes. Já o recurso R04 apresentou um nivelamento satisfatório para todos os testes

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Total
Inicial R01	0%	6	6	8	12	10	12	12	16	18	16	10	6	10	10	8	6	6	6	4	2	2	2	2	2						192
Nivelado R01	10%	5.5	5.5	7.5	13.5	12	12	11	12.5	14.5	15.5	10	8.5	10	9.5	9.5	7.5	6	5	5	5	3.5	2	2	2						195
	20%	5.5	5.5	6	12	12	14	11.5	14	16	16	10.5	8.5	10	9.5	7.5	6.5	5	5	5	5	3.5	2	2	2	2					196.5
	30%	5.5	5.5	6	12	12	14	12.5	15	17	15	9	7	8	8	7.5	6.5	5	5	5	5	3.5	3.5	2	2	2	2				195.5
	40%	5.5	5.5	6	12	12	14	12.5	15	17	15	9	7	7.5	5.5	5.5	6	6	4	5	5	3.5	3.5	3.5	2	2	2	2	2		195.5
	50%	5.5	5.5	6	12	12	14	12.5	15	17	15	9	7	7.5	5.5	3.5	4.5	6	6	3	5	3.5	3.5	3.5	3.5	2	2	2	2	2	195.5
Inicial R02	0%																														30
Nivelado R02	10%				4	4	4	1.5	3.5	5.5	5.5	2																			30
	20%				4	4	4	1.5	3.5	5.5	5.5	2																			30
	30%				4	4	4	2	4	6	4	2																			30
	40%				4	4	4	2	4	6	4	2																			30
	50%				4	4	4	2	4	6	4	2																			30
Inicial R03	0%	2	4	4	2		4	4																							20
Nivelado R03	10%	1.5	3.5	4	3	3	4	4																							23
	20%	1.5	3.5	3.5	1.5	1.5	5.5	4																							21
	30%	1.5	3.5	3.5	1.5	1.5	5.5	4																							21
	40%	1.5	3.5	3.5	1.5	1.5	5.5	4																							21
	50%	1.5	3.5	3.5	1.5	1.5	5.5	4																							21
Inicial R04	0%			2					4																						6
Nivelado R04	10%			1.5	1.5				1.5	1.5	0.5	0.5																			7
	20%			0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	3	1																					6.5
	30%			0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	3	1																					6.5
	40%			0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	3	1																					6.5
	50%			0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	3	1																					6.5

Quadro 178 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04

Rede 20 (testes 46 a 50)

A rede 20 é formada por 47 atividades com densidade 1,63 (relação entre arcos e nós), onde na Figura 147, pode ser identificada sua configuração antes e após a inserção do *buffer* de alimentação (BA).

Figura 147 Rede lógica com e sem *buffer* (Testes 46 a 50)

A partir da programação convencional desta rede, foram introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação – estimado 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica (2 a 23, 2 a 32, 35, 37, 2-42, 36 a 43, 45), a qual alimenta a cadeia crítica 1-24-27-31-33-34-38-41-44-46-47;

- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur).

A cadeia crítica é formada pelas atividades 1-24-27-31-33-34-38-41-44-46-47 (barras vermelhas). As cadeias não-críticas que alimentam as críticas é formada pelas atividades 2 a 23, 2 a 32, 35, 37, 2-42, 36 a 43, 45 (azul). Com a inserção do *buffer* de alimentação (10%, 20%, 30%, 40% e 50% da duração da cadeia não-crítica) a duração da rede lógica da configuração 20 sofreu alteração da cadeia crítica nos testes 47 (20%), 48(30%), 49 (40%) e 50 (50%).

As etapas necessárias para o nivelamento, do conjunto de teste da rede 20, estão inseridas nos quadros abaixo, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. O Quadro 179 ao Quadro 183 apresentam os dados de cálculo para a rede 20 considerando a inserção do *buffer* de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	5.00	2.00				2				5.00	0
2	2	1	2-4-6-9-10-28-32	0.1	0	0.01	1.01	1.98				2				1.00	0.1
4	3	2	3-7-12-17-20	8.1	0	0.00	2.00	2.00		2.00		2		2		2.00	2.5
4	4	2	2-4-6-9-10-28-32	0.1	0	0.02	2.02	1.98		1.98		2		2		2.00	0.1
4	5	2	5	13.1	5	5.00	7.00	0.57		0.57		1		1		4.00	5.5
4	6	2	2-4-6-9-10-28-32	0.1	0	0.02	2.02	1.98		1.98		2		2		2.00	0.1
4	7	2	3-7-12-17-20	8.1	0	0.00	2.00	2.00		2.00		2		2		2.00	2.5
4	8	1	8	9.1	1	1.00	2.00	1.00			1.00	1			1	2.00	2.5
4	9	1	2-4-6-9-10-28-32	0.1	0	0.01	1.01	1.98			1.98	2			2	1.00	0.1
4	10	1	2-4-6-9-10-28-32	0.1	0	0.01	1.01	1.98			1.98	2			2	1.00	0.1
6	11	3	11	10.1	2	2.00	5.00	2.40	1.20			3		1.5		4.00	3.5
6	12	3	3-7-12-17-20	8.1	0	0.00	3.00	4.00	2.00			4		2		3.00	2.5
6	13	3	13	9.1	1	1.00	4.00	3.00	1.50			3		1.5		4.00	2.5
6	14	3	14	12.5	3	3.00	6.00	2.00	1.00			2		1		6.00	8.5
6	15	3	15-18-21-23	9.5	0	4.07	7.07	1.70	0.85			2		1		6.00	2.5
2	16	2	16	9.1	1	1.00	3.00	1.33				1.5				2.67	8.43
2	17	1	3-7-12-17-20	8.1	0	0.00	1.00	2.00				2				1.00	8.1
2	18	2	15-18-21-23	9.5	0	2.71	4.71	0.85				1				4.00	2.5
2	19	1	19	11.5	2	2.00	3.00	0.67				1				2.00	6.5
2	20	2	3-7-12-17-20	8.1	0	0.00	2.00	2.00				2				2.00	8.1
2	21	1	15-18-21-23	9.5	0	1.36	2.36	0.85				1				2.00	2.5
2	22	2	22	10.5	1	1.00	3.00	1.33				1.5				2.67	8.83
2	23	1	15-18-21-23	9.5	9.5	1.36	2.36	0.85				1				2.00	2.5
2	24	2	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	2.00	2.00				2				2.00	0
2	25	1	25	1.1	1	1.00	2.00	1.00				1				2.00	0.1
2	26	2	26-29	1.1	0	0.67	2.67	1.50				1.5				2.67	0.1
2	27	1	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	1.00	2.00				2				1.00	0
2	28	2	2-4-6-9-10-28-32	0.1	0	0.02	2.02	1.98				2				2.00	0.1
2	29	1	26-29	1.1	1	0.33	1.33	1.50				1.5				1.33	0.1
2	30	2	30	1.1	1	1.00	3.00	1.33				1.5				2.67	0.43
2	31	4	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	4.00	2.00				2				4.00	0
2	32	3	2-4-6-9-10-28-32	0.1	0.1	0.03	3.03	1.98				2				3.00	0.1
2	33	3	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	3.00	2.00				2				3.00	0
2	34	2	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	2.00	2.00				2				2.00	0
2	35	2	35	8.8	8.8	8.80	10.80	0.37				0.5				8.00	2.8
2	36	3	36-39-42	2.1	0	0.90	3.90	1.54				2				3.00	0.53
2	37	3	37	1.7	1.7	1.70	4.70	1.28				1.5				4.00	0.7
2	38	2	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	2.00	2.00				2				2.00	0
2	39	2	36-39-42	2.1	0	0.60	2.60	1.54				2				2.00	2.1
2	40	3	40-43	2.2	0	1.32	4.32	1.39				1.5				4.00	0.53
2	41	3	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	3.00	2.00				2				3.00	0
2	42	2	36-39-42	2.1	2.1	0.60	2.60	1.54				2				2.00	2.1
2	43	2	40-43	2.2	2.2	0.88	2.88	1.39				1.5				2.67	0.53
2	44	6	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	6.00	2.00				2				6.00	0
2	45	2	45	6.8	6.8	6.80	8.80	0.45				0.5				8.00	0.8
2	46	3	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	3.00	2.00				2				3.00	0
2	47	3	1-24-27-31-33-34-38-41-44	0	0	0.00	3.00	2.00				2				3.00	0

Quadro 179 Etapas para o nivelamento – Teste 46 (*buffer* de alimentação de 10%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamen to (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	5,00	2,00				2				5,00	0
2	2	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00				2				1,00	0
4	3	2	3-7-12-17-20	8,1	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2		2		2,00	1,8
4	4	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2				2,00	0
4	5	2	5	13,1	5	5,00	7,00	0,57		0,57		1		1		4,00	4,8
4	6	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2		2		2,00	0
4	7	2	3-7-12-17-20	8,1	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2		2		2,00	1,8
4	8	1	8	9,1	1	1,00	2,00	1,00				1,00			1	2,00	1,8
4	9	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00				2,00			2	1,00	0
4	10	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00				2,00			2	1,00	0
6	11	3	11	10,1	2	2,00	5,00	2,40	1,20			3	1,5			4,00	2,8
6	12	3	3-7-12-17-20	8,1	0	0,00	3,00	4,00	2,00			4	2			3,00	1,8
6	13	3	13	9,1	1	1,00	4,00	3,00	1,50			3	1,5			4,00	1,8
6	14	3	14	12,5	3	3,00	6,00	2,00	1,00			2	1			6,00	7,8
6	15	3	15-18-21-23	9,5	0	3,77	6,77	1,77	0,89			2	1			6,00	1,8
2	16	2	16	9,1	1	1,00	3,00	1,33				1,5				2,67	7,33
2	17	1	3-7-12-17-20	8,1	0	0,00	1,00	2,00								1,00	7
2	18	2	15-18-21-23	9,5	0	2,51	4,51	0,89				1				4,00	1,8
2	19	1	19	11,5	2	2,00	3,00	0,67				1				2,00	5,8
2	20	2	3-7-12-17-20	8,1	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	7
2	21	1	15-18-21-23	9,5	0	1,26	2,26	0,89				1				2,00	1,8
2	22	2	22	10,5	1	1,00	3,00	1,33				1,5				2,67	8,13
2	23	1	15-18-21-23	9,5	8,8	1,26	2,26	0,89				1				2,00	1,8
2	24	2	24-27-31-33	0,8	0	0,16	2,16	1,85				2				2,00	0
2	25	1	25	1,1	1	1,00	2,00	1,00				1				2,00	0
2	26	2	26-29	1,1	0	0,67	2,67	1,50				1,5				2,67	0
2	27	1	24-27-31-33	0,8	0	0,08	1,08	1,85				2				1,00	0,33
2	28	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	29	1	26-29	1,1	1	0,33	1,33	1,50				1,5				1,33	0
2	30	2	30	1,1	1	1,00	3,00	1,33				1,5				2,67	0,33
2	31	4	24-27-31-33	0,8	0	0,32	4,32	1,85				2				4,00	0,8
2	32	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	33	3	24-27-31-33	0,8	0,8	0,24	3,24	1,85				2				3,00	0,8
2	34	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	35	2	35	8,6	8,6	8,60	10,60	0,38				0,5				8,00	2,6
2	36	3	36-39-42	0,2	0	0,09	3,09	1,94				2				3,00	0,2
2	37	3	37	1,4	1,4	1,40	4,40	1,36				1,5				4,00	0,4
2	38	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	39	2	36-39-42	0,2	0	0,06	2,06	1,94				2				2,00	0,2
2	40	3	40-43	1,4	0	0,84	3,84	1,56				2				3,00	1,4
2	41	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	42	2	36-39-42	0,2	0,2	0,06	2,06	1,94				2				2,00	0,2
2	43	2	40-43	1,4	1,4	0,56	2,56	1,56				2				2,00	1,4
2	44	6	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	6,00	2,00				2				6,00	0
2	45	2	45	6,6	6,6	6,60	8,60	0,47				0,5				8,00	0,6
2	46	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	47	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-34-38-41-44-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0

Quadro 180 Etapas para o nivelamento – Teste 47 (buffer de alimentação de 20%)

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamen to (ut)
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	5,00	2,00				2				5,00	0
2	2	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00				2				1,00	0
4	3	2	3-7-12-17-20	7,7	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2		2		2,00	2,9
4	4	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2		2		2,00	0
4	5	2	5	13,1	5	5,00	7,00	0,57		0,57		1		1		4,00	5,9
4	6	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2		2		2,00	0
4	7	2	3-7-12-17-20	7,7	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2		2		2,00	2,9
4	8	1	8	8,7	1	1,00	2,00	1,00				1,00			1	2,00	2,9
4	9	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00				2,00			2	1,00	0
4	10	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00				2,00			2	1,00	0
6	11	3	11	9,7	2	2,00	5,00	2,40	1,20			3	1,5			4,00	3,9
6	12	3	3-7-12-17-20	7,7	0	0,00	3,00	4,00	2,00			4	2			3,00	2,9
6	13	3	13	8,7	1	1,00	4,00	3,00	1,50			3	1,5			4,00	2,9
6	14	3	14	12,9	3	3,00	6,00	2,00	1,00			2	1			6,00	8,9
6	15	3	15-18-21-23	9,9	0	4,24	7,24	1,66	0,83			2	1			6,00	2,9
2	16	2	16	8,7	1	1,00	3,00	1,33				1,5				2,67	8,03
2	17	1	3-7-12-17-20	7,7	0	0,00	1,00	2,00				2				1,00	7,7
2	18	2	15-18-21-23	9,9	0	2,83	4,83	0,83				1				4,00	2,9
2	19	1	19	11,9	2	2,00	3,00	0,67				1				2,00	6,9
2	20	2	3-7-12-17-20	7,7	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	7,7
2	21	1	15-18-21-23	9,9	0	1,41	2,41	0,83				1				2,00	2,9
2	22	2	22	10,9	1	1,00	3,00	1,33				1,5				2,67	9,23
2	23	1	15-18-21-23	9,9	9,9	1,41	2,41	0,83				1				2,00	2,9
2	24	2	24-27-30	1	0	0,40	2,40	1,67				2				2,00	0
2	25	1	25	1	1	1,00	2,00	1,00				1				2,00	0
2	26	2	26-29	1	0	0,67	2,67	1,50				1,5				2,67	0
2	27	1	24-27-30	1	0	0,20	1,20	1,67				2				1,00	0,33
2	28	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	29	1	26-29	1	1	0,33	1,33	1,50				1,5				1,33	0
2	30	2	24-27-30	1	1	0,40	2,40	1,67				1,5				2,67	0,33
2	31	4	31-33	1,7	0	0,97	4,97	1,61				2				4,00	1,7
2	32	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	33	3	31-33	1,7	1,7	0,73	3,73	1,61				2				3,00	1,7
2	34	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	35	2	35	10,1	10,1	10,10	12,10	0,33				0,5				8,00	4,1
2	36	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	37	3	37	2,8	1,1	1,10	4,10	1,46				1,5				4,00	1,8
2	38	2	38-41-44	1,7	0	0,31	2,31	1,73				2				2,00	1,7
2	39	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	40	3	40-43	2,3	0	1,38	4,38	1,37				1,5				4,00	0,63
2	41	3	38-41-44	1,7	0	0,46	3,46	1,73				2				3,00	1,7
2	42	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	43	3	40-43	2,3	2,3	0,92	2,92	1,37				1,5				2,67	0,63
2	44	6	38-41-44	1,7	1,7	0,93	6,93	1,73				0,5				6,00	1,7
2	45	2	45	8,1	8,1	10,10	10,10	0,40								8,00	2,1
2	46	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	47	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0

(0) Total de recurso	(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folha Total (ut)	(5) Folha Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima	(8) Recurso da duração máxima (ur)				(9) Recursos Nivelado (ur)				(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folha Total após nivelamen
								R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04		
2	1	5	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	5.00	2.00				2				5.00	0
2	2	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	1.00	2.00				2				1.00	0
4	3	2	3-7-12-17-20	8.6	0	0.00	2.00	2.00		2.00		2	2			2.00	4.2
4	4	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	2.00	2.00		2.00		2	2			2.00	0
4	5	2	5	13.6	5	5.00	7.00	0.57	0.57			1	1			4.00	7.2
4	6	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	2.00	2.00		2.00		2	2			2.00	0
4	7	2	3-7-12-17-20	8.6	0	0.00	2.00	2.00		2.00		2	2			2.00	4.2
4	8	1	8	9.6	1	1.00	2.00	1.00			1.00	1			1	2.00	4.2
4	9	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	1.00	2.00				2				1.00	0
4	10	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	1.00	2.00			2.00	2				1.00	0
6	11	3	11	10.6	2	2.00	5.00	2.40	1.20			3	1.5			4.00	5.2
6	12	3	3-7-12-17-20	8.6	0	0.00	3.00	4.00	2.00			4	2			3.00	4.2
6	13	3	13	9.6	1	1.00	4.00	3.00	1.50			3	1.5			4.00	4.2
6	14	3	14	14.2	3	3.00	6.00	2.00	1.00			2	1			6.00	10.2
6	15	3	15-18-21-23	11.2	0	4.80	7.80	1.54	0.77			2	1			6.00	4.2
2	16	2	16	9.6	1	1.00	3.00	1.33				1.5				2.67	8.93
2	17	1	3-7-12-17-20	8.6	0	0.00	1.00	2.00				2				1.00	8.6
2	18	2	15-18-21-23	11.2	0	3.20	5.20	0.77				1				4.00	4.2
2	19	1	19	13.2	2	2.00	3.00	0.67				1				2.00	8.2
2	20	2	3-7-12-17-20	8.6	0	0.00	2.00	2.00				1				2.00	8.6
2	21	1	15-18-21-23	11.2	0	1.60	2.60	0.77				1				2.00	4.2
2	22	2	22	12.2	1	1.00	3.00	1.33				1.5				2.67	10.53
2	23	1	15-18-21-23	11.2	11.2	1.60	2.60	0.77				1				2.00	4.2
2	24	2	24-27-30	1	0	0.40	2.40	1.67				2				2.00	0
2	25	1	25	1	1	1.00	2.00	1.00				1				2.00	0
2	26	2	26-29	1	0	0.67	2.67	1.50				1.5				2.67	0
2	27	1	24-27-30	1	0	0.20	1.20	1.67				2				1.00	0.27
2	28	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	2.00	2.00				2				2.00	0
2	29	1	26-29	1	1	0.33	1.33	1.50				1.5				1.33	0
2	30	2	24-27-30	1	1	0.40	2.40	1.67				2				2.00	1
2	31	4	31-33	2.6	0	1.49	5.49	1.46				1.5				5.33	0.27
2	32	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	3.00	2.00				2				3.00	0
2	33	3	31-33	2.6	2.6	1.11	4.11	1.46				1.5				4.00	0.27
2	34	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	2.00	2.00				2				2.00	0
2	35	2	35	11.8	11.8	11.80	13.80	0.29				0.5				8.00	5.8
2	36	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	3.00	2.00				2				3.00	0
2	37	3	37	4.4	0.8	0.80	3.80	1.58				2				3.00	4.4
2	38	2	38-41-44	3.6	0	0.65	2.65	1.51				2				2.00	3.6
2	39	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	2.00	2.00				2				2.00	0
2	40	3	40-43	3.4	0	2.04	5.04	1.19				1.5				4.00	1.73
2	41	3	38-41-44	3.6	0	0.98	3.98	1.51				2				3.00	3.6
2	42	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	2.00	2.00				2				2.00	0
2	43	2	40-43	3.4	3.4	1.36	3.36	1.19				1.5				2.67	1.73
2	44	6	38-41-44	3.6	3.6	1.96	7.96	1.51				2				6.00	3.6
2	45	2	45	8.8	9.8	9.80	11.80	0.34				0.5				8.00	3.8
2	46	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	3.00	2.00				2				3.00	0
2	47	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0.00	3.00	2.00				2				3.00	0

