CAIO MARRANGHELLO MINGIONE

Produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios

São Paulo

2016

CAIO MARRANGHELLO MINGIONE

Produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Programa: Mestrado Profissional em
Inovação na Construção Civil

Orientador: Prof. Livre-Docente Ubiraci
Espinelli Lemes de Souza

São Paulo
2016

CAIO MARRANGHELLO MINGIONE

Produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Programa: Mestrado Profissional em
Inovação na Construção Civil

Orientador: Prof. Livre-Docente Ubiraci
Espinelli Lemes de Souza

São Paulo

2016

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

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Mingione, Caio

Produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios / C.
Mingione -- versão corr. -- São Paulo, 2016.
394 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Produtividade 2.Construção 3.Estrutura de aço 4.Montagem 5.Edifício
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Construção Civil II.t.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao Professor Ubiraci, pela oportunidade, orientação e amizade, bem como por todos os ensinamentos passados desde os tempos da graduação.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelo enorme aprendizado proporcionado ao longo da minha formação nessa Escola.

Aos professores Francisco Ferreira Cardoso e Valdir Pignata e Silva, pelas críticas e contribuições na banca de qualificação dessa dissertação, e aos professores Antonio Edésio Jungles e Cláudio Vicente Mitidieri Filho pelas críticas e contribuições na banca de defesa.

Aos meus colegas da Odebrecht, por todo o aprendizado e companheirismo dos últimos anos. Cabe agradecimento especial aos meus líderes, Carlos Eduardo Campos Passos e Bart Frans Moerman, tanto pelo aprendizado que me proporcionaram quanto pelo apoio a minha dedicação ao mestrado, e ao mestre-de-obras Roberval Vittorio, por todos os ensinamentos passados.

Às empresas Codeme, Medabil e Eléve, pelo apoio prestado ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa.

À minha família e amigos, pelo suporte, sem o qual não teria sido possível a realização desse trabalho.

RESUMO

A busca por melhorias de produtividade na indústria da construção civil é fundamental para garantia do crescimento sustentável do setor. Nesse sentido, o uso de estruturas de aço na construção de edifícios aparece como uma alternativa interessante às tradicionais estruturas em concreto armado. Essa dissertação tem por objetivo o estudo da produtividade da mão de obra e de equipamentos de içamento na montagem de estruturas de aço para edifícios de múltiplos pavimentos, buscando comprovar a hipótese de que essa produtividade varia em conjunto com alguns fatores que podem ser identificados e que essa variação pode ser quantificada. A pesquisa foi realizada segundo metodologia de Estudo de Caso, sendo que cinco obras compuseram o estudo. Como resultados, observa-se que produtividade potencial da mão de obra variou entre 3,33 e 8,23 Hh/peça ou 11,8 e 33,8 Hh/t e que a produtividade potencial dos equipamentos variou entre 0,38 e 0,53 Eqh/peça ou 1,84 e 2,29 Eqh/t, além de terem se encontrado correlações significativas entre os fatores tonelada/peça, disponibilidade do equipamento de içamento e quantidade relativa de pilares e os indicadores de produtividade.

Palavras-Chave: Produtividade; Construção; Estrutura de Aço; Montagem; Edifício.

ABSTRACT

The search for productivity gains in the construction industry is critical to ensure the sustainable growth of the sector. The use of steel structures for buildings appears as an interesting alternative to the traditional concrete structures. This research aims to study labor productivity and lifting equipments productivity in the erection of steel structures for multistory buildings, trying to prove the hypothesis that productivity indicators are correlated with some identifiable factors and that its variation can be quantified. The research was conducted as a Case Study, in which five construction sites were considered. As a result, it was observed that labor productivity ranged between 3,33 and 8,23 man-hour/piece or 11,8 and 33,8 man-hour/t, and that the equipments productivity ranged between 0,38 and 0,53 equipment-hour/piece or 1,84 and 2,29 equipment-hour/t, and it was found significant correlations between the factors tons per piece, equipment availability and relative number of columns and the productivity indicators.

Keywords: Productivity; Construction; Steel Structure; Erection; Building.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização do trabalho	1
1.1.1. O desafio da produtividade para a construção civil brasileira	1
1.1.2. A escolha do serviço de montagem de estruturas de aço para edifícios como objeto de estudo da produtividade	6
1.1.3. A escolha do estudo da produtividade focando a produtividade física da mão de obra e equipamentos.....	7
1.2. Delimitação do tema, problema e hipótese da pesquisa	9
1.3. Objetivos do trabalho.....	10
1.4. Justificativa do tema	10
1.5. Inserção do Trabalho.....	11
1.5.1. Justificativa do trabalho no âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil da EPUSP.....	12
1.6. Metodologia	13
1.6.1. Caracterização da pesquisa.....	14
1.6.2. Método da pesquisa: estudo de caso.....	17
1.7. Estrutura da dissertação.....	21
2. Produtividade – Aspectos Conceituais	23
2.1. Gestão da produção e a abordagem de processos	23
2.2. O conceito de produtividade	28
2.3. Conceitos correlatos.....	32
2.4. Utilidades do estudo da produtividade em canteiro de obra	38
2.5. Indicadores de produtividade de processos produtivos em canteiro de obras de construção civil	38
2.5.1. Como medir.....	38