Quadro 182 Etapas para o nivelamento – Teste 49(buffer de alimentação de 40%)

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)				(9)				(10)	(11)
Total de	Atividade	Duração da	Cadeia	Folha	Folha	Duração	Duração	Recurso da duração				Recursos Nivelado				Duração	Folga
recurso		atividade		Total (ut)	Livre (ut)	adicionala	máxima	máxima (ur)				R01 R02 R03 R04				Nivelada (ut)	Total após
		(ut)				(ut)	(ut)	R 01	R 02	R 03	R 04	R 01	R 02	R 03	R 04	(ut)	nivelamento
2	1	5	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	5,00	2,00				2				5,00	0
2	2	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00				2				1,00	0
4	3	2	3-7-12-17-20	9,5	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2	2			2,00	4,5
4	4	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2	2			2,00	0
4	5	2	5	14,5	5	5,00	7,00	0,57	0,57			1	1			4,00	7,5
4	6	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2	2			2,00	0
4	7	2	3-7-12-17-20	9,5	0	0,00	2,00	2,00		2,00		2	2			2,00	4,5
4	8	1	8	10,5	1	1,00	2,00	1,00			1,00	1			1	2,00	4,5
4	9	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00			2,00	2			2	1,00	0
4	10	1	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	1,00	2,00			2,00	2			2	1,00	0
6	11	3	11	11,5	2	2,00	5,00	2,40	1,20			3	1,5			4,00	5,5
6	12	3	3-7-12-17-20	9,5	0	0,00	3,00	4,00	2,00			4	2			3,00	4,5
6	13	3	13	10,5	1	1,00	4,00	3,00	1,50			3	1,5			4,00	4,5
6	14	3	14	14,5	3	3,00	6,00	2,00	1,00			2	1			6,00	10,5
6	15	3	15-18-21-23	11,5	0	4,93	7,93	1,51	0,76			2	1			6,00	4,5
2	16	2	16	10,5	1	1,00	3,00	1,33				1,5				2,67	9,83
2	17	1	3-7-12-17-20	9,5	0	0,00	1,00	2,00				2				1,00	9,5
2	18	2	15-18-21-23	11,5	0	3,29	5,29	0,76				1				4,00	4,5
2	19	1	19	13,5	2	2,00	3,00	0,67				1				2,00	8,5
2	20	2	3-7-12-17-20	9,5	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	9,5
2	21	1	15-18-21-23	11,5	0	1,64	2,64	0,76				1				2,00	4,5
2	22	2	22	12,5	1	1,00	3,00	1,33				1,5				2,67	10,83
2	23	1	15-18-21-23	11,5	11,5	1,64	2,64	0,76				1				2,00	4,5
2	24	2	24-27-30	1	0	0,40	2,40	1,67				2				2,00	0
2	25	1	25	1	1	1,00	2,00	1,00				1				2,00	0
2	26	2	26-29	1	0	0,67	2,67	1,50				1,5				2,67	0
2	27	1	24-27-30	1	0	0,20	1,20	1,67				2				1,00	1
2	28	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	29	1	26-29	1	1	0,33	1,33	1,50				1,5				1,33	0
2	30	2	24-27-30	1	1	0,40	2,40	1,67				2				2,00	1
2	31	4	31-33	3,5	0	2,00	6,00	1,33				1,5				5,33	1,17
2	32	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	33	3	31-33	3,5	3,5	1,50	4,50	1,33				1,5				4,00	1,17
2	34	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	35	2	35	12,5	12,5	12,50	14,50	0,28				0,5				8,00	6,5
2	36	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	37	3	37	5	0,5	0,50	3,50	1,71				2				3,00	3
2	38	2	38-41-44	4,5	0	0,82	2,82	1,42				2				2,00	2,5
2	39	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	40	3	40-43	3,5	0	2,10	5,10	1,18				1,5				4,00	1,83
2	41	3	38-41-44	4,5	0	1,23	4,23	1,42				2				3,00	2,5
2	42	2	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	2,00	2,00				2				2,00	0
2	43	2	40-43	3,5	3,5	1,40	3,40	1,18				1,5				2,67	1,83
2	44	6	38-41-44	4,5	4,5	2,45	8,45	1,42				1,5				8,00	2,5
2	45	2	45	10,5	10,5	10,50	12,50	0,32				0,5				8,00	4,5
2	46	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0
2	47	3	1-2-4-6-9-10-28-32-34-36-39-42-46-47	0	0	0,00	3,00	2,00				2				3,00	0

A Figura 148 e a Figura 149 mostram os gráficos de Gantt após o nivelamento. As atividades (3), (5), (7), (8), (11 até a 23), (27), (30), (31), (33), (35) (37), (39), (40), (43) e (45) ainda possuem folga, barras cor azul em todos os testes, a atividade (24, 25, 26, 29, 36, 39, 40) passou a ser crítica após o nivelamento do teste 13 (*buffer* 10%).

Figura 148 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 20: Testes 46 ao 49)

Figura 149 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 20: Teste50)

O prazo final da rede 20 não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica após a inserção do *buffer*. O nivelamento é realizado e o histograma obtido inicialmente e após cada teste pode ser identificado no Quadro 184. O recurso R01, comum em todas as atividades, apresentou resultados variados após a inserção dos *buffers* de alimentação.

A inserção do *buffer* de 30% e 40% aumento de 1 ut e conseqüentemente solicitação de demanda de recurso nesse período. Com a inserção de 50% o histograma apresentou um vale na 11ª ut. O recurso R03 se manteve constante nos testes 11 a 14. Sendo que o teste 15 apresentou o menor pico.

Os recursos R02, R03 e R04 apresentaram-se nivelados e com pico reduzido em todos os casos: R02 (inicial 6ur, nivelado para 5ur); R03 (inicial 8ur, nivelado para 7ur) e R04 (inicial 6ur, nivelado para 5ur).

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	Total
Inicial R01	0%	2	2	2	2	4	10	14	18	18	16	12	8	16	14	12	8	12	10	10	8	6	6	6	6	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2									240
Nivelado R01	10%	2	2	2	2	4	9	11.5	17	17	17	14	11	11.5	9.5	8	7.5	11.5	11.5	8.5	10	7.5	7.5	7.5	5.5	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2									242
	20%	2	2	2	2	4	9	11.5	17	17	17	14	11	11.5	9.5	8	7.5	11.5	11.5	8.5	10	9.5	8	8	8	6	3.5	2.5	2	2	2	2	2	2	2	2								248
	30%	2	2	2	2	4	9	11.5	17	17	17	14	11	11.5	9.5	7.5	7.5	7.5	10	8	8.5	9	9	7.5	7.5	7.5	5.5	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2					251	
	40%	2	2	2	2	4	9	11.5	17	17	15	13.5	10.5	11	9	9	7	7.5	7.5	8.5	8.5	8	8	7.5	7.5	7.5	7.5	4.5	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	250	
	50%	2	2	2	2	4	9	11.5	17	17	15	13.5	10.5	11	9	9	7	7	7.5	4	8.5	7.5	8	8	7.5	7.5	7.5	7	6	4	4.5	3.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2	2	2	2	251	
Inicial R02	0%								2	4	6	4	2	4	4	4																											30	
Nivelado R02	10%								1.5	3	5	5	3.5	2	2	2	2	2	2																									30
	20%								1.5	3	5	5	3.5	2	2	2	2	2	2																									30
	30%								1.5	3	5	5	3.5	2	2	2	2	2	2																									30
	40%								1.5	3	5	5	3.5	2	2	2	2	2	2																									30
	50%								1.5	3	5	5	3.5	2	2	2	2	2	2																									30
Inicial R03	0%						8	8	2	2																																		20
Nivelado R03	10%						7	7	3	3																																		20
	20%						7	7	3	3																																		20
	30%						7	7	3	3																																		20
	40%						7	7	3	3																																		20
	50%						7	7	3	3																																		20
Inicial R04	0%								6																																			6
Nivelado R04	10%								5	1																																		6
	20%								5	1																																		6
	30%								5	1																																		6
	40%								5	1																																		6
	50%								5	1																																		6

Quadro 184 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01, R02, R03 e R04

Análise de dados

O Quadro 185 apresenta uma matriz onde se identifica cada recurso aplicado nas redes do 2º conjunto de testes e os resultados obtidos após a aplicação do nivelamento com a inserção dos *buffers* de 10% a 50%.

Neste quadro pode-se constatar que os recursos que possuem nivelamento satisfatório (S), pois apresentam uma suavização das flutuações, ou seja, os picos e vales são reduzidos e a frequência em que se repete é minimizada e insatisfatória (I), onde as oscilações na demanda dos recursos se tornam evidentes.

Ao analisar os dados dos 50 testes pode-se concluir que o segundo conjunto realizado nas redes: 01, 02, 03, 07, 08, 11, 13, 14, 19 e 20 apresentaram melhor nivelamento quando foi utilizado o *buffer* de 20%. Dos 35 resultados 19 apresentaram-se uma condição de demanda melhor que a inicial. Vale ressaltar que, nenhum dos casos apresentou uma condição inferior a inicial, mas até a inserção do *buffer* de 30% os resultados não sofrem grandes variações. Mas a inserção dos *buffers* de 40% e 50% apresentou os piores resultados além de ocasionar aumento no prazo final.

Nivelamento		Inicial		Buffer										Observação
				10%		20%		30%		40%		50%		
		S/I	Pico	S/I	Pico	S/I	Pico	S/I	Pico	S/I	Pico	S/I	Pico	
Rede 1	R01	I	4	S	4	S	5	I	5	I	4	I	4	
	R03	S	5	S	5	S	5	S	5	I	4	I	4	
Rede 2	R01	I	6	I	4	I	4	I	4	I	4	I	4.5	
	R03	I	4	I	4	I	4	I	4	I	4	I	3.5	
	R04	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2	
Rede 3	R01	S	6	S	5.5	S	5.5	S	5.5	S	5.5	I	5	30% (1UT) 40% (1UT) 50%(1UT)
	R03	S	6	S	5.5	S	5.5	S	5.5	S	5.5	S	5	
	R04	I	2	S	2	S	2	S	2	S	2	S	3	
Rede 7	R01	I	6	I	7	I	7	I	7	I	7	I	4	
	R03	I	4	S	5.5	S	5.5	S	5.5	S	5.5	S	5.5	
	R04	S	2	S	3.5	S	3.5	S	3.5	S	3.5	S	3.5	
Rede 8	R01	I	6	I	4.5	I	4.5	I	4.5	I	4.5	I	4.5	
	R02	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2	S	2	
	R03	I	4	I	2.5	I	2.5	I	2.5	I	2.5	I	2.5	
	R04	I	2	I	2.5	I	2.5	I	2.5	I	2.5	I	2.5	
Rede 11	R01	I	12	I	11	I	11	I	11	I	11	I	11	
	R02	S	6	S	5.5	S	5.5	S	5.5	S	5.5	S	5.5	
	R03	I	4	S	5	S	5	S	5	I	4	S	5	
	R04	I	2	I	2	I	2	I	2	I	2	I	2	
Rede 13	R01	I	16	I	14.5	I	14.5	I	14.5	I	14	I	14	
	R02	I	6	I	5	I	5	I	5	I	5	I	5	
	R03	I	6	I	4.5	I	4.5	I	4.5	I	5.5	I	5.5	
	R04	I	4	I	4	I	4	I	4	I	4	I	4	
Rede 14	R01	I	12	S	12	S	12	S	12	I	12	I	11	20% (1 UT) 30% (2UT) 40% (3UT) 50%(4UT)
	R02	S	6	S	6	S	6	S	6	S	6	I	5.5	
	R03	S	8	S	7	S	7	S	7	S	7.5	S	7.5	
	R04	S	4	S	2.5	S	2.5	S	2.5	S	2.5	S	2	
Rede 19	R01	I	18	I	15.5	I	16	I	17	I	17	I	17	20% (1 UT) 30% (2UT) 40% (4UT) 50%(5UT)
	R02	I	6	I	5.5	I	5.5	I	6	I	6	I	6	
	R03	I	4	I	4	I	5.5	I	5.5	I	5.5	I	5.5	
	R04	I	4	I	1.5	S	3	S	3	S	3	S	3	
Rede 20	R01	I	18	I	17	I	17	I	17	I	17	I	17	20% (1 UT) 30% (4UT) 40% (7UT) 50%(8UT)
	R02	I	6	S	5	S	5	S	5	S	5	S	5	
	R03	S	8	S	7	S	7	S	7	S	7	S	7	
	R04	S	6	S	5	S	5	S	5	S	5	S	5	
Nivelamento satisfatório		12	34%	18	51%	19	54%	18	51%	15	43%	14	40%	
Nivelamento insatisfatório		23	66%	17	49%	16	46%	17	49%	20	57%	21	60%	

Quadro 185 Resultados de nivelamento do 2º conjunto

Ao analisar os picos de demanda de recurso (Quadro 186) identifica-se que dos 175 resultados, 24 (14%- itens na cor vermelha), apresentaram um pico maior que o da programação inicial.

Das 10 redes testadas, 4 (rede 3, 14, 19, 20) apresentaram extensão de prazo de até 8ut, após a inserção dos *buffers* de 30%, 40% e 50% e 3 redes (14, 19 e 20) estenderam seu prazo (em todos os casos em 1ut) ser inserido o *buffer* de 20%, somente a inserção do *buffer* de 10% não impactou no prazo final.

Foi analisado nesses testes o relaxamento da cadeia não-crítica protegida através da inserção dos *buffers*. Toda vez que o dimensionamento do *buffer* superou a folga da cadeia, ocasionou um aumento no prazo. Isto ocorreu ao serem inseridos *buffers* de 20% a 50% em 4 redes. Portanto, o que menos interfere no prazo final, gerando menor distorção na programação referencial e proporcionando melhor resultado no nivelamento foi o de 10%, que deverá ser aplicado nas 10 redes.

	10%		20%		30%		40%		50%	
Pico igual ao inicial	11	31%	9	26%	10	29%	11	31%	6	17%
Pico Maior que o inicial	5	14%	7	20%	7	20%	5	14%	6	17%
Pico menor que o inicial	19	54%	19	54%	18	51%	19	54%	23	66%

Quadro 186 Picos do 2º conjunto

COMPARAÇÃO DAS REGRAS: MINSCLK, ACTIM e RELAXAMENTO COM *BUFFER* 10% (Testes 01 a 60)

Nessa etapa dos trabalhos será feita uma análise comparativa entre as regras: MINSCLK (programar primeiro a atividade de menor folga total), analisada por Davis e Patterson (1975) em 83 testes; ACTIM (se atende primeiro a atividade que consome mais tempo), analisada por Morse *et al.* (1996) em 108 testes; e, a inserção do *buffer* de 10% relaxando a cadeia não-crítica com a utilização de relaxação com emprego da folga proporcional à duração. Para essa análise essas três regras serão aplicadas nas 20 redes lógicas descritas no Capítulo 3 e neste Apêndice serão apresentados: o gráfico de Gantt e o histograma após cada aplicação.

Rede 01 (Teste 01 a 03)

A Figura 150 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSCLK, ACTIM e relaxamento a partir da inserção do *buffer* de 10% da duração da cadeia não-crítica; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSCLK e ACTIM, não alteraram o histograma inicial, apresentando oscilação na demanda do recurso, no caso do R01, e ausência do R03 na 4ª e 5ª ut. Já a aplicação da regra proposta nesta tese apresentou aumento e redução gradativa de ambos os recursos, sendo o mais aconselhável para o nivelamento dessa rede.

Figura 150 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 01: Testes 01 a 03)

Rede 02 (Teste 04 a 06)

A Figura 151 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento a partir da inserção do *buffer* de 10% da duração da cadeia não-crítica; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK e ACTIM, alteraram o histograma inicial, apresentando oscilação na demanda do recurso R01, e aumento gradativo na demanda do recurso R03. Já a aplicação da regra proposta nesta tese apresentou oscilação na demanda do recurso R01 e R03.

Figura 151 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 02: Testes 04 a 06)

Rede 03 (Teste 07 a 09)

A Figura 152 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento a partir da inserção do *buffer* de 10% da duração da cadeia não-crítica; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial, apresentando aumento e redução gradativa na demanda dos recursos: R01, R02 e R03. Analisando os testes para o nivelamento todos os resultados apresentaram-se satisfatórios, mas as regras propostas nessa tese apresentaram menor pico.

Figura 152 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 03: Testes 07 a 09)

Rede 04 (Teste 10 a 12)

A Figura 153 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, pois a rede não permite a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. Em relação ao recurso R01 as regras MINSLK e ACTIM apresentaram um resultado mais satisfatório, mantendo-o constante durante todo o período, já a proposta nessa tese gerou um aumento e posterior redução gradativa na demanda dos recursos. Quanto ao recurso R02 as regras MINSLK e ACTIM proporcionaram uma ausência da demanda na 5ª ut, enquanto que a proposta nessa tese gerou um aumento e posterior redução gradativa na demanda. Quanto ao recurso R04 os resultados mais satisfatórios foram os proporcionados pela aplicação das regras ACTIM e MINSLK, pois a regra proposta nessa Tese gerou uma ausência na demanda deste recurso na 5ª ut.

Figura 153 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 04: Testes 10 a 12)

Rede 05 (Teste 13 a 15)

A Figura 154 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSK, ACTIM e o relaxamento a partir da inserção do *buffer* de 10% da duração da cadeia não-crítica; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial, apresentando oscilações na demanda do recurso R01, aumento e redução gradativa na demanda do recurso R02, com a aplicação das regras MINSK, ACTIM e oscilação com a regra proposta nessa Tese, além de demanda constante do R03, em todos os testes.

Figura 154 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 05: Testes 13 a 15)

Rede 06 (Teste 16 a 18)

A Figura 155 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e o relaxamento a partir da inserção do *buffer* de 10% da duração da cadeia não-crítica; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: oscilações na demanda do recurso R01, uso constante do recurso R02, aumento e redução gradativa do recurso R03, ausência do recurso R04, na 7ª e 9ª ut. A regra ACTIM apresentou aumento e redução gradativa na demanda do recurso R01, uso constante do recurso R02, ausência do recurso R03 na 5ª ut, e ausência do recurso R04 na 9ª ut. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda do recurso R01, uso constante do recurso R02, e oscilações no uso do recurso R03 e R04.

Figura 155 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 06: Testes 16 a 18)

Rede 07 (Teste 19 a 21)

A Figura 156 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e o relaxamento a partir da inserção do *buffer* de 10% da duração da cadeia não-crítica; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: oscilações e ausência na 4ª e 5ª ut no uso do recurso R03 e uso constante do recurso R04. A regra ACTIM apresentou: aumento e redução gradativa na demanda do recurso R01, ausência do recurso R03 na 3ª, 4ª e 5ª ut, e ausência do recurso R04 na 9ª ut. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda do recurso R01, aumento e redução gradativa dos recursos R03 e R04.

Figura 156 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 07: Testes 19 a 21)

Rede 08 (Teste 22 a 24)

A Figura 157 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSK, ACTIM e o relaxamento a partir da inserção do *buffer* de 10% da duração da cadeia não-crítica; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSK apresentou: oscilações na demanda do recurso R01, uso constante do recurso R02, ausência na 5ª ut no uso do recurso R03 e ausência no uso do recurso R04 na 6ª, 7ª, 9ª e 10ª. A regra ACTIM apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01, uso constante dos recursos R02 e R03, e ausência do recurso R04 na 9ª e 10ª ut. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda do recurso R01 e R03, uso constante do recurso R02, e ausência da demanda do recurso R04 na 8ª, 9ª e 10ª ut.

Figura 157 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 08: Testes 22 a 24)

Rede 09 (Teste 25 a 27)

A Figura 158 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e o relaxamento a partir da inserção do *buffer* de 10% da duração da cadeia não-crítica; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: oscilações na demanda do recurso R01 e R03, aumento e redução gradativa no uso do recurso R02, ausência da demanda na 9^a, 10^a e 12^a ut no uso do recurso R04. A regra ACTIM apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01, aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02 e R03, e ausência do recurso R04 na 12^a. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda do recurso R01, aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02 e R03, e ausência do recurso R04 na 12^a.

Figura 158 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 09: Testes 25 a 27)

Rede 10 (Teste 28 a 30)

A Figura 159 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, pois a rede não permite a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: aumento e redução gradativa na demanda do recurso R01 e R03, uso constante do recurso R02 e R04, ausência da demanda na 9^a, 10^a e 12^a ut no uso do recurso R04. A regra ACTIM apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01, uso constante do recurso R02, aumento e redução gradativa na demanda do recurso R03, e ausência do recurso R04 da 4^a a 9^a ut. A regra proposta nessa tese apresentou: aumento e redução gradativa na

demanda do recurso R01, uso constante do R02, oscilação na demanda do recurso R03, e ausência do recurso R04 na 9ª ut.

Figura 159 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 10: Testes 28 a 30)

Rede 11 (Teste 31 a 33)

A Figura 160 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. As regras MINSLK e ACTIM apresentaram: oscilação na demanda do recurso R01, aumento e redução gradativa na demanda de recurso R02; ausência da demanda na 4ª e 5ª ut no uso do recurso R03 e 5ª a 9ª ut do recurso R04. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda do recurso R01, aumento e redução gradativa do uso do recurso R02 e R03, e ausência do recurso R04 na 7ª ut.

Figura 160 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 11: Testes 31 a 33)

Rede 12 (Teste 34 a 36)

A Figura 161 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, pois a rede não permite a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: aumento e redução gradativa na demanda do recurso R01 e R02, uso constante do recurso R04 e ausência da demanda na 4ª ut no uso do recurso R03. A regra ACTIM apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01, aumento e redução gradativa na demanda do recurso R02 e R03, e ausência do recurso R04 na 8ª e 9ª ut. A regra proposta nessa tese apresentou: aumento e redução gradativa na demanda do recurso R01, R02, R03 e R04.

Figura 161 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 12: Testes 34 a 36)

Rede 13 (Teste 37 a 39)

A Figura 162 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R01 e R02, oscilação na demanda do recurso R03 e ausência da demanda na 6ª e 7ª ut no uso do recurso R04. A regra ACTIM apresentou: aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R01 e R02, e ausência na demanda dos recursos R03, na 3ª ut e R04, da 5ª e 7ª ut. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01, R02 e R03 e ausência na demanda do recurso R04, da 4ª a 7ª ut.

Figura 162 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 13: Testes 37 a 39)

Rede 14 (Teste 40 a 42)

A Figura 163 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSCLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma (Figura 164) resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSCLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSCLK apresentou: oscilação na demanda dos recursos R01, aumento e redução gradativa na demanda do recurso R02 e R03 e ausência da demanda na 11ª e 12ª ut no uso do recurso R04. A regra ACTIM apresentou: oscilação na demanda dos recursos R01, aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02, R03 e R04. A regra proposta nessa tese apresentou: aumento e redução constantes na demanda do recurso R01, R02, R03 e R04.

Figura 163 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 14: Testes 40 a 42)

HISTOGRAMA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Inicial R01		2	2	2	2	2	4	6	8	6	8	8	8	8	12	12	10	4	2	2	2
Nivelado R01	Buffer 10%	2	2	2	2	2	4	5.5	7	7	8	8.5	8.5	8.5	12	12	10	4	2	2	2
	Minsk	2	2	2	2	2	4	4	4	6	4	6	6	10	12	12	12	6	6	4	4
	ACTIM	2	2	2	2	2	4	4	4	6	4	6	6	4	8	8	12	12	10	6	4
Inicial R02											2	4	4	4	6	6	4				
Nivelado R02	Buffer 10%										2	4	4	4	6	6	4				
	Minsk										2	2	4	6	6	6	2	2			
	ACTIM										2	2	4	4	6	6	4	2			
Inicial R03							2	6	8	4											
Nivelado R03	Buffer 10%						2	5.5	7	5	1.5										
	Minsk						2	4	4	4	2	2	2								
	ACTIM						2	4	6	4	2	2									
Inicial R04										2	4										
Nivelado R04	Buffer 10%									2	2.5	0.5	0.5	0.5							
	Minsk									2	2			2							
	ACTIM									4	2	2									

Figura 164 Histograma após o nivelamento (Rede 14: Testes 40 a 42)

Rede 15 (Teste 43 a 45)

A Figura 165 e a Figura 166 apresentam o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. As regras MINSLK e ACTIM apresentaram: oscilações na demanda do recurso R01, aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02 e R03, e ausência da demanda na 10^a, 11^a e 12^aut (MINSLK) e 10^a e 12^a ut (ACTIM), no uso do recurso R04. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01e aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02, R03 e R04.

Figura 165 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 15: Testes 43 a 44)

Figura 166 Gráfico de Gantt (Teste 45) e Histograma após o nivelamento (Rede 15: Testes 43 a 45)

Rede 16 (Teste 46 a 48)

A Figura 167 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma (Figura 168) resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. As regras MINSLK e ACTIM apresentaram: aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R01 e R02, oscilação na demanda do recurso R03 e constância na demanda do recurso R04. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01e aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02, R03 e R04.

Figura 167 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 16: Testes 46 a 48)

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Inicial R01	2	2	2	2	2	2	6	4	8	6	6	6	8	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
Nivelado R01	Buffer 10%	2	2	2	2	2	2	4	4	6.5	6.5	4.5	3	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	3	2
	Minslk	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	8	8	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	2	2
	ACTIM	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	8	8	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	2	2
Inicial R02												2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Nivelado R02	Buffer 10%												3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2		
	Minslk											2	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
	ACTIM											2	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Inicial R03							4	4	4	4	2	2														
Nivelado R03	Buffer 10%						3.5	3.5	5	3.5	3.5	2														
	Minslk						4	4	2	2	4	4														
	ACTIM						4	4	2	2	4	4														
Inicial R04									4	2																
Nivelado R04	Buffer 10%								2.5	2.5	1	1	1													
	Minslk								2	2	2															
	ACTIM								2	2	2															

Figura 168 Histograma após o nivelamento (Rede 16: Testes 46 a 48)

Rede 17 (Teste 49 a 51)

A Figura 169 apresenta o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma (Figura 170) resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: oscilação na demanda do recurso R02, aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02 e R03 e constância na demanda do recurso R04. A regra ACTIM apresentou: oscilação na demanda do recurso R01, aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02 e R03, e ausência na demanda dos recursos R04, na 10^a ut. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01, aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R02, R03 e R04.

Figura 169 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 17: Testes 49 a 51)

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Inicial R01	2	2	2	2	2	2	6	6	14	14	14	10	8	8	8	6	4	8	8	6	4	4	4	2	2	2	2
Nivelado R01	2	2	2	2	2	2	4.5	4.5	10.5	12.5	11	12.5	11	9.5	7	5	5	8	8	8	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	2	
Buffer 10%	2	2	2	2	2	2	4	4	8	12	12	12	12	12	8	6	6	6	6	8	4	4	4	4	4	2	2
Minslk	2	2	2	2	2	2	4	4	8	10	12	10	8	8	8	6	6	8	8	10	6	6	4	4	4	4	
ACTIM	2	2	2	2	2	2	4	4	8	10	12	10	8	8	8	6	6	8	8	10	6	6	4	4	4	4	
Inicial R02										2	4	6	4	4	4	4	2										
Nivelado R02										1.5	3.5	3.5	5	3.5	3.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
Buffer 10%										2	4	4	4	4	4	4	2	2									
Minslk										2	4	4	4	4	4	4	2	2									
ACTIM										2	4	4	4	4	4	4	2	2									
Inicial R03							6	6	4	4																	
Nivelado R03							4.5	4.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1	1													
Buffer 10%							4	4	2	2	2	2	2	2	2												
Minslk							4	4	2	2	2	2	2	2	2												
ACTIM							4	4	2	2	2	2	2	2	2												
Inicial R04										6																	
Nivelado R04										5	3																
Buffer 10%										2	2	2															
Minslk										2	2	2															
ACTIM										2	2	2															

Figura 170 Histograma após o nivelamento (Rede 17: Testes 49 a 51)

Rede 18 (Teste 52 a 54)

A Figura 171 e a Figura 172 apresentam o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R01 e R02, e ausência na demanda dos recursos R03, na 3ª e R04, na 7ª ut. A regra ACTIM apresentou: aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R01 e R02, e oscilação na demanda dos recursos R03, e constância da demanda do recurso R04. A regra proposta nessa tese apresentou: aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R01 e R02, e ausência na demanda dos recursos R03, na 5ª ut e R04, na 7ª ut.

Figura 171 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 18: Testes 52)

Figura 172 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 18: Testes 53 a 54)

Rede 19 (Teste 55 a 57)

A Figura 173 e a Figura 174 apresentam o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. A regra MINSLK apresentou: oscilação na demanda dos recursos R01, R03 e R03 e ausência da demanda na 7ª ut do recurso R04. A regra ACTIM apresentou: oscilação na demanda dos recursos R01 e R03, aumento e redução gradativa na demanda do recurso R02, e ausência na demanda do recurso R04, na 6ª e 7ª ut. A regra proposta nessa tese apresentou: oscilações na demanda dos recursos R01, R02 e R03 e ausência na demanda do recurso R04, da 5ª a 7ª ut.

Figura 173 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 19: Testes 55 e 56)

Figura 174 Gráfico de Gantt e histograma após o nivelamento (Rede 19: Testes 57)

Rede 20 (Teste 58 a 60)

A Figura 175e a Figura 176 apresentam o gráfico de Gantt após a aplicação da regra: MINSLK, ACTIM e relaxamento da duração da cadeia não-crítica, após a inserção do *buffer* de 10%; e o histograma resultante dessa aplicação. Verifica-se que as regras MINSLK, ACTIM e a proposta nesta tese alteraram o histograma inicial. Todas as regras apresentaram: oscilação na demanda do recurso R01, aumento e redução gradativa na demanda dos recursos R03 e R04. Ao analisar o recurso R02 identifica-se que a regra ACTIM apresentou ausência na demanda na 14^a ut, já a regra proposta nessa tese e a MINSLK apresentaram aumento e redução gradativa na demanda.

Figura 175 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Rede 20: Testes 58 e 59)

Figura 176 Gráfico de Gantt(Teste 60) e histograma após o nivelamento (Rede 20: Testes 58 a 60)

Análise dos dados

A Figura 177 contém uma análise dos 60 testes realizados nas 20 redes, propiciando o nivelamento de 72 recursos, nessa etapa do trabalho com o objetivo de fazer uma comparação entre: a melhor regra proposta por Davis e Patterson (1975), MINLSK, a melhor regra proposta por Morse *et al.* (1996), ACTIM, e a regra heurística proposta nessa tese.

Nessa figura constam na primeira coluna as redes, na segunda coluna cada recurso aplicado na sua respectiva rede; a terceira (Inicial), quarta (Proposta nesta tese), quinta (MINLSK) e sexta (ACTIM) colunas são divididas em duas sub-colunas, na primeira sub-coluna (S/I) é relativa a análise do

histograma sumarizando se os resultados obtidos não satisfatórios (S) ou insatisfatórios (I), e na segunda sub-coluna consta o pico relativo a demanda de cada recursos.

O nivelamento é considerado satisfatório caso a demanda de recursos aumente e depois diminua gradativamente, ou se mantenha constante, sem apresentar picos e vales ou oscilações (aumento-redução-aumento ou redução-aumento-redução-aumento). Quando ocorrem estas flutuações o nivelamento é considerado insatisfatório.

Ainda neste quadro foi destacado:

- Na cor vermelha - o pico de recurso maior que o valor inicial;
- Na cor azul – o pico de recurso menor que o inicial;
- Na cor verde - o pico de recurso igual ao inicial

Nivelamento		INICIAL		TESE		MINSK		ACTIM	
		S/I	Pico	S/I	Pico	S/I	Pico	S/I	Pico
Rede 1	R01	I	4	S	5	I	4	I	4
	R03	I	4	S	5	I	4	I	4
Rede 2	R01	I	6	I	4	I	4	I	4
	R03	I	4	I	4	S	4	S	4
Rede 3	R01	S	6	S	5.5	S	6	S	6
	R03	S	6	S	5.5	S	6	S	6
Rede 4	R01	I	8	S	5.5	S	4	S	4
	R03	I	4	S	4.5	I	4	I	4
Rede 5	R01	I	4	I	4.5	I	4	I	4
	R03	I	4	I	4.5	S	4	S	4
Rede 6	R01	I	8	I	7	I	6	S	6
	R03	I	6	I	5	S	4	I	4
Rede 7	R01	I	6	I	7	I	6	I	6
	R03	I	4	S	5.5	I	4	I	4
Rede 8	R01	I	6	I	4.5	I	4	I	4
	R03	I	4	I	2.5	I	4	S	2
Rede 9	R01	I	12	I	11	I	12	I	12
	R03	S	6	S	5.5	S	6	S	6
Rede 10	R01	I	8	S	6.5	S	8	I	8
	R03	I	4	I	4	S	4	S	4
Rede 11	R01	I	12	I	11	I	12	I	12
	R03	I	4	S	5	I	4	I	4
Rede 12	R01	S	10	S	10	S	8	I	8
	R03	S	4	S	3.5	S	4	S	4
Rede 13	R01	I	16	I	14.5	I	14	S	16
	R03	I	6	I	5	S	6	S	8
Rede 14	R01	I	12	S	12	I	12	I	12
	R03	S	8	S	7	S	4	S	6
Rede 15	R01	I	10	I	9	I	8	I	10
	R03	S	4	S	4	S	4	S	4
Rede 16	R01	I	8	I	6.5	S	8	S	8
	R03	S	4	S	5	I	4	I	4
Rede 17	R01	I	14	I	12.5	I	12	I	12
	R03	S	6	S	5	S	4	I	4
Rede 18	R01	S	20	S	18	S	22	S	18
	R03	I	6	I	5.5	I	6	I	4
Rede 19	R01	I	18	I	16	I	18	I	16
	R03	I	4	I	4	I	4	I	4
Rede 20	R01	I	18	I	17	I	14	I	16
	R03	S	8	S	7	S	4	S	4

Figura 177 Análise dos 60 testes

Das 72 expectativas de demanda de recursos da programação referencial inicial, 27 já se apresentavam satisfatoriamente nivelados e 45 eram insatisfatórios. A regra MINSLK nivelou satisfatoriamente 37 recursos, 51% do total. A regra ACTIM nivelou satisfatoriamente 36 recursos, 50% do total. E a regra heurística proposta nessa tese nivelou de forma satisfatória 39 recursos, 54% do total (Quadro 187).

	<u>INICIAL</u>		<u>TESE</u>		<u>MINSLK</u>		<u>ACTIM</u>	
Nivelamento satisfatório	27	38%	39	54%	37	51%	36	50%
Nivelamento insatisfatório	45		33		35		36	

Quadro 187 Resultados Comparativo

Ao analisar o pico da demanda de recurso em relação ao inicial (Quadro 188), obtido a partir da aplicação de cada regra verifica-se que:

- A regra MINSLK apresentou 61% dos picos da demanda dos recursos iguais ao cenário inicial (44 casos); 6% são maiores que o inicial (4 casos) e 33% menores que o inicial (24 casos). Das regras aplicadas foi a que menos alterou o pico da demanda em relação ao cenário inicial e a que apresentou o menor número de picos maiores que o inicial;
- A regra ACTIM apresentou 58% dos picos da demanda dos recursos iguais ao inicial (42 casos); 8% maiores que o inicial (6 casos) e 33% menores que o inicial (24 casos);
- A regra proposta nesta Tese apresentou 21% dos picos da demanda dos recursos iguais ao inicial (15 casos); 21% maiores que o inicial (15 casos) e 58% menores que o inicial (42 casos). Das regras aplicadas foi a que mais reduziu o pico em relação ao inicial e também a que mais aumentou o pico em relação ao inicial, em relação ao que se propõem o nivelamento de recursos (redução de picos e vales) isso não seriam uma vantagem nem uma desvantagem, pois se pode ter picos maiores e recursos nivelados. Mas a depender da escassez de mão-de-obra no mercado, a redução do pico de mão-de-obra pode ser uma vantagem;

	<u>TESE</u>		<u>MINSLK</u>		<u>ACTIM</u>	
Pico igual ao inicial	15	21%	44	61%	42	58%
Pico Maior que o inicial	15	21%	4	6%	6	8%
Pico menor que o inicial	42	58%	24	33%	24	33%

Quadro 188 Análise dos picos da demanda de recurso

Vale destacar que:

- Nenhuma regra se mostrou superior em todos os casos;
- Quanto maior o porte da rede mais difícil o nivelamento;
- Quanto maior o número de recursos envolvidos mais difícil a aplicação das regras;
- Na regra proposta nesta Tese as cadeias devem sair e chegar na cadeia crítica. Quando uma cadeia deriva da cadeia crítica e ramifica em duas redes, a duração dessa cadeia deve ser considerada em uma única cadeia e deve ser subtraída da folga livre da outra cadeia;
- A regra aqui proposta demonstra um nível de eficácia igual ou superior ao das melhores regras propostas até o momento.

APÊNDICE 7 – ESTUDO DE CASO PARA DEMONSTRAÇÃO DA APLICABILIDADE

Introdução

O objetivo desta etapa dos trabalhos é demonstrar a aplicabilidade e abrangência do método de nivelamento apresentada no capítulo 3, a partir da aplicação dos princípios e critérios de programação preconizados pela TOC testados no Apêndice 5 e 6.

A metodologia para o detalhamento e validação deste processo de nivelamento é a mesma empregada por Davis e Patterson (1975), Olagübel (1989), Morse *et al.* (1996) e Silva (1999) para situações análogas.

Consiste no estabelecimento de um conjunto de redes lógicas referenciais, com carregamentos capazes de mostrar o comportamento dos métodos e regras em avaliação em situações-limite.

O trabalho original de Davis e Patterson, 1975 permite uma comparação de eficiência de um conjunto de regras heurísticas *versus* soluções numéricas de otimização para a alocação de recursos.

Isto permite avaliar o grau de eficiência deste conjunto de regras heurísticas e usá-las como referenciais para a avaliação do desempenho de outras regras.

Característica da Empresa A

A empresa A atua no setor de construção civil como construtora e incorporadora, executando obras residenciais, comerciais e industriais para os setores públicos e os privados. Possui certificação: ISO 9001:2000; Qualiop nível A; PBQP-H nível A; Qualihab nível A, mas, desde 2003, não faz manutenção, buscando melhorias incrementais desvinculadas aos programas de qualidade.

Esta empresa possui sede em Salvador e uma filial em São Paulo. No momento da pesquisa tinha 08 obras em andamento na Bahia (sendo 3 obras de incorporação e 5 obras públicas) e 01 obras em São Paulo (residencial de médio padrão).

Característica do Empreendimento – Obra A

A obra A é localizada em Itaquaquecetuba, com área construída de 3.907,91 m², possuindo 3 blocos, com 4 pavimentos (tipos); sendo 4 apartamento por andar, com 42,6 m² (área útil) dividido em: 2 dormitórios, 1 sala, 1 cozinha e 1 banheiro.

O prazo para conclusão da obra era de 24 meses, com início em janeiro de 2007. Sendo a 1ª fase entregue em dezembro de 2007 (01 torre) e a 2ª fase entregue em dezembro de 2008 (duas torres). O planejamento contemplava somente a 1ª fase. O sistema construtivo adotado incluía:

- Estrutura convencional – pilares, vigas de concreto armado 20 MPA;
- pré-lajes moldada in loco com espessura de 8cm em concreto armado de 20MPa, armado com tela soldada;
- vergas e contra-vergas pré-moldada;
- cinta de amarração no respaldo da alvenaria;
- telhado com estrutura em madeira e telhas de fibrocimento de 8mm;
- impermeabilizações de áreas molhadas com asfalto a frio;
- acabamento de piso: cerâmica cozinha, banheiro e hall, cimentado na escada, sala e quartos ;
- acabamento de paredes internas: massa única sobre alvenaria com pintura em látex PVA; nas áreas molhadas cerâmica;
- acabamento de tetos: pintura sobre laje e forro de gesso em cozinha e banheiros;
- acabamento de paredes externas: chapisco, massa única e pintura com tinta látex acrílica;

A Figura 178 representa a obra na fase final de entrega, após 24 meses de execução, em março de 2008.

Figura 178 Foto da obra residencial vertical

Dados de entrada

A obra estudada possuía uma programação inicial elaborada pela equipe de produção em conjunto com a empresa de consultoria e dela se obteve os dados descritos nos Quadro 189 ao Quadro 200, onde está listada a estrutura do carregamento da rede. Este quadro é similar as usadas no Apêndice 5 e 6. As atividades são as mesmas do planejamento da obra só que representadas conforme o modelo de *WBS* proposto no Apêndice 2 ; a quantidade de escopo, também retirada do planejamento havia sido calculada pela equipe da obra a partir dos projetos e especificações; os índices aqui utilizados foram obtidos do banco de dados da empresa de construção; a demanda de recursos foi obtida do planejamento inicial.

ID	ATIVIDADE	ESCOPO		ÍNDICE		RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO		
1	EAP - EMPREENDIMENTO MODELO									
2	TORRE A									
3	SERVIÇOS PRELIMINARES									
4	SUPRESSÃO VEGETAL									
5	SUPRESSÃO DE ARVORES	1062	m2	0.2	ut R01/m2	R08	8.0	27	ut	
6	LOCAÇÃO									
7	GABARITO	1062	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	133	ut	
8	INFRAESTRUTURA			0.5	ut R08/m2	R08	4.0			
9	FUNDAÇÃO									
10	SAPATAS									
11	ESCAVAÇÃO MANUAL	139	m3	4	ut R08/m3	R08	8.0	70	ut	
12	CONCRETO MAGRO	4	m3	3	ut R01/m3	R01	1.0	12	ut	
				9	ut R08/m3	R08	3.0			
13	FORMA	140	m2	1	ut R02/m2	R02	6.0	23	ut	
				1	ut R08/m2	R08	6.0			
14	ARMADURA	1225	kg	0.1	ut R03/kg	R03	6.0	20	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	6.0			
15	CONCRETO ESTRUTURAL	17.5	m3	3	ut R01/m3	R01	2.0	26	ut	
				6	ut R08/m3	R08	4.0			
16	REATERRO	122	m3	2	ut R08/m3	R08	4.0	61	ut	
				0.4	ut R02/m2	R02	2.0			
17	DESFORMA	140	m2	0.4	ut R08/m2	R08	2.0	28	ut	
18 LAJE DE IMPERMEABILIZAÇÃO										
19	Laje de impermeabilização	176	m2	4	ut R01/m2	R01	6.0	117	ut	
				2	ut R08/m2	R08	3.0			
20 SUPERESTRUTURA										
21 ESTRUTURA										
22 FORMA										
23	Pilar do 1o	90	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	11	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
24	Viga e laje do 1o	262	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	33	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
25	Pilar do 2o	90	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	11	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
26	Viga e laje do 2o	262	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	33	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
27	Pilar do 3o	90	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	11	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
28	Viga e laje do 3o	262	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	33	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
29	Pilar do 4o	90	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	11	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
30	Viga e laje do 4o	262	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	33	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
31	Pilar do 5o	90	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	11	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
32	Viga e laje do 5o	262	m2	1	ut R02/m2	R02	8.0	33	ut	
				1	ut R08/m2	R08	8.0			
33 ARMADURA										
34	Pilar do 1o	785	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	10	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
35	Viga e laje do 1o	3122	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	39	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
36	Pilar do 2o	785	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	10	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
37	Viga e laje do 2o	3122	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	39	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
38	Pilar do 3o	785	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	10	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
39	Viga e laje do 3o	3122	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	39	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
40	Pilar do 4o	785	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	10	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
41	Viga e laje do 4o	3122	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	39	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
42	Pilar do 5o	785	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	10	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			
43	Viga e laje do 5o	3122	kg	0.1	ut R03/kg	R03	8.0	39	ut	
				0.1	ut R08/kg	R08	8.0			

Quadro 189 Estrutura do Carregamento – Atividade 1 a 43

ID	ATIVIDADE	ESCOPO		ÍNDICE		RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO	
44	CONCRETO								
45	Pilar do 1o	11	m3	3	ut R01/m3	R01	6.0	6	ut
46	Viga e laje do 1o	45	m3	6	ut R08/m3	R08	12.0	23	ut
				3	ut R01/m3	R01	6.0		
47	Pilar do 2o	11	m3	6	ut R08/m3	R08	12.0	6	ut
				3	ut R01/m3	R01	6.0		
48	Viga e laje do 2o	45	m3	6	ut R08/m3	R08	12.0	23	ut
				3	ut R01/m3	R01	6.0		
49	Pilar do 3o	11	m3	6	ut R08/m3	R08	12.0	6	ut
				3	ut R01/m3	R01	6.0		
50	Viga e laje do 3o	45	m3	6	ut R08/m3	R08	12.0	23	ut
51	Pilar do 4o	11	m3	3	ut R01/m3	R01	6.0	6	ut
				6	ut R08/m3	R08	12.0		
52	Viga e laje do 4o	45	m3	3	ut R01/m3	R01	6.0	23	ut
				6	ut R08/m3	R08	12.0		
53	Pilar do 5o	11	m3	6	ut R08/m3	R08	12.0	6	ut
				3	ut R01/m3	R01	6.0		
54	Viga e laje do 5o	45	m3	6	ut R08/m3	R08	12.0	23	ut
55	DESFORMA								
56	Pilar do 1o	90	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	6	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
57	Viga e laje do 1o	262	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	17	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
58	Pilar do 2o	90	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	6	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
59	Viga e laje do 2o	262	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	17	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
60	Pilar do 3o	90	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	6	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
61	Viga e laje do 3o	262	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	17	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
62	Pilar do 4o	90	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	6	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
63	Viga e laje do 4o	262	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	17	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
64	Pilar do 5o	90	m2	0.4	ut R02/m2	R02	6.0	6	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	6.0		
65	Viga e laje do 5o	262	m2	0.4	ut R08/m2	R08	6.0	17	ut
66	REESCORAMENTO								
67	Laje do 1o	176	m2	0.2	ut R02/m2	R02	4.0	9	ut
68	Laje do 2o	176	m2	0.2	ut R02/m2	R02	4.0	9	ut
69	Laje do 3o	176	m2	0.2	ut R02/m2	R02	4.0	9	ut
70	Laje do 4o	176	m2	0.2	ut R02/m2	R02	4.0	9	ut
71	Laje do 5o	176	m2	0.2	ut R02/m2	R02	4.0	9	ut
72	DESCIMBRAMENTO								
73	Laje do 1o	176	m2	0.1	ut R02/m2	R02	4.0	4	ut
74	Laje do 2o	176	m2	0.1	ut R02/m2	R02	4.0	4	ut
75	Laje do 3o	176	m2	0.1	ut R02/m2	R02	4.0	4	ut
76	Laje do 4o	176	m2	0.1	ut R02/m2	R02	4.0	4	ut
77	Laje do 5o	176	m2	0.1	ut R02/m2	R02	4.0	4	ut
78	LIMPEZA DA ESTRUTURA								
79	1o-Limpeza da estrutura	176	m2	0.1	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
80	2o-Limpeza da estrutura	176	m2	0.1	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
81	3o-Limpeza da estrutura	176	m2	0.1	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
82	4o-Limpeza da estrutura	176	m2	0.1	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
83	5o-Limpeza da estrutura	176	m2	0.1	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
84	VEDAÇÕES								
85	ALVENARIA/FECHAMENTOS								
86	MARCAÇÃO								
87	1o-Marcação	240	m	0.5	ut R01/m	R01	6.0	20	ut
				0.5	ut R08/m	R08	6.0		
88	2o-Marcação	240	m	0.5	ut R01/m	R01	6.0	20	ut
				0.5	ut R08/m	R08	6.0		
89	3o-Marcação	240	m	0.5	ut R01/m	R01	6.0	20	ut
				0.5	ut R08/m	R08	6.0		
90	4o-Marcação	240	m	0.5	ut R01/m	R01	6.0	20	ut
				0.5	ut R08/m	R08	6.0		
91	5o-Marcação	240	m	0.5	ut R01/m	R01	6.0	20	ut
				0.5	ut R08/m	R08	6.0		

Quadro 190 Estrutura do Carregamento – Atividade 44 a 91

ID	ATIVIDADE	ESCOPO	ÍNDICE	RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO
92	LEVANTE					
93	1o-Levante	672	m2	1.5 ut R01/m2 0.5 ut R08/m2	R01 12.0 R08 4.0	84 ut
94	2o-Levante	672	m2	1.5 ut R08/m2 0.5 ut R08/m2	R01 12.0 R08 4.0	84 ut
95	3o-Levante	672	m2	1.5 ut R08/m2 0.5 ut R08/m2	R01 12.0 R08 4.0	84 ut
96	4o-Levante	672	m2	1.5 ut R08/m2 0.5 ut R08/m2	R01 12.0 R08 4.0	84 ut
97	5o-Levante	672	m2	1.5 ut R08/m2 0.5 ut R08/m2	R01 12.0 R08 4.0	84 ut
98	VERGAS-CONTRAVERGAS					
99	1o-Vergas e contra-vergas	32	m	0.4 ut R01/m 0.4 ut R08/m	R01 2.0 R08 2.0	6 ut
100	2o-Vergas e contra-vergas	32	m	0.4 ut R01/m 0.4 ut R08/m	R01 2.0 R08 2.0	6 ut
101	3o-Vergas e contra-vergas	32	m	0.4 ut R01/m 0.4 ut R08/m	R01 2.0 R08 2.0	6 ut
102	4o-Vergas e contra-vergas	32	m	0.4 ut R01/m 0.4 ut R08/m	R01 2.0 R08 2.0	6 ut
103	5o-Vergas e contra-vergas	32	m	0.4 ut R01/m 0.4 ut R08/m	R01 2.0 R08 2.0	6 ut
104	FIXAÇÃO					
105	1o-Fixação	240	m	0.4 ut R01/m 0.2 ut R08/m	R01 6.0 R08 3.0	16 ut
106	2o-Fixação	240	m	0.4 ut R01/m 0.2 ut R08/m	R01 6.0 R08 3.0	16 ut
107	3o-Fixação	240	m	0.4 ut R01/m 0.2 ut R08/m	R01 6.0 R08 3.0	16 ut
108	4o-Fixação	240	m	0.4 ut R01/m 0.2 ut R08/m	R01 6.0 R08 3.0	16 ut
109	5o-Fixação	240	m	0.4 ut R01/m 0.2 ut R08/m	R01 6.0 R08 3.0	16 ut
110	REVESTIMENTOS					
111	REVESTIMENTO DE PAREDES					
112	MESTRA					
113	1o-Mestra	784	m2	0.6 ut R01/m2 0.3 ut R08/m2	R01 12.0 R08 6.0	39 ut
114	2o-Mestra	784	m2	0.6 ut R01/m2 0.3 ut R08/m2	R01 12.0 R08 6.0	39 ut
115	3o-Mestra	784	m2	0.6 ut R01/m2 0.3 ut R08/m2	R01 12.0 R08 6.0	39 ut
116	4o-Mestra	784	m2	0.6 ut R01/m2 0.3 ut R08/m2	R01 12.0 R08 6.0	39 ut
117	5o-Mestra	784	m2	0.6 ut R01/m2 0.3 ut R08/m2	R01 12.0 R08 6.0	39 ut
118	CHAPISCO					
119	1o-Chapisco	784	m2	0.12 ut R01/m2 0.06 ut R08/m2	R01 4.0 R08 2.0	24 ut
120	2o-Chapisco	784	m2	0.12 ut R01/m2 0.06 ut R08/m2	R01 4.0 R08 2.0	24 ut
121	3o-Chapisco	784	m2	0.12 ut R01/m2 0.06 ut R08/m2	R01 4.0 R08 2.0	24 ut
122	4o-Chapisco	784	m2	0.12 ut R01/m2 0.06 ut R08/m2	R01 4.0 R08 2.0	24 ut
123	5o-Chapisco	784	m2	0.12 ut R01/m2 0.06 ut R08/m2	R01 4.0 R08 2.0	24 ut
124	MASSA ÚNICA					
125	1o-Massa única	568	m2	0.8 ut R01/m2 0.4 ut R08/m2	R01 6.0 R08 3.0	76 ut
126	2o-Massa única	568	m2	0.8 ut R01/m2 0.4 ut R08/m2	R01 6.0 R08 3.0	76 ut
127	3o-Massa única	568	m2	0.8 ut R01/m2 0.4 ut R08/m2	R01 6.0 R08 3.0	76 ut
128	4o-Massa única	568	m2	0.8 ut R01/m2 0.4 ut R08/m2	R01 6.0 R08 3.0	76 ut
129	5o-Massa única	568	m2	0.8 ut R01/m2 0.4 ut R08/m2	R01 6.0 R08 3.0	76 ut

Quadro 191 Estrutura do Carregamento – Atividade 92 a 129

ID	ATIVIDADE	ESCOPO	ÍNDICE		RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO		
130	EMBOÇO								
				0.8	ut R01/m2	R01	10.0		
131	1o-Emboço	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	2.5	17	ut
				0.8	ut R01/m2	R01	10.0		
132	2o-Emboço	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	2.5	17	ut
				0.8	ut R01/m2	R01	10.0		
133	3o-Emboço	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	2.5	17	ut
				0.8	ut R01/m2	R01	10.0		
134	4o-Emboço	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	2.5	17	ut
				0.8	ut R01/m2	R01	10.0		
135	5o-Emboço	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	2.5	17	ut
136	REVESTIMENTO EM PISO								
137	MESTRA								
				0.6	ut R01/m2	R01	4.0		
138	1o-Mestra	176	m2	0.3	ut R08/m2	R08	2.0	26	ut
				0.6	ut R01/m2	R01	4.0		
139	2o-Mestra	176	m2	0.3	ut R08/m2	R08	2.0	26	ut
				0.6	ut R01/m2	R01	4.0		
140	3o-Mestra	176	m2	0.3	ut R08/m2	R08	2.0	26	ut
				0.6	ut R01/m2	R01	4.0		
141	4o-Mestra	176	m2	0.3	ut R08/m2	R08	2.0	26	ut
				0.6	ut R01/m2	R01	4.0		
142	5o-Mestra	176	m2	0.3	ut R08/m2	R08	2.0	26	ut
143	CONTRA-PISO								
				0.8	ut R01/m2	R01	4.0		
144	1o-Contra-piso	80	m2	0.4	ut R08/m2	R08	2.0	16	ut
				0.8	ut R01/m2	R01	4.0		
145	2o-Contra-piso	80	m2	0.4	ut R08/m2	R08	2.0	16	ut
				0.8	ut R01/m2	R01	4.0		
146	3o-Contra-piso	80	m2	0.4	ut R08/m2	R08	2.0	16	ut
				0.8	ut R01/m2	R01	4.0		
147	4o-Contra-piso	80	m2	0.4	ut R08/m2	R08	2.0	16	ut
				0.8	ut R01/m2	R01	4.0		
148	5o-Contra-piso	80	m2	0.4	ut R08/m2	R08	2.0	16	ut
149	CIMENTADO								
				0.6	ut R01/m2	R01	8.0		
150	1o-Cimentado	96.57	m2	0.3	ut R08/m2	R08	4.0	7	ut
				0.6	ut R01/m2	R01	8.0		
151	2o-Cimentado	96.57	m2	0.3	ut R08/m2	R08	4.0	7	ut
				0.6	ut R01/m2	R01	8.0		
152	3o-Cimentado	96.57	m2	0.3	ut R08/m2	R08	4.0	7	ut
				0.6	ut R01/m2	R01	8.0		
153	4o-Cimentado	96.57	m2	0.3	ut R08/m2	R08	4.0	7	ut
				0.6	ut R01/m2	R01	8.0		
154	5o-Cimentado	96.57	m2	0.3	ut R08/m2	R08	4.0	7	ut
155	REVESTIMENTO EXTERNO - FACHADA								
				0.45	ut R02/m2	R02	15.0		
156	MONTAGEM DE ANDAIME	1400	m2	0.15	ut R08/m2	R08	5.0	42	ut
157	LIMPEZA								
158	1o-Limpeza Fachada	280	m2	0.4	ut R08/m2	R08	10.0	11	ut
159	2o-Limpeza Fachada	280	m2	0.4	ut R08/m2	R08	10.0	11	ut
160	3o-Limpeza Fachada	280	m2	0.4	ut R08/m2	R08	10.0	11	ut
161	4o-Limpeza Fachada	280	m2	0.4	ut R08/m2	R08	10.0	11	ut
162	5o-Limpeza Fachada	280	m2	0.4	ut R08/m2	R08	10.0	11	ut
163	REJUNTAMENTO DE BLOCOS								
				0.25	ut R01/m2	R01	10.0		
164	1o-Rejuntamento Fachada	280	m2	0.125	ut R08/m2	R08	5.0	7	ut
				0.25	ut R01/m2	R01	10.0		
165	2o-Rejuntamento Fachada	280	m2	0.125	ut R08/m2	R08	5.0	7	ut
				0.25	ut R01/m2	R01	10.0		
166	3o-Rejuntamento Fachada	280	m2	0.125	ut R08/m2	R08	5.0	7	ut
				0.25	ut R01/m2	R01	10.0		
167	4o-Rejuntamento Fachada	280	m2	0.125	ut R08/m2	R08	5.0	7	ut
				0.25	ut R01/m2	R01	10.0		
168	5o-Rejuntamento Fachada	280	m2	0.125	ut R08/m2	R08	5.0	7	ut

Quadro 192 Estrutura do Carregamento – Atividade 130 a 168

ID	ATIVIDADE	ESCOPO		ÍNDICE		RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO		
169	PONTO E TALISCAMENTO									
170	1o-Ponto e talisca Fachada	280	m2	0.25	ut R01/m2	R01	10.0	7	ut	
171	2o-Ponto e talisca Fachada	280	m2	0.25	ut R01/m2	R01	10.0	7	ut	
172	3o-Ponto e talisca Fachada	280	m2	0.25	ut R01/m2	R01	10.0	7	ut	
173	4o-Ponto e talisca Fachada	280	m2	0.25	ut R01/m2	R01	10.0	7	ut	
174	5o-Ponto e talisca Fachada	280	m2	0.25	ut R01/m2	R01	10.0	7	ut	
175	CHAPISCO									
176	1o-Chapisco Fachada	280	m2	0.12	ut R01/m2	R01	10.0	3	ut	
				0.12	ut R08/m2	R08	10.0			
177	2o-Chapisco Fachada	280	m2	0.12	ut R01/m2	R01	10.0	3	ut	
				0.12	ut R08/m2	R08	10.0			
178	3o-Chapisco Fachada	280	m2	0.12	ut R01/m2	R01	10.0	3	ut	
				0.12	ut R08/m2	R08	10.0			
179	4o-Chapisco Fachada	280	m2	0.12	ut R01/m2	R01	10.0	3	ut	
				0.12	ut R08/m2	R08	10.0			
180	5o-Chapisco Fachada	280	m2	0.12	ut R01/m2	R01	10.0	3	ut	
				0.12	ut R08/m2	R08	10.0			
181	MASSA ÚNICA									
182	1o-Massa única	280	m2	1	ut R01/m2	R01	15.0	19	ut	
				0.5	ut R08/m2	R08	7.5			
183	2o-Massa única	280	m2	1	ut R01/m2	R01	15.0	19	ut	
				0.5	ut R08/m2	R08	7.5			
184	3o-Massa única	280	m2	1	ut R01/m2	R01	15.0	19	ut	
				0.5	ut R08/m2	R08	7.5			
185	4o-Massa única	280	m2	1	ut R01/m2	R01	15.0	19	ut	
				0.5	ut R08/m2	R08	7.5			
186	5o-Massa única	280	m2	1	ut R01/m2	R01	15.0	19	ut	
				0.5	ut R08/m2	R08	7.5			
187	INSTALAÇÕES									
188	INSTALAÇÕES ELÉTRICA									
189	ELETRODUTO EM LAJE									
190	1o- Eletroduto em laje	4	ap	2	ut R06/ap	R06	2.0	4	ut	
				2	ut R08/ap	R08	2.0			
191	2o- Eletroduto em laje	4	ap	2	ut R06/ap	R06	2.0	4	ut	
				2	ut R08/ap	R08	2.0			
192	3o- Eletroduto em laje	4	ap	2	ut R06/ap	R06	2.0	4	ut	
				2	ut R08/ap	R08	2.0			
193	4o- Eletroduto em laje	4	ap	2	ut R06/ap	R06	2.0	4	ut	
				2	ut R08/ap	R08	2.0			
194	5o- Eletroduto em laje	4	ap	2	ut R06/ap	R06	2.0	4	ut	
				2	ut R08/ap	R08	2.0			
195	ELETRODUTOS E CAIXAS ELETRICAS EM ALVENARIAS									
196	1o - Eletroduto e cx em alvenaria	4	ap	4	ut R06/ap	R06	2.0	8	ut	
				4	ut R08/ap	R08	2.0			
197	2o- Eletroduto e cx em alvenaria	4	ap	4	ut R06/ap	R06	2.0	8	ut	
				4	ut R08/ap	R08	2.0			
198	3o- Eletroduto e cx em alvenaria	4	ap	4	ut R06/ap	R06	2.0	8	ut	
				4	ut R08/ap	R08	2.0			
199	4o- Eletroduto e cx em alvenaria	4	ap	4	ut R06/ap	R06	2.0	8	ut	
				4	ut R08/ap	R08	2.0			
200	5o- Eletroduto e cx em alvenaria	4	ap	4	ut R06/ap	R06	2.0	8	ut	
				4	ut R08/ap	R08	2.0			
201	FIAÇÃO									
202	1o-Fiação	4	ap	8	ut R06/ap	R06	2.0	16	ut	
				8	ut R08/ap	R08	2.0			
203	2o-Fiação	4	ap	8	ut R06/ap	R06	2.0	16	ut	
				8	ut R08/ap	R08	2.0			
204	3o-Fiação	4	ap	8	ut R06/ap	R06	2.0	16	ut	
				8	ut R08/ap	R08	2.0			
205	4o-Fiação	4	ap	8	ut R06/ap	R06	2.0	16	ut	
				8	ut R08/ap	R08	2.0			
206	5o-Fiação	4	ap	8	ut R06/ap	R06	2.0	16	ut	
				8	ut R08/ap	R08	2.0			

Quadro 193 Estrutura do Carregamento – Atividade 169 a 206

ID	ATIVIDADE	ESCOPO	ÍNDICE	RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO
207	INTERRUPTORES E TOMADAS					
208	1o-Interruptores e Tomadas	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
209	2o-Interruptores e Tomadas	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
210	3o-Interruptores e Tomadas	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
211	4o-Interruptores e Tomadas	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
212	5o-Interruptores e Tomadas	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
213	ESPELHO DE INTERRUPTORES					
214	1o-Espelho e interruptores	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
215	2o-Espelho e interruptores	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
216	3o-Espelho e interruptores	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
217	4o-Espelho e interruptores	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
218	5o-Espelho e interruptores	48	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
219	QUADROS - FUNDO					
220	1o-Quadro (fundo)	4	unid	2 ut R06/unid 1 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
221	2o-Quadro (fundo)	4	unid	2 ut R06/unid 1 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
222	3o-Quadro (fundo)	4	unid	2 ut R06/unid 1 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
223	4o-Quadro (fundo)	4	unid	2 ut R06/unid 1 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
224	5o-Quadro (fundo)	4	unid	2 ut R06/unid 1 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
225	QUADROS - TAMPA					
226	1o-Quadro (tampa)	4	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
227	2o-Quadro (tampa)	4	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
228	3o-Quadro (tampa)	4	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
229	4o-Quadro (tampa)	4	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
230	5o-Quadro (tampa)	4	unid	1 ut R06/unid 0.5 ut R08/unid	R06 R08	2.0 1.0
231	INSTALAÇÕES HIDRÁULICA					
232	EMBUTIDOS NA LAJE					
233	1o-Embutidos na laje Hid.	4	ap	2 ut R05/ap 2 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 2.0
234	2o-Embutidos na laje Hid.	4	ap	2 ut R05/ap 2 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 2.0
235	3o-Embutidos na laje Hid.	4	ap	2 ut R05/ap 2 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 2.0
236	4o-Embutidos na laje Hid.	4	ap	2 ut R05/ap 2 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 2.0
237	5o-Embutidos na laje Hid.	4	ap	2 ut R05/ap 2 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 2.0
238	PRUMADA					
239	1o - Prumada hidráulica	4	ap	3 ut R05/ap 1.5 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
240	2o - Prumada hidráulica	4	ap	3 ut R05/ap 1.5 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
241	3o - Prumada hidráulica	4	ap	3 ut R05/ap 1.5 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
242	4o - Prumada hidráulica	4	ap	3 ut R05/ap 1.5 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
243	5o - Prumada hidráulica	4	ap	3 ut R05/ap 1.5 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
244	ISOMÉTRICO					
245	1o -Isométrico Hidráulica	4	ap	16 ut R05/ap 8 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
246	2o -Isométrico Hidráulica	4	ap	16 ut R05/ap 8 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
247	3o -Isométrico Hidráulica	4	ap	16 ut R05/ap 8 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
248	4o -Isométrico Hidráulica	4	ap	16 ut R05/ap 8 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0
249	5o -Isométrico Hidráulica	4	ap	16 ut R05/ap 8 ut R08/ ap	R05 R08	2.0 1.0

Quadro 194 Estrutura do Carregamento – Atividade 207 a 249

ID	ATIVIDADE	ESCOPO		ÍNDICE	RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO		
250	LOUÇAS/TANQUE								
251	1o - Louças/ Tanque	4	ap	4	ut R05/ap	R05	2.0	8	ut
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
				4	ut R05/ap	R05	2.0		
252	2o - Louças/ Tanque	4	ap	2	ut R08/ ap	R08	1.0	8	ut
				4	ut R05/ap	R05	2.0		
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
253	3o - Louças/ Tanque	4	ap	4	ut R05/ap	R05	2.0	8	ut
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
				4	ut R05/ap	R05	2.0		
254	4o - Louças/ Tanque	4	ap	2	ut R08/ ap	R08	1.0	8	ut
				4	ut R05/ap	R05	2.0		
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
255	5o - Louças/ Tanque	4	ap	4	ut R05/ap	R05	2.0	8	ut
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
				256 METAIS/CUBA					
257	1o - Metais/Cuba	4	ap	4	ut R05/ap	R05	2.0	8	ut
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
				4	ut R05/ap	R05	2.0		
258	2o - Metais/Cuba	4	ap	2	ut R08/ ap	R08	1.0	8	ut
				4	ut R05/ap	R05	2.0		
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
259	3o - Metais/Cuba	4	ap	4	ut R05/ap	R05	2.0	8	ut
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
				4	ut R05/ap	R05	2.0		
260	4o - Metais/Cuba	4	ap	2	ut R08/ ap	R08	1.0	8	ut
				4	ut R05/ap	R05	2.0		
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
261	5o - Metais/Cuba	4	ap	4	ut R05/ap	R05	2.0	8	ut
				2	ut R08/ ap	R08	1.0		
				262 INSTALAÇÕES ESGOTO					
263 PASSAGEM NA LAJE									
264	1o - Passagem na laje esgoto	4	ap	2	ut R05/ap	R05	2.0	4	ut
				2	ut R08/ ap	R08	2.0		
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
265	2o - Passagem na laje esgoto	4	ap	2	ut R08/ ap	R08	2.0	4	ut
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
				2	ut R08/ ap	R08	2.0		
266	3o - Passagem na laje esgoto	4	ap	2	ut R05/ap	R05	2.0	4	ut
				2	ut R08/ ap	R08	2.0		
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
267	4o - Passagem na laje esgoto	4	ap	2	ut R08/ ap	R08	2.0	4	ut
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
				2	ut R08/ ap	R08	2.0		
268	5o - Passagem na laje esgoto	4	ap	2	ut R05/ap	R05	2.0	4	ut
				2	ut R08/ ap	R08	2.0		
				269 PRUMADA					
270	1o - Prumada esgoto	4	ap	2	ut R05/ap	R05	2.0	4	ut
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
271	2o - Prumada esgoto	4	ap	1	ut R08/ ap	R08	1.0	4	ut
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
272	3o - Prumada esgoto	4	ap	2	ut R05/ap	R05	2.0	4	ut
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
273	4o - Prumada esgoto	4	ap	1	ut R08/ ap	R08	1.0	4	ut
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
274	5o - Prumada esgoto	4	ap	2	ut R05/ap	R05	2.0	4	ut
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
				275 ISOMÉTRICO					
276	1o - Isométrico esgoto	4	ap	8	ut R05/ap	R05	2.0	16	ut
				4	ut R08/ ap	R08	1.0		
				8	ut R05/ap	R05	2.0		
277	2o - Isométrico esgoto	4	ap	4	ut R08/ ap	R08	1.0	16	ut
				8	ut R05/ap	R05	2.0		
				4	ut R08/ ap	R08	1.0		
278	3o - Isométrico esgoto	4	ap	8	ut R05/ap	R05	2.0	16	ut
				4	ut R08/ ap	R08	1.0		
				8	ut R05/ap	R05	2.0		
279	4o - Isométrico esgoto	4	ap	4	ut R08/ ap	R08	1.0	16	ut
				8	ut R05/ap	R05	2.0		
				4	ut R08/ ap	R08	1.0		
280	5o - Isométrico esgoto	4	ap	8	ut R05/ap	R05	2.0	16	ut
				4	ut R08/ ap	R08	1.0		
				281 GÁS					
282 PRUMADA									
283	1o - Prumada gás	4	ap	2	ut R05/ap	R05	2.0	4	ut
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
284	2o - Prumada gás	4	ap	1	ut R08/ ap	R08	1.0	4	ut
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
285	3o - Prumada gás	4	ap	1	ut R08/ ap	R08	1.0	4	ut
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
286	4o - Prumada gás	4	ap	2	ut R05/ap	R05	2.0	4	ut
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
287	5o - Prumada gás	4	ap	1	ut R08/ ap	R08	1.0	4	ut
				2	ut R05/ap	R05	2.0		
				1	ut R08/ ap	R08	1.0		

Quadro 195 Estrutura do Carregamento – Atividade 207 a 287

ID	ATIVIDADE	ESCOPO	ÍNDICE	RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO
288	ISOMÉTRICO					
289	1o - Isométrico gás	4	ap	4 ut R05/ap 2 ut R08/ap	R05 2.0 R08 1.0	8 ut
290	2o - Isométrico gás	4	ap	4 ut R05/ap 2 ut R08/ap	R05 2.0 R08 1.0	8 ut
291	3o - Isométrico gás	4	ap	4 ut R05/ap 2 ut R08/ap	R05 2.0 R08 1.0	8 ut
292	4o - Isométrico gás	4	ap	4 ut R05/ap 2 ut R08/ap	R05 2.0 R08 1.0	8 ut
293	5o - Isométrico gás	4	ap	4 ut R05/ap 2 ut R08/ap	R05 2.0 R08 1.0	8 ut
294	RESERVATÓRIO					
				22 ut R01/unid 44 ut R05/unid	R01 1.0 R05 2.0	
295	MONTAGEM DO RESERVATÓRIO	1	unid	44 ut R08/unid	R08 2.0	22 ut
296	ESQUADRIA					
297	PORTAS INTERNA					
298	CONTRA-MARCO					
299	1o - Contra-marco	168	m2	0.5 ut R02/m2 0.25 ut R08/m2	R02 4.0 R08 2.0	21 ut
300	2o - Contra-marco	168	m2	0.5 ut R02/m2 0.25 ut R08/m2	R02 4.0 R08 2.0	21 ut
301	3o - Contra-marco	168	m2	0.5 ut R02/m2 0.25 ut R08/m2	R02 4.0 R08 2.0	21 ut
302	4o - Contra-marco	168	m2	0.5 ut R02/m2 0.25 ut R08/m2	R02 4.0 R08 2.0	21 ut
303	5o - Contra-marco	168	m2	0.5 ut R02/m2 0.25 ut R08/m2	R02 4.0 R08 2.0	21 ut
304	PORTA PRONTA					
305	1o - Porta pronta	24	unid	4 ut R02/unid 4 ut R08/unid	R02 4.0 R08 4.0	24 ut
306	2o - Porta pronta	24	unid	4 ut R02/unid 4 ut R08/unid	R02 4.0 R08 4.0	24 ut
307	3o - Porta pronta	24	unid	4 ut R02/unid 4 ut R08/unid	R02 4.0 R08 4.0	24 ut
308	4o - Porta pronta	24	unid	4 ut R02/unid 4 ut R08/unid	R02 4.0 R08 4.0	24 ut
309	5o - Porta pronta	24	unid	4 ut R02/unid 4 ut R08/unid	R02 4.0 R08 4.0	24 ut
310	ESQUADRIA EXTERNA					
311	CONTRA-MARCO					
312	1o - Contra-marco Fachada	51	m2	1 ut R11/m2 0.5 ut R08/m2	R11 6.0 R08 3.0	9 ut
313	2o - Contra-marco Fachada	51	m2	1 ut R11/m2 0.5 ut R08/m2	R11 6.0 R08 3.0	9 ut
314	3o - Contra-marco Fachada	51	m2	1 ut R11/m2 0.5 ut R08/m2	R11 6.0 R08 3.0	9 ut
315	4o - Contra-marco Fachada	51	m2	1 ut R11/m2 0.5 ut R08/m2	R11 6.0 R08 3.0	9 ut
316	5o - Contra-marco Fachada	51	m2	1 ut R11/m2 0.5 ut R08/m2	R11 6.0 R08 3.0	9 ut
317	JANELAS (ESQUADRIA EXTERNA)					
318	1o - Esquadria Fachada	51	m2	2 ut R11/m2 1 ut R08/m2	R11 10.0 R08 5.0	10 ut
319	2o - Esquadria Fachada	51	m2	2 ut R11/m2 1 ut R08/m2	R11 10.0 R08 5.0	10 ut
320	3o - Esquadria Fachada	51	m2	2 ut R11/m2 1 ut R08/m2	R11 10.0 R08 5.0	10 ut
321	4o - Esquadria Fachada	51	m2	2 ut R11/m2 1 ut R08/m2	R11 10.0 R08 5.0	10 ut
322	5o - Esquadria Fachada	51	m2	2 ut R11/m2 1 ut R08/m2	R11 10.0 R08 5.0	10 ut

Quadro 196 Estrutura do Carregamento – Atividade 288 a 322

ID	ATIVIDADE	ESCOPO		ÍNDICE		RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO	
323	VIDRO								
324	VIDRO LISO EXTERNO								
325	1o - Vidro Fachada	51	m2	0.2	ut R12/m2	R12	2.0	5	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	2.0		
326	2o - Vidro Fachada	51	m2	0.2	ut R12/m2	R12	2.0	5	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	2.0		
327	3o - Vidro Fachada	51	m2	0.2	ut R12/m2	R12	2.0	5	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	2.0		
328	4o - Vidro Fachada	51	m2	0.2	ut R12/m2	R12	2.0	5	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	2.0		
329	5o - Vidro Fachada	51	m2	0.2	ut R12/m2	R12	2.0	5	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	2.0		
330	ACABAMENTOS								
331	ACABAMENTO EM PAREDE								
332	CERÂMICA								
333	1o - Cerâmica parede	216	m2	0.8	ut R01/m2	R01	4.0	43	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	2.0		
334	2o - Cerâmica parede	216	m2	0.8	ut R01/m2	R01	4.0	43	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	2.0		
335	3o - Cerâmica parede	216	m2	0.8	ut R01/m2	R01	4.0	43	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	2.0		
336	4o - Cerâmica parede	216	m2	0.8	ut R01/m2	R01	4.0	43	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	2.0		
337	5o - Cerâmica parede	216	m2	0.8	ut R01/m2	R01	4.0	43	ut
				0.4	ut R08/m2	R08	2.0		
338	REJUNTE								
339	1o - Rejunte parede	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	11	ut
340	2o - Rejunte parede	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	11	ut
341	3o - Rejunte parede	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	11	ut
342	4o - Rejunte parede	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	11	ut
343	5o - Rejunte parede	216	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	11	ut
344	BANCADA								
345	1o - Bancada	8	unid	2	ut R01/unid	R01	2.0	8	ut
				1	ut R08/unid	R08	1.0		
346	2o - Bancada	8	unid	2	ut R01/unid	R01	2.0	8	ut
				1	ut R08/unid	R08	1.0		
347	3o - Bancada	8	unid	2	ut R01/unid	R01	2.0	8	ut
				1	ut R08/unid	R08	1.0		
348	4o - Bancada	8	unid	2	ut R01/unid	R01	2.0	8	ut
				1	ut R08/unid	R08	1.0		
349	5o - Bancada	8	unid	2	ut R01/unid	R01	2.0	8	ut
				1	ut R08/unid	R08	1.0		
350	CORRIMÃO								
351	1o- Corrimão	6	m	0.2	ut R11/m	R11	2.0	1	ut
				0.1	ut R08/m	R08	1.0		
352	2o- Corrimão	6	m	0.2	ut R11/m	R11	2.0	1	ut
				0.1	ut R08/m	R08	1.0		
353	3o- Corrimão	6	m	0.2	ut R11/m	R11	2.0	1	ut
				0.1	ut R08/m	R08	1.0		
354	4o- Corrimão	6	m	0.2	ut R11/m	R11	2.0	1	ut
				0.1	ut R08/m	R08	1.0		
355	5o- Corrimão	6	m	0.2	ut R11/m	R11	2.0	1	ut
				0.1	ut R08/m	R08	1.0		
356	PEITORIL EXTERNO								
357	1o - Peitoril Fachada	36	m	1.5	ut R01/m	R11	4.0	14	ut
				0.75	ut R08/m	R08	2.0		
358	2o - Peitoril Fachada	36	m	1.5	ut R01/m	R11	4.0	14	ut
				0.75	ut R08/m	R08	2.0		
359	3o - Peitoril Fachada	36	m	1.5	ut R01/m	R11	4.0	14	ut
				0.75	ut R08/m	R08	2.0		
360	4o - Peitoril Fachada	36	m	1.5	ut R01/m	R11	4.0	14	ut
				0.75	ut R08/m	R08	2.0		
361	5o - Peitoril Fachada	36	m	1.5	ut R01/m	R11	4.0	14	ut
				0.75	ut R08/m	R08	2.0		

Quadro 197 Estrutura do Carregamento – Atividade 323 a 361

ID	ATIVIDADE	ESCOPO			ÍNDICE	RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO	
362	ACABAMENTO EM PISO								
363	CERÂMICA								
364	1o - Cerâmica piso	80	m2	1.2	ut R01/m2	R01	8.0	12	ut
				0.6	ut R08/m2	R08	4.0		
365	2o - Cerâmica piso	80	m2	1.2	ut R01/m2	R01	8.0	12	ut
				0.6	ut R08/m2	R08	4.0		
366	3o - Cerâmica piso	80	m2	1.2	ut R01/m2	R01	8.0	12	ut
				0.6	ut R08/m2	R08	4.0		
367	4o - Cerâmica piso	80	m2	1.2	ut R01/m2	R01	8.0	12	ut
				0.6	ut R08/m2	R08	4.0		
368	5o - Cerâmica piso	80	m2	1.2	ut R01/m2	R01	8.0	12	ut
				0.6	ut R08/m2	R08	4.0		
369	SOLEIRA								
370	1o - Soleira	21	m	0.4	ut R01/m	R01	2.0	4	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
371	2o - Soleira	21	m	0.4	ut R08/m	R01	2.0	4	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
372	3o - Soleira	21	m	0.4	ut R08/m	R01	2.0	4	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
373	4o - Soleira	21	m	0.4	ut R08/m	R01	2.0	4	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
374	5o - Soleira	21	m	0.4	ut R08/m	R01	2.0	4	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
375	REJUNTE								
376	1o - Rejunte piso	80	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
377	2o - Rejunte piso	80	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
378	3o - Rejunte piso	80	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
379	4o - Rejunte piso	80	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
380	5o - Rejunte piso	80	m2	0.2	ut R08/m2	R08	4.0	4	ut
381	FILETE DE BOX								
382	1o - Filete de box	16	m	0.4	ut R01/m	R01	2.0	3	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
383	2o - Filete de box	16	m	0.4	ut R01/m	R01	2.0	3	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
384	3o - Filete de box	16	m	0.4	ut R01/m	R01	2.0	3	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
385	4o - Filete de box	16	m	0.4	ut R01/m	R01	2.0	3	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
386	5o - Filete de box	16	m	0.4	ut R01/m	R01	2.0	3	ut
				0.2	ut R08/m	R08	1.0		
387	ACABAMENTO EM TETO								
388	FORRO DE GESSO								
389	1o - Forro de gesso	80	m2	0.7	ut R04/m2	R04	2.0	28	ut
				0.7	ut R08/m2	R08	2.0		
390	2o - Forro de gesso	80	m2	0.7	ut R04/m2	R04	2.0	28	ut
				0.7	ut R08/m2	R08	2.0		
391	3o - Forro de gesso	80	m2	0.7	ut R04/m2	R04	2.0	28	ut
				0.7	ut R08/m2	R08	2.0		
392	4o - Forro de gesso	80	m2	0.7	ut R04/m2	R04	2.0	28	ut
				0.7	ut R08/m2	R08	2.0		
393	5o - Forro de gesso	80	m2	0.7	ut R04/m2	R04	2.0	28	ut
				0.7	ut R08/m2	R08	2.0		
394	PINTURA								
395	PINTURA INTERNA								
396	EMASSAMENTO								
397	1o-Emassamento	568	m2	0.4	ut R07/m2	R07	8.0	28	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	4.0		
398	2o-Emassamento	568	m2	0.4	ut R07/m2	R07	8.0	28	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	4.0		
399	3o-Emassamento	568	m2	0.4	ut R07/m2	R07	8.0	28	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	4.0		
400	4o-Emassamento	568	m2	0.4	ut R07/m2	R07	8.0	28	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	4.0		
401	5o-Emassamento	568	m2	0.4	ut R07/m2	R07	8.0	28	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	4.0		

Quadro 198 Estrutura do Carregamento – Atividade 362 a 401

ID	ATIVIDADE	ESCOPO		ÍNDICE	RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO	
402	1A DEMÃO							
403	1o-1a demão	568	m2	0.3	ut R07/m2	R07	12.0	14
				0.15	ut R08/m2	R08	6.0	
404	2o-1a demão	568	m2	0.3	ut R07/m2	R07	12.0	14
				0.15	ut R08/m2	R08	6.0	
405	3o-1a demão	568	m2	0.3	ut R07/m2	R07	12.0	14
				0.15	ut R08/m2	R08	6.0	
406	4o-1a demão	568	m2	0.3	ut R07/m2	R07	12.0	14
				0.15	ut R08/m2	R08	6.0	
407	5o-1a demão	568	m2	0.3	ut R07/m2	R07	12.0	14
				0.15	ut R08/m2	R08	6.0	
408	2A DEMÃO							
409	1o-2a demão	568	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
410	2o-2a demão	568	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
411	3o-2a demão	568	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
412	4o-2a demão	568	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
413	5o-2a demão	568	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
414	PINTURA EXTERNA							
415	EMASSAMENTO							
416	1o-Emassamento Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.4	ut R08/m2	R08	12.0	
417	2o-Emassamento Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.4	ut R08/m2	R08	12.0	
418	3o-Emassamento Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.4	ut R08/m2	R08	12.0	
419	4o-Emassamento Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.4	ut R08/m2	R08	12.0	
420	5o-Emassamento Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.4	ut R08/m2	R08	12.0	
421	1A DEMÃO							
422	1o-1a demão Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.2	ut R08/m2	R08	6.0	
423	2o-1a demão Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.2	ut R08/m2	R08	6.0	
424	3o-1a demão Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.2	ut R08/m2	R08	6.0	
425	4o-1a demão Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.2	ut R08/m2	R08	6.0	
426	5o-1a demão Fachada	280	m2	0.4	ut R07/m2	R07	12.0	9
				0.2	ut R08/m2	R08	6.0	
427	2A DEMÃO							
428	1o-2a demão Fachada	280	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	5
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
429	2o-2a demão Fachada	280	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	5
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
430	3o-2a demão Fachada	280	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	5
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
431	4o-2a demão Fachada	280	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	5
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
432	5o-2a demão Fachada	280	m2	0.2	ut R07/m2	R07	12.0	5
				0.1	ut R08/m2	R08	6.0	
433	COBERTURA							
434	IMPERMEABILIZAÇÃO							
435	REGULARIZAÇÃO	175	m2	0.6	ut R09/m2	R09	4.0	26
				0.3	ut R08/m2	R08	2.0	
436	IMPERMEABILIZAÇÃO	175	m2	0.3	ut R09/m2	R09	4.0	13
				0.3	ut R08/m2	R08	4.0	
437	PROTECAO MECANICA	175	m2	0.5	ut R09/m2	R09	4.0	22
				0.25	ut R08/m2	R08	2.0	

Quadro 199 Estrutura do Carregamento – Atividade 402 a 437

ID	ATIVIDADE	ESCOPO		ÍNDICE		RECURSO	DEMANDA DE RECURSO	DURAÇÃO	
438	ESTRUTURA								
439	ESTRUTURA METÁLICA	175	m2	1	ut R02/m2	R02	4.0	44	ut
				1	ut R08/m2	R08	4.0		
440	MADEIRAMENTO	175	m2	2	ut R02/m2	R02	4.0	88	ut
				1	ut R08/m2	R08	2.0		
441	TELHAMENTO								
442	TELHAMENTO	175	m2	0.2	ut R02/m2	R02	4.0	9	ut
				0.2	ut R08/m2	R08	4.0		
443	RUFOS	120	m	0.5	ut R02/m	R02	4.0	15	ut
				0.5	ut R08/m	R08	4.0		
444	CALHAS	120	m	0.5	ut R02/m	R02	4.0	15	ut
				0.5	ut R08/m	R08	4.0		
445	URBANIZAÇÃO								
446	PAISAGISMO								
447	GRAMA	80	m2	0.1	ut R10/m2	R10	1.0	8	ut
				0.1	ut R08/m2	R08	1.0		
448	PAVIMENTAÇÃO EXTERNA								
449	MEIO-FIO	50	m	0.5	ut R01/m	R01	2.0	13	ut
				1	ut R08/m	R08	4.0		
450	PASSEIO	60	m2	1.5	ut R01/m2	R01	2.0	45	ut
				4.5	ut R08/m2	R08	6.0		
451	PISO INTERTRAVADO	200	m2	1.2	ut R01/m2	R01	2.0	120	ut
				0.6	ut R08/m2	R08	1.0		
452	OUTROS								
453	EQUIPAMENTOS								
454	ANTENA	1	unid	32	ut R06/unid	R06	2.0	16	ut
				32	ut R08/unid	R08	2.0		
455	PARA-RAIO	1	unid	32	ut R06/unid	R06	2.0	16	ut
				32	ut R08/unid	R08	2.0		
456	PARQUE INFANTIL								
457	MONTAGEM	1	unid	16	ut R02/unid	R02	2.0	8	ut
			unid	8	ut R08/unid	R08	1.0		
458	COMUNICAÇÃO VISUAL								
459	NÚMERAÇÃO	20	unid	0.1	ut R02/unid	R02	1.0	2	ut
460	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS	5	unid	0.1	ut R02/unid	R02	1.0	1	ut
461	LIMPEZA								
462	GROSSA								
463	1o - Limpeza grossa	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
464	2o - Limpeza grossa	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
465	3o - Limpeza grossa	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
466	4o - Limpeza grossa	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
467	5o - Limpeza grossa	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
468	FINA								
469	1o - Limpeza Fina	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
470	2o - Limpeza Fina	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
471	3o - Limpeza Fina	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
472	4o - Limpeza Fina	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut
473	5o - Limpeza Fina	176	m2	0.4	ut R08/m2	R08	4.0	18	ut

Quadro 200 Estrutura do Carregamento – Atividade 438 a 473

A notação usada nos quadros acima é a seguinte:

- [R01]: Recurso no 1.
- [ue]: unidade de escopo a ser realizado para a execução da atividade.
- ÍNDICE: índice de produtividade paramétrico estabelecido para a execução de cada atividade.

- **DEMANDA DO RECURSO:** Montante de recurso demandado para a execução da atividade, medido em ur (unidade de recurso).
- **DURAÇÃO:** prazo previsto para execução de cada atividade em unidades de tempo [ut].

Os recursos foram denominados de R01 a R 12 e sua condição de disponibilização está descrita no Quadro 201.

COD	<u>Acesso</u>	<u>Mobilização</u>	<u>Uso</u>²⁴	<u>Desmobilização</u>
R01	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R02	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R03	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R04	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R05	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R06	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R07	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R08	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R09	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R10	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R11	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo
R12	Fácil contratação	Curto prazo	Sob demanda	Curto prazo

Quadro 201 Disponibilização

Os seqüenciamentos descritos nos Quadro 202 ao Quadro 206 que serviram como auxílio a montagem da rede lógica. Utilizou a rede 07 da biblioteca de redes lógicas como referência, mas como alguns serviços esta obra não possuía, houve exclusões e substituições de alguns itens dando origem a mais uma rede lógica para a biblioteca.

²⁴ Admite-se que o recurso R08 pode ser alocado em módulo de 0.5 unidades de recurso (ur), os demais recursos podem ser alocados em módulos de 1 unidade de recurso (ur).

Quadro 202 Rede lógica adotada – 1º Pavimento e implantação

Quadro 203 Rede lógica adotada – 2º Pavimento

Quadro 204 Rede lógica adotada – 3º Pavimento

Quadro 205 Rede lógica adotada – 4º Pavimento

Nivelamento de Recursos

A partir da programação convencional desta rede, foram identificadas as cadeias e introduzidos os seguintes elementos adicionais oriundos da TOC:

- *Buffer* de alimentação (BA) – estimado 10% da duração da cadeia não-crítica, a qual alimenta a cadeia crítica, conforme figura acima;
- Balanceamento da rede – as cadeias não-críticas tiveram suas durações aumentada para a mesma da cadeia crítica, respeitando a disponibilidade de recursos (mínimo 0,5 ur, para o recurso R08 e 1ur para os demais recursos).

As etapas necessárias para o nivelamento estão inseridas no Quadro 207 ao Quadro 215, considerando o rateio da folga proporcional a duração de cada atividade. Este quadro contém as tapas do nivelamento similares as apresentadas nos Apêndices 5 e 6.

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)												(9) Recursos Nivelado (ur)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)	
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12			
5	26,55	Cadeia crítica	0	0	0	26,55																										26,55	0
7	132,75	Cadeia crítica	0	0	0	132,75		8,0																								132,75	0
11	69,5	Cadeia crítica	0	0	0	69,50								8,0																		69,50	0
12	12	Cadeia crítica	0	0	0	12,00	1,0																									12,00	0
13	23,33	Cadeia crítica	0	0	0	23,33		6,0																								23,33	0
14	20,42	Cadeia crítica	0	0	0	20,42								6,0																6		20,42	0
15	26,25	Cadeia crítica	0	0	0	26,25	2,0																									26,25	0
16	61	Cadeia crítica	0	0	0	61,00																										61,00	0
17	28	Cadeia crítica	0	0	0	28,00		2,0																								28,00	0
19	117,33	Cadeia crítica	0	0	0	117,33	6,0																									117,33	0
23	11,25	Cadeia crítica	0	0	0	11,25		8,0																								11,25	0
24	32,75	Cadeia crítica	0	0	0	32,75		8,0																								32,75	0
25	11,25	Cadeia crítica	0	0	0	11,25		8,0																								11,25	0
26	32,75	Cadeia crítica	0	0	0	32,75		8,0																								32,75	0
27	11,25	Cadeia crítica	0	0	0	11,25		8,0																								11,25	0
28	32,75	Cadeia crítica	0	0	0	32,75		8,0																								32,75	0
29	11,25	Cadeia crítica	0	0	0	11,25		8,0																								11,25	0
30	32,75	Cadeia crítica	0	0	0	32,75		8,0																								32,75	0
31	11,25	Cadeia crítica	0	0	0	11,25		8,0																								11,25	0
32	32,75	Cadeia crítica	0	0	0	32,75		8,0																								32,75	0
34	9,81	Cadeia crítica	0	0	0	9,81								8,0																		9,81	0
35	39,02	Cadeia crítica	0	0	0	39,02								8,0																		39,02	0
36	9,81	Cadeia crítica	0	0	0	9,81								8,0																		9,81	0
37	39,02	Cadeia crítica	0	0	0	39,02								8,0																		39,02	0
38	9,81	Cadeia crítica	0	0	0	9,81								8,0																		9,81	0
39	39,02	Cadeia crítica	0	0	0	39,02								8,0																		39,02	0
40	9,81	Cadeia crítica	0	0	0	9,81								8,0																		9,81	0
41	39,02	Cadeia crítica	0	0	0	39,02								8,0																		39,02	0
42	9,81	Cadeia crítica	0	0	0	9,81								8,0																		9,81	0
43	39,02	Cadeia crítica	0	0	0	39,02								8,0																		39,02	0
45	5,5	Cadeia crítica	0	0	0	5,50																										5,50	0
46	22,5	Cadeia crítica	0	0	0	22,50																										22,50	0
47	5,5	Cadeia crítica	0	0	0	5,50																										5,50	0
48	22,5	Cadeia crítica	0	0	0	22,50																										22,50	0
49	5,5	Cadeia crítica	0	0	0	5,50																										5,50	0
50	22,5	Cadeia crítica	0	0	0	22,50																										22,50	0
51	5,5	Cadeia crítica	0	0	0	5,50																										5,50	0
52	22,5	Cadeia crítica	0	0	0	22,50																										22,50	0
53	5,5	Cadeia crítica	0	0	0	5,50																										5,50	0
54	22,5	Cadeia crítica	0	0	0	22,50																										22,50	0

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ut)												(9) Recursos Nivelado (ut)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12		
56	6	Cadeia 6	56975	0	5	11.13		3.2																							9.00	0
57	17.47	Cadeia 6	56975	0	15	32.41		3.2																							26.20	0
58	6	Cadeia 7	42731	0	3	9.13		3.9																							9.00	0
59	17.47	Cadeia 7	42731	0	9	26.57		3.9																							26.20	0
60	6	Cadeia 9	28487	0	1	7.12		5.1																							6.00	0
61	17.47	Cadeia 9	28487	0	3	20.73		5.1																							17.47	0
62	6	Cadeia 8	14244	0	1	7.33		4.9																							7.20	0
63	17.47	Cadeia 8	14244	0	4	21.33		4.9																							20.96	0
64	6	Cadeia crítica	0	0	0	6.00		6.0																							6.00	0
65	17.47	Cadeia crítica	0	0	0	17.47		6.0																							17.47	0
67	8.8	Cadeia 6	56975	0	8	16.33		2.2																							11.73	0
68	8.8	Cadeia 7	42731	0	5	13.39		2.6																							11.73	0
69	8.8	Cadeia 9	28487	0	2	10.44		3.4																							8.80	0
70	8.8	Cadeia 8	14244	0	2	10.74		3.3																							8.80	0
71	8.8	Cadeia crítica	0	0	0	8.80		4.0																							8.80	0
73	4.4	Cadeia 6	56975	0	4	8.16		2.2																							5.87	0
74	4.4	Cadeia 7	42731	0	2	6.69		2.6																							5.87	0
75	4.4	Cadeia 9	28487	0	1	5.22		3.4																							4.40	0
76	4.4	Cadeia 8	14244	0	1	5.37		3.3																							4.40	0
77	4.4	Cadeia crítica	0	0	0	4.40		4.0																							4.40	0
79	4.4	Cadeia 6	56975	0	4	8.16																									7.04	0
80	4.4	Cadeia 7	42731	0	2	6.69																									5.87	0
81	4.4	Cadeia 9	28487	0	1	5.22																									5.03	0
82	4.4	Cadeia 8	14244	0	1	5.37																									5.03	0
83	4.4	Cadeia crítica	0	0	0	4.40																									4.40	0
87	20	Cadeia 6	56975	0	17	37.11	3.2																								30.00	0
88	20	Cadeia 7	42731	0	10	30.42	3.9																								30.00	0
89	20	Cadeia 9	28487	0	4	23.74	5.1																								20.00	0
90	20	Cadeia 8	14244	0	4	24.42	4.9																								24.00	0
91	20	Cadeia crítica	0	0	0	20.00	6.0																								20.00	0
93	84	Cadeia 6	56975	0	72	155.85	6.5																								144.00	0
94	84	Cadeia 7	42731	0	44	127.77	7.9																								126.00	0
95	84	Cadeia 9	28487	0	16	99.70	10.1																								91.64	0
96	84	Cadeia 8	14244	0	19	102.55	9.8																								100.80	0
97	84	Cadeia crítica	0	0	0	84.00	12.0																								84.00	0
99	6.4	Cadeia 6	56975	0	5	11.87	1.1																								6.40	0
100	6.4	Cadeia 7	42731	0	3	9.74	1.3																								6.40	0
101	6.4	Cadeia 9	28487	0	1	7.60	1.7																								6.40	0
102	6.4	Cadeia 8	14244	0	1	7.81	1.6																								6.40	0
103	6.4	Cadeia crítica	0	0	0	6.40	2.0																								6.40	0

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folha Total (ut)	(5) Folha Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ut)												(9) Recursos Nivelado (ut)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folha Total após nivelamento (ut)
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12		
105	16	Cadeia 6	569,75	0	14	29,69	3,2							1,6				4,0								2,0					24,00	0
106	16	Cadeia 7	427,31	0	8	24,34	3,9							2,0				4,0								2,0					24,00	0
107	16	Cadeia 9	284,87	0	3	18,99	5,1							2,5				6,0								3,0					16,00	0
108	16	Cadeia 8	142,44	0	4	19,53	4,9							2,5				5,0								2,5					19,20	0
109	16	Cadeia crítica	0	0	0	16,00	6,0							3,0				6,0								3,0					16,00	0
113	117,6	Cadeia 6	569,75	0	101	218,19	2,2							1,1				3,0								1,5					156,80	0
114	117,6	Cadeia 7	427,31	0	61	178,88	2,6							1,3				3,0								1,5					156,80	0
115	117,6	Cadeia 9	284,87	0	22	139,58	3,4							1,7				4,0								2,0					117,60	0
116	117,6	Cadeia 8	142,44	0	26	143,57	3,3							1,6				4,0								2,0					117,60	0
117	117,6	Cadeia crítica	0	0	0	117,60	4,0							2,0				4,0								2,0					117,60	0
119	24	Cadeia 6	569,75	0	21	44,53	2,1							1,1				3,0								1,5					31,36	0
120	24	Cadeia 7	427,31	0	13	36,51	2,6							1,3				3,0								1,5					31,36	0
121	24	Cadeia 9	284,87	0	4	28,48	3,3							1,7				4,0								2,0					23,52	0
122	24	Cadeia 8	142,44	0	5	29,30	3,2							1,6				4,0								2,0					23,52	0
123	24	Cadeia crítica	0	0	0	24,00	3,9							2,0				4,0								2,0					23,52	0
125	75,74	Cadeia 6	569,75	0	65	140,52	3,2							1,6				4,0								2,0					113,60	0
126	75,74	Cadeia 7	427,31	0	39	115,21	3,9							2,0				4,0								2,0					113,60	0
127	75,74	Cadeia 9	284,87	0	14	89,89	5,1							2,5				6,0								3,0					75,73	0
128	75,74	Cadeia 8	142,44	0	17	92,47	4,9							2,5				5,0								2,5					90,88	0
129	75,74	Cadeia crítica	0	0	0	75,74	6,0							3,0				6,0								3,0					75,73	0
131	17,28	Cadeia 6	569,75	0	15	32,06	5,4							1,3				6,0								1,5					28,80	0
132	17,28	Cadeia 7	427,31	0	9	26,28	6,6							1,6				7,0								1,8					24,69	0
133	17,28	Cadeia 9	284,87	0	3	20,51	8,4							2,1				9,0								2,3					19,20	0
134	17,28	Cadeia 8	142,44	0	4	21,10	8,2							2,0				9,0								2,3					19,20	0
135	17,28	Cadeia crítica	0	0	0	17,28	10,0							2,5				10,0								2,5					17,28	0
138	26,4	Cadeia 6	569,75	0	23	48,98	2,2							1,1				3,0								1,5					35,20	0
139	26,4	Cadeia 7	427,31	0	14	40,16	2,6							1,3				3,0								1,5					35,20	0
140	26,4	Cadeia 9	284,87	0	5	31,33	3,4							1,7				3,5								1,8					30,17	0
141	26,4	Cadeia 8	142,44	0	6	32,23	3,3							1,6				3,5								1,8					30,17	0
142	26,4	Cadeia crítica	0	0	0	26,40	4,0							2,0				4,0								2,0					26,40	0
144	16	Cadeia 6	569,75	0	14	29,69	2,2							1,1				3,0								1,5					21,33	0
145	16	Cadeia 7	427,31	0	8	24,34	2,6							1,3				3,0								1,5					21,33	0
146	16	Cadeia 9	284,87	0	3	18,99	3,4							1,7				4,0								2,0					16,00	0
147	16	Cadeia 8	142,44	0	4	19,53	3,3							1,6				4,0								2,0					16,00	0
148	16	Cadeia crítica	0	0	0	16,00	4,0							2,0				4,0								2,0					16,00	0
150	14,48	Cadeia 6	569,75	0	12	26,87	2,2							1,1				3,0								1,5					19,31	0
151	14,48	Cadeia 7	427,31	0	8	22,03	2,6							1,3				3,0								1,5					19,31	0
152	14,48	Cadeia 9	284,87	0	3	17,19	3,4							1,7				4,0								2,0					14,49	0
153	14,48	Cadeia 8	142,44	0	3	17,68	3,3							1,6				4,0								2,0					14,49	0

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ut)												(9) Recursos Nivelado (ut)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12		
154	14.48	Cadeia crítica	0	0	0	14.48	4.0											4.0													14.49	0
156	42	Cadeia 1	27.61	0	1	42.62		14.8											15								5.0				42.00	0
158	11.2	Cadeia 1	27.61	0	0	11.37																					10.0				11.20	0
159	11.2	Cadeia 1	27.61	0	0	11.37																					10.0				11.20	0
160	11.2	Cadeia 1	27.61	0	0	11.37																					10.0				11.20	0
161	11.2	Cadeia 1	27.61	0	0	11.37																					10.0				11.20	0
162	11.2	Cadeia 1	27.61	0	0	11.37																					10.0				11.20	0
164	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0									5.0				7.00	0
165	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0									5.0				7.00	0
166	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0									5.0				7.00	0
167	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0									5.0				7.00	0
168	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0									5.0				7.00	0
170	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0													7.00	0
171	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0													7.00	0
172	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0													7.00	0
173	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0													7.00	0
174	7	Cadeia 1	27.61	0	0	7.10	9.9											10.0													7.00	0
176	3.36	Cadeia 1	27.61	0	0	3.41	9.9											10.0									10.0				3.36	0
177	3.36	Cadeia 1	27.61	0	0	3.41	9.9											10.0									10.0				3.36	0
178	3.36	Cadeia 1	27.61	0	0	3.41	9.9											10.0									10.0				3.36	0
179	3.36	Cadeia 1	27.61	0	0	3.41	9.9											10.0									10.0				3.36	0
180	3.36	Cadeia 1	27.61	0	0	3.41	9.9											10.0									10.0				3.36	0
182	18.67	Cadeia 1	27.61	0	0	18.95	14.8											15.0									7.5				18.67	0
183	18.67	Cadeia 1	27.61	0	0	18.95	14.8											15.0									7.5				18.67	0
184	18.67	Cadeia 1	27.61	0	0	18.95	14.8											15.0									7.5				18.67	0
185	18.67	Cadeia 1	27.61	0	0	18.95	14.8											15.0									7.5				18.67	0
186	18.67	Cadeia 1	27.61	0	0	18.95	14.8											15.0									7.5				18.67	0
190	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00								2.0	2.0											2	2.0				4.00	0
191	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00								2.0	2.0											2	2.0				4.00	0
192	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00								2.0	2.0											2	2.0				4.00	0
193	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00								2.0	2.0											2	2.0				4.00	0
194	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00								2.0	2.0											2	2.0				4.00	0
196	8	Cadeia 14	589.75	0	13	21.33							0.8	0.8												1	1.0				16.00	0
197	8	Cadeia 15	447.31	0	13	21.33							0.8	0.8												1	1.0				16.00	0
198	8	Cadeia 16	304.87	0	13	21.33							0.8	0.8												1	1.0				16.00	0
199	8	Cadeia 17	162.44	0	13	21.33							0.8	0.8												1	1.0				16.00	0
200	8	Cadeia 18	18.8	0	13	20.53							0.8	0.8												1	1.0				16.00	0
202	16	Cadeia 6	569.75	0	14	29.69							1.1	1.1												2	2.0				16.00	0
203	16	Cadeia 7	427.31	0	8	24.34							1.3	1.3												2	2.0				16.00	0
204	16	Cadeia 9	284.87	0	3	18.99							1.7	1.7												2	2.0				16.00	0
205	16	Cadeia 8	142.44	0	4	19.53							1.6	1.6												2	2.0				16.00	0

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ut)												(9) Recursos Nivelado (ut)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12		
206	16	Cadeia crítica	0	0	0	16,00								2,0	2,0									2		2,0					16,00	0
208	24	Cadeia 2	157,47	0	23	47,04								1,0	0,5									1		0,5					48,00	0
209	24	Cadeia 3	176,13	0	26	49,78								1,0	0,5									1		0,5					48,00	0
210	24	Cadeia 4	194,8	0	29	52,51								0,9	0,5									1		0,5					48,00	0
211	24	Cadeia 8	142,44	0	5	29,30								1,6	0,8									2		1,0					24,00	0
212	24	Cadeia crítica	0	0	0	24,00								2,0	1,0									2		1,0					24,00	0
214	24	Cadeia 2	157,47	0	23	47,04								1,0	0,5									1		0,5					48,00	0
215	24	Cadeia 3	176,13	0	26	49,78								1,0	0,5									1		0,5					48,00	0
216	24	Cadeia 4	194,8	0	29	52,51								0,9	0,5									1		0,5					48,00	0
217	24	Cadeia 8	142,44	0	5	29,30								1,6	0,8									2		1,0					24,00	0
218	24	Cadeia crítica	0	0	0	24,00								2,0	1,0									2		1,0					24,00	0
220	4	Cadeia 14	589,75	20	7	10,67								0,8	0,4									1		0,5					8,00	8
221	4	Cadeia 15	447,31	20	7	10,67								0,8	0,4									1		0,5					8,00	8
222	4	Cadeia 16	304,87	20	7	10,67								0,8	0,4									1		0,5					8,00	8
223	4	Cadeia 17	162,44	20	7	10,67								0,8	0,4									1		0,5					8,00	8
224	4	Cadeia 18	18,8	18,8	6	10,27								0,8	0,4									1		0,5					8,00	6,8
226	2	Cadeia 2	157,47	0	2	3,92								1,0	0,5									1		0,5					4,00	0
227	2	Cadeia 3	176,13	0	2	4,15								1,0	0,5									1		0,5					4,00	0
228	2	Cadeia 4	194,8	0	2	4,38								0,9	0,5									1		0,5					4,00	0
229	2	Cadeia 8	142,44	0	0	2,44								1,6	0,8									2		1,0					2,00	0
230	2	Cadeia crítica	0	0	0	2,00								2,0	1,0									2		1,0					2,00	0
233	4	Cadeia crítica	0	0	0	4,00								2,0	2,0									2		2,0					4,00	0
234	4	Cadeia crítica	0	0	0	4,00								2,0	2,0									2		2,0					4,00	0
235	4	Cadeia crítica	0	0	0	4,00								2,0	2,0									2		2,0					4,00	0
236	4	Cadeia crítica	0	0	0	4,00								2,0	2,0									2		2,0					4,00	0
237	4	Cadeia crítica	0	0	0	4,00								2,0	2,0									2		2,0					4,00	0
239	6	239	663,75	94	94	100,00								0,1	0,1									1		0,5					12,00	15,6
240	6	240	521,31	94	94	100,00								0,1	0,1									1		0,5					12,00	13,8
241	6	241	378,87	94	94	100,00								0,1	0,1									1		0,5					12,00	95,64
242	6	242	236,44	94	94	100,00								0,1	0,1									1		0,5					12,00	10,8
243	6	243	93,4	93,4	93	99,40								0,1	0,1									1		0,5					12,00	87,4
245	32	Cadeia 6	569,75	0	27	59,37								1,1	0,5									2		1,0					32,00	0
246	32	Cadeia 7	427,31	0	17	48,68								1,3	0,7									2		1,0					32,00	0
247	32	Cadeia 9	284,87	0	6	37,98								1,7	0,8									2		1,0					32,00	0
248	32	Cadeia 8	142,44	0	7	39,07								1,6	0,8									2		1,0					32,00	0
249	32	Cadeia crítica	0	0	0	32,00								2,0	1,0									2		1,0					32,00	0
251	8	Cadeia 2	157,47	0	8	15,68								1,0	0,5									1		0,5					16,00	0
252	8	Cadeia 3	176,13	0	9	16,59								1,0	0,5									1		0,5					16,00	0

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ut)												(9) Recursos Nivelado (ut)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12		
253	8	Cadeia 4	194.8	0	10	17.50				0.9		0.5											1		0.5					16.00	0	
254	8	Cadeia 8	142.44	0	2	9.77				1.6		0.8											2		1.0					8.00	0	
255	8	Cadeia crítica	0	0	0	8.00				2.0		1.0											2		1.0					8.00	0	
257	8	Cadeia 2	157.47	0	8	15.68				1.0		0.5											1		0.5					16.00	0	
258	8	Cadeia 3	176.13	0	9	16.59				1.0		0.5											1		0.5					16.00	0	
259	8	Cadeia 4	194.8	0	10	17.50				0.9		0.5											1		0.5					16.00	0	
260	8	Cadeia 8	142.44	0	2	9.77				1.6		0.8											2		1.0					8.00	0	
261	8	Cadeia crítica	0	0	0	8.00				2.0		1.0											2		1.0					8.00	0	
264	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00				2.0		2.0											2		2.0					4.00	0	
265	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00				2.0		2.0											2		2.0					4.00	0	
266	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00				2.0		2.0											2		2.0					4.00	0	
267	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00				2.0		2.0											2		2.0					4.00	0	
268	4	Cadeia crítica	0	0	0	4.00				2.0		2.0											2		2.0					4.00	0	
270	4	270	681.75	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	160	
271	4	271	539.31	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	142	
272	4	272	396.87	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	99.64	
273	4	273	254.44	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	112	
274	4	274	110	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	92	
276	16	276	585.75	16	16	32.00				1.0		0.5											1		0.5					32.00	0	
277	16	277	443.31	16	16	32.00				1.0		0.5											1		0.5					32.00	0	
278	16	16	300.87	16	16	32.00				1.0		0.5											1		0.5					32.00	0	
279	16	279	158.44	16	16	32.00				1.0		0.5											1		0.5					32.00	0	
280	16	280	14	14	14	30.00				1.1		0.5											2		1.0					16.00	14	
283	4	283	689.75	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	160	
284	4	284	547.31	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	142	
285	4	285	404.87	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	99.64	
286	4	286	262.44	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	112	
287	4	287	118.8	96	96	100.00				0.1		0.0											1		0.5					8.00	92	
289	8	289	593.75	24	24	32.00				0.5		0.3											1		0.5					16.00	16	
290	8	290	451.31	24	24	32.00				0.5		0.3											1		0.5					16.00	16	
291	8	291	308.87	24	24	32.00				0.5		0.3											1		0.5					16.00	16	
292	8	292	166.44	24	24	32.00				0.5		0.3											1		0.5					16.00	16	
293	8	293	22.8	22.8	23	30.80				0.5		0.3											1		0.5					16.00	14.8	
295	22	295	749.37	749.37	749	771.37	0.03			0.1		0.1						1.0					2		2.0					22.00	749.37	
299	21	Cadeia 6	569.75	0	18	38.96		2.2				1.1								3						1.5				28.00	0	
300	21	Cadeia 7	427.31	0	11	31.94		2.6				1.3								3						1.5				28.00	0	
301	21	Cadeia 9	284.87	0	4	24.92		3.4				1.7								4						2.0				21.00	0	
302	21	Cadeia 8	142.44	0	5	25.64		3.3				1.6								4						2.0				21.00	0	
303	21	Cadeia crítica	0	0	0	21.00		4.0				2.0								4					2.0					21.00	0	

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folha Total (ut)	(5) Folha Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ut)												(9) Recursos Nivelado (ut)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folha Total após nivelamento (ut)
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12		
305	24	Cadeia 2	157,47	0	23	47,04		2,0											2								2,0				48,00	0
306	24	Cadeia 3	176,13	0	26	49,78		1,9											2								2,0				48,00	0
307	24	Cadeia 4	194,8	0	29	52,51		1,8											2								2,0				48,00	0
308	24	Cadeia 8	142,44	0	5	29,30		3,3											4								4,0				24,00	0
309	24	Cadeia crítica	0	0	0	24,00		4,0											4								4,0				24,00	0
312	9	Cadeia 1	27,61	0	0	9,13								2,8			5,6									3,0			6		8,50	0
313	9	Cadeia 10	36,94	0	1	9,91								2,6			5,1									3,0			6		8,50	0
314	9	Cadeia 11	46,28	0	1	9,91								2,6			5,1									3,0			6		8,50	0
315	9	Cadeia 12	55,62	0	1	9,91								2,6			5,1									3,0			6		8,50	0
316	9	Cadeia 13	64,95	0	1	9,91								2,6			5,1									3,0			6		8,50	0
318	10,2	Cadeia 1	27,61	0	0	10,35								4,9			9,9									5,0			10		10,20	0
319	10,2	Cadeia 10	36,94	0	1	11,24								4,5			9,1									5,0			10		10,20	0
320	10,2	Cadeia 11	46,28	0	1	11,24								4,5			9,1									5,0			10		10,20	0
321	10,2	Cadeia 12	55,62	0	1	11,24								4,5			9,1									5,0			10		10,20	0
322	10,2	Cadeia 13	64,95	0	1	11,24								4,5			9,1									5,0			10		10,20	0
325	5,1	Cadeia 1	27,61	0	0	5,18								2,0			2,0									2,0			2		5,10	0
326	5,1	Cadeia 10	36,94	0	1	5,62								1,8			1,8									2,0			2		5,10	0
327	5,1	Cadeia 11	46,28	0	1	5,62								1,8			1,8									2,0			2		5,10	0
328	5,1	Cadeia 12	55,62	0	1	5,62								1,8			1,8									2,0			2		5,10	0
329	5,1	Cadeia 13	64,95	0	1	5,62								1,8			1,8									2,0			2		5,10	187,13
333	43,2	Cadeia 6	569,75	0	37	80,15	2,2							1,1				3,0								1,5					57,60	0
334	43,2	Cadeia 7	427,31	0	23	65,71	2,6							1,3				3,0								1,5					57,60	0
335	43,2	Cadeia 9	284,87	0	8	51,27	3,4							1,7				4,0								2,0					43,20	0
336	43,2	Cadeia 8	142,44	0	10	52,74	3,3							1,6				4,0								2,0					43,20	0
337	43,2	Cadeia crítica	0	0	0	43,20	4,0							2,0				4,0								2,0					43,20	0
339	10,8	Cadeia 6	569,75	0	9	20,04								2,2												2,5					17,28	0
340	10,8	Cadeia 7	427,31	0	6	16,43								2,6												3,0					14,40	0
341	10,8	Cadeia 9	284,87	0	2	12,82								3,4												3,5					12,34	0
342	10,8	Cadeia 8	142,44	0	2	13,19								3,3												3,5					12,34	0
343	10,8	Cadeia crítica	0	0	0	10,80								4,0												4,0					10,80	0
345	8	Cadeia 6	569,75	0	7	14,84	1,1							0,5				2,0								1,0					8,00	0
346	8	Cadeia 7	427,31	0	4	12,17	1,3							0,7				2,0								1,0					8,00	0
347	8	Cadeia 9	284,87	0	1	9,49	1,7							0,8				2,0								1,0					8,00	0
348	8	Cadeia 8	142,44	0	2	9,77	1,6							0,8				2,0								1,0					8,00	0
349	8	Cadeia crítica	0	0	0	8,00	2,0							1,0				2,0								1,0					8,00	0
351	0,6	Cadeia 2	157,47	0	1	1,18								0,5			1,0									0,5			1		1,20	0
352	0,6	Cadeia 3	176,13	0	1	1,24								0,5			1,0									0,5			1		1,20	0
353	0,6	Cadeia 4	194,8	0	1	1,31								0,5			0,9									0,5			1		1,20	0
354	0,6	Cadeia 8	142,44	0	0	0,73								0,8			1,6									1,0			2		0,60	0
355	0,6	Cadeia crítica	0	0	0	0,60								1,0			2,0									1,0			2		0,60	0

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folga Total (ut)	(5) Folga Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ur)												(9) Recursos Nivelado (ur)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folga Total após nivelamento (ut)
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12		
357	14	Cadeia 1	27,61	0	0	14,21								1,9		3,8										2,0					13,50	0
358	14	Cadeia 10	36,94	0	1	15,42								1,8		3,5										2,0					13,50	0
359	14	Cadeia 11	46,28	0	1	15,42								1,8		3,5										2,0					13,50	0
360	14	Cadeia 12	55,62	0	1	15,42								1,8		3,5										2,0					13,50	0
361	14	Cadeia 13	64,95	0	1	15,42								1,8		3,5										2,0					13,50	0
364	12	Cadeia 6	569,75	0	10	22,26	4,3							2,2					5,0							2,5					19,20	0
365	12	Cadeia 7	427,31	0	6	18,25	5,3							2,6					6,0							3,0					16,00	0
366	12	Cadeia 9	284,87	0	2	14,24	6,7							3,4					7,0							3,5					13,71	0
367	12	Cadeia 8	142,44	0	3	14,65	6,6							3,3					7,0							3,5					13,71	0
368	12	Cadeia crítica	0	0	0	12,00	8,0							4,0					8,0							4,0					12,00	0
370	4,2	Cadeia 6	569,75	0	4	7,79	1,1							0,5					2,0							1,0					4,20	0
371	4,2	Cadeia 7	427,31	0	2	6,39	1,3							0,7					2,0							1,0					4,20	0
372	4,2	Cadeia 9	284,87	0	1	4,98	1,7							0,8					2,0							1,0					4,20	0
373	4,2	Cadeia 8	142,44	0	1	5,13	1,6							0,8					2,0							1,0					4,20	0
374	4,2	Cadeia crítica	0	0	0	4,20	2,0							1,0					2,0							1,0					4,20	0
376	4	Cadeia 6	569,75	0	3	7,42								2,2					3,0							3,0					5,33	0
377	4	Cadeia 7	427,31	0	2	6,08								2,6					3,0							3,0					5,33	0
378	4	Cadeia 9	284,87	0	1	4,75								3,4					3,5							3,5					4,57	0
379	4	Cadeia 8	142,44	0	1	4,88								3,3					3,5							3,5					4,57	0
380	4	Cadeia crítica	0	0	0	4,00								4,0					4,00							4,0					4,00	0
382	3,2	Cadeia 6	569,75	0	3	5,94	1,1							0,5					2,0							1,0					3,20	0
383	3,2	Cadeia 7	427,31	0	2	4,87	1,3							0,7					2,0							1,0					3,20	0
384	3,2	Cadeia 9	284,87	0	1	3,80	1,7							0,8					2,0							1,0					3,20	0
385	3,2	Cadeia 8	142,44	0	1	3,91	1,6							0,8					2,0							1,0					3,20	0
386	3,2	Cadeia crítica	0	0	0	3,20	2,0							1,0					2,0							1,0					3,20	0
389	28	Cadeia 6	569,75	412,28	24	51,95			1,1					1,1					2							2,0					28,00	163,54
390	28	Cadeia 7	427,31	251,18	15	42,59			1,3					1,3					2							2,0					28,00	31,81
391	28	Cadeia 9	284,87	90,07	5	33,23			1,7					1,7					2							2,0					28,00	76,06
392	28	Cadeia 8	142,44	0	6	34,18			1,6					1,6					2							2,0					28,00	0
393	28	Cadeia crítica	0	0	0	28,00			2,0					2,0					2							2,0					28,00	0
397	28	Cadeia 2	157,47	0	27	54,89								4,1	2,1											5	2,5				45,44	0
398	28	Cadeia 3	176,13	0	30	58,07								3,9	2,0											4	2,0				56,80	0
399	28	Cadeia 4	194,8	0	33	61,26								3,7	1,9											4	2,0				56,80	0
400	28	Cadeia 8	142,44	0	6	34,18								6,6	3,3											7	3,5				32,46	0
401	28	Cadeia crítica	0	0	0	28,00								8	4											8	4,0				28,40	0
403	14,2	Cadeia 2	157,47	0	14	27,83								5,8	2,9											6	3,0				28,40	0
404	14,2	Cadeia 3	176,13	0	15	29,45								5,5	2,7											6	3,0				28,40	0
405	14,2	Cadeia 4	194,8	0	17	31,07								9,8	4,9											10	5,0				17,04	0
406	14,2	Cadeia 8	142,44	0	3	17,34																									17,04	0
407	14,2	Cadeia crítica	0	0	0	14,20								12,0	6,0											12	6,0				14,20	0
409	9,47	Cadeia 2	157,47	0	9	18,56								6	3											6	3,0				18,93	0
410	9,47	Cadeia 3	176,13	0	10	19,64								5,8	2,9											6	3,0				18,93	0
411	9,47	Cadeia 4	194,8	0	11	20,72								5,5	2,7											6	3,0				18,93	0
412	9,47	Cadeia 8	142,44	0	2	11,56								9,8	4,9											10	5,0				11,36	0
413	9,47	Cadeia crítica	0	0	0	9,47								12,0	6,0											12	6,0				9,47	0

(1) Atividade	(2) Duração da atividade (ut)	(3) Cadeia	(4) Folha Total (ut)	(5) Folha Livre (ut)	(6) Duração adicionada (ut)	(7) Duração máxima (ut)	(8) Recurso da duração máxima (ut)												(9) Recursos Nivelado (ut)												(10) Duração Nivelada (ut)	(11) Folha Total após nivelamento (ut)
							R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12		
416	9.33	Cadeia 1	27.61	0	0	9.47								11.8	11.8										12	12.0				9.33	0	
417	9.33	Cadeia 10	36.94	9.34	1	10.28								10.9	10.9										11	11.0				10.18	8.49	
418	9.33	Cadeia 11	46.28	9.34	1	10.28								10.9	10.9										11	11.0				10.18	8.49	
419	9.33	Cadeia 12	55.62	9.34	1	10.28								10.9	10.9										11	11.0				10.18	8.49	
420	9.33	Cadeia 13	64.95	9.34	1	10.28								10.9	10.9										11	11.0				10.18	8.49	
422	9.33	Cadeia 1	27.61	0	0	9.47								11.8	5.9										12	6.0				9.33	0	
423	9.33	Cadeia 1	27.61	0	0	9.47								11.8	5.9										12	6.0				9.33	0	
424	9.33	Cadeia 1	27.61	0	0	9.47								11.8	5.9										12	6.0				9.33	0	
425	9.33	Cadeia 1	27.61	0	0	9.47								11.8	5.9										12	6.0				9.33	0	
426	9.33	Cadeia 1	27.61	0	0	9.47								11.8	5.9										12	6.0				9.33	0	
428	4.67	Cadeia 1	27.61	0	0	4.74								11.8	5.9										12	6.0				4.67	0	
429	4.67	Cadeia 1	27.61	0	0	4.74								11.8	5.9										12	6.0				4.67	0	
430	4.67	Cadeia 1	27.61	0	0	4.74								11.8	5.9										12	6.0				4.67	0	
431	4.67	Cadeia 1	27.61	0	0	4.74								11.8	5.9										12	6.0				4.67	0	
432	4.67	Cadeia 1	27.61	0	0	4.74								11.8	5.9										12	6.0				4.67	0	
435	26.25	Cadeia 5	532.13	0	60	86.65								0.6	1.2										1.0	2				52.50	0	
436	13.13	Cadeia 5	532.13	0	30	43.34								1.2	1.2										2.0	2				26.25	0	
437	21.88	Cadeia 5	532.13	0	50	72.23								0.6	1.2										1.0	2				43.75	0	
439	43.75	Cadeia 5	532.13	0	101	144.42	1.2							1.2						2						2.0				87.50	0	
440	87.5	Cadeia 5	532.13	0	201	288.84	1.2							0.6						2						1.0				175.00	0	
442	8.75	Cadeia 5	532.13	0	20	28.88	1.2							1.2						2						2.0				17.50	0	
443	15	Cadeia 5	532.13	0	35	49.52	1.2							1.2						2						2.0				30.00	265.09	
444	15	Cadeia 5	532.13	532.13	35	49.52	1.2							1.2						2						2.0				30.00	265.09	
447	8	Cadeia 1	27.61	0	0	8.12								1.0											1.0					8.00	0	
449	12.5	Cadeia 1	27.61	0	0	12.68	2.0							3.9						2.0						4.0				12.50	0	
450	45	Cadeia 1	27.61	0	1	45.66	2.0							5.9						2.0						6.0				45.00	0	
451	120	Cadeia 1	27.61	0	2	121.77	2.0							1.0						2.0						1.0				120.00	0	
454	16	Cadeia 1	27.61	0	0	16.24								2.0											2		2.0			16.00	0	
455	16	Cadeia 1	27.61	0	0	16.24								2.0											2		2.0			16.00	0	
457	8	Cadeia 1	27.61	0	0	8.12	2.0							1.0						2						1.0				8.00	0	
459	2	Cadeia 1	27.61	0	0	2.03	1.0													1										2.00	0	
460	0.5	Cadeia 1	27.61	27.61	0	0.51	1.0													1										0.50	27.61	
463	17.6	Cadeia 2	157.47	0	14	31.46								2.2												2.5				28.16	0	
464	17.6	Cadeia 3	176.13	0	15	33.10								2.1												2.5				28.16	0	
465	17.6	Cadeia 4	194.8	0	16	33.93								2.1												2.5				28.16	0	
466	17.6	Cadeia 8	142.44	0	4	21.49								3.3												3.5				20.11	0	
467	17.6	Cadeia crítica	0	0	0	17.60								4.0												4.0				17.60	0	
469	17.6	Cadeia 2	157.47	157.47	11	28.69								2.5												2.5				28.16	53.28	
470	17.6	Cadeia 3	176.13	176.13	12	30.00								2.3												2.5				28.16	12.74	
471	17.6	Cadeia 4	194.8	194.8	14	31.31								2.2												2.5				28.16	31.41	
472	17.6	Cadeia 8	142.44	142.44	4	21.49								3.3												3.5				20.11	68.08	
473	17.6	Cadeia crítica	0	0	0	17.60								4.0												4.0				17.60	0	

No Quadro 216, Quadro 217 e Quadro 218 constam os gráficos de Gantt após o nivelamento das atividades 1 a 473. Onde se identifica o efeito do relaxamento das atividades em relação a linha de base (barra cinza). As atividades que tiveram sua duração relaxada apresentam as barras aumentadas.

Quadro 216 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Atividade 1 a 129)

Quadro 217 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Atividade 130 a 316)

Quadro 218 Gráfico de Gantt após o nivelamento (Atividade 256 a 473)

O prazo final do projeto não é alterado mantendo-se os recursos da cadeia crítica. O nivelamento é realizado e os histogramas obtidos inicialmente e após cada nivelamento podem ser identificados no Quadro 219, que consta a unidade dos recursos pela unidade de tempo 01.

Os recursos R01, R02, R05, R06 e R08 não estavam nivelados inicialmente. O recurso R01, R02 e R05 após o nivelamento ainda apresentaram oscilações. Os recursos R06 e R08 (comum a quase todas as tarefas) foram nivelados em relação ao inicial.

Os recursos R03, R04, R07, R09, R10, R11 e R12 se mantiveram nivelados com uma distribuição melhor que a inicial e picos menores.

HISTOGRAMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inicial R01	8	2	6	6	12	24	30	30	30	29	10	2
Nivelado R01	8	2	6	6	7	17	24	29	31	34	10	2
Inicial R02	8	6	8	14	14	14	14	4	23	8	8	4
Nivelado R02	8	6	8	12	12	14	16	8	19	4	8	4
Inicial R03		6	8	8	8	8	8					
Nivelado R03		6	8	8	8	8	8					
Inicial R04								2	2	2	2	
Nivelado R04								2	2	2		
Inicial R05				4	6	6	6	8	6		2	2
Nivelado R05				4	4	8	8	9	5		3	2
Inicial R06				2	2	2	2	4	4	2	6	4
Nivelado R06				2	2	2	2	2	2	2	5	6
Inicial R07										40	36	12
Nivelado R07										25	25	24
Inicial R08	8	12	12	18	18	20	23	19	21	34.5	25	8
Nivelado R08	8	12	12	16	16	21	21	21	21	34.5	20.5	16.5
Inicial R09							4					
Nivelado R09								2	2			
Inicial R10												1
Nivelado R10												1
Inicial R11										16	2	2
Nivelado R11										16	2	2
Inicial R12										2		
Nivelado R12										2		

Quadro 219 Histograma inicial e após o nivelamento com a demanda programada para os recursos R01 a R12 (unidade de recurso *versus* unidade de tempo 01)