2.5.2. O que considerar.....	40
2.5.2.1. Entradas.....	41
2.5.2.2. Saídas	45
2.5.3. Período de tempo de referência.....	46
2.5.4. Quebra do processo produtivo em subprocessos	48
2.6. Variação da produtividade de processos produtivos em canteiro de obras de construção civil	52
2.6.1. Fatores influenciadores da produtividade	55
2.6.2. Indicadores de produtividade física potencial.....	57
2.6.3. Indicadores de produtividade x fatores influenciadores	59
2.6.4. Curvas de aprendizado	60
2.7. Métodos para o estudo da produtividade de processos produtivos em canteiro de obras de construção civil	62
2.7.1. Período do estudo e número de obras.....	62
2.7.2. Modelos de estudo da produtividade da mão de obra	63
2.7.2.1. Modelos teóricos	64
2.7.2.2. Modelos baseados em estudo do trabalho.....	64
2.7.2.3. Modelos entrada e saída.....	73
2.7.3. Técnicas de coleta, processamento e análise de dados.....	76
3. Aspectos Tecnológicos e Construtivos das Estruturas de Aço para Edifícios	77
3.1. Componentes das estruturas de aço	77
3.1.1. Chapas.....	78
3.1.2. Perfis.....	79
3.1.2.1. Perfis laminados.....	80
3.1.2.2. Perfis formados a frio ou dobrados	84
3.1.2.3. Perfis soldados.....	85
3.1.2.4. Perfis compostos.....	88
3.1.3. Barras.....	88

3.1.4. Tubos estruturais	89
3.1.5. Perfis, tubos e barras calandrados.....	89
3.1.6. Componentes para ligações.....	89
3.2. Sistemas Estruturais em aço para edifícios	90
3.2.1. Sistemas estruturais.....	94
3.2.2. Estruturas de pisos	98
3.2.2.1. Vigamento principal e secundário	98
3.2.2.2. Sistemas de laje.....	98
3.2.3. Estruturas híbridas e mistas.....	101
3.2.4. Juntas de dilatação	106
3.3. Ligações	106
3.3.1. Ligações Soldadas.....	107
3.3.2. Ligações Parafusadas.....	116
3.3.3 Ligações com combinação de soldas e parafusos.....	119
3.3.4. Ligações Flexíveis e Rígidas.....	119
3.3.5. Ligações concreto-aço	123
3.4. Processo de produção de estruturas de aço para edifícios	130
3.4.1. Fábrica	130
3.4.2. Transporte.....	133
3.4.3. Obra	133
3.4.3.1. Serviço de execução do reticulado metálico	134
3.5. Montagem	135
3.5.1. Equipamentos para montagem	137
3.5.1.1. Equipamentos de içamento – guias e guindastes.....	138
3.5.1.2. Dispositivos de amarração de cargas	144
3.5.2. Interfaces da montagem com os demais serviços e etapas.....	145

3.5. Fatores influenciadores da produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios	147
4. Desenvolvimento do Método de Coleta, Processamento e Análise de Dados.....	151
4.1. Definição dos indicadores a serem utilizados no estudo	153
4.2. Determinação dos fatores que potencialmente influenciam na produtividade do serviço	158
4.2.1. Listagem ampla de fatores potencialmente influenciadores da produtividade do serviço	159
4.2.2. Seleção dos fatores potencialmente influenciadores da produtividade do serviço a serem estudados	161
4.3. Consolidação do método de coleta, processamento e análise de dados	163
4.3.1. Coleta e processamento de dados - Estudos de Caso	163
4.3.1.1. Coleta e processamento de dados - Modelo dos Fatores.....	164
4.3.1.2. Coleta e processamento de dados segundo técnicas de Medição do Trabalho.....	172
4.3.2. Coleta e processamento de dados - Pesquisa Bibliográfica.....	177
4.3.3. Análise de Dados.....	178
4.3.3.1. Análises com base no Modelo dos Fatores.....	179
4.3.3.1.1. Análise Intraobra com base no Modelo dos Fatores.....	185
4.3.3.1.2. Análise Interobras com base no Modelo dos Fatores	186
4.3.3.2. Análise comparativa entre as informações oriundas das técnicas de medida do trabalho e as informações oriundas do Modelo dos Fatores	186
4.3.3.3. Análise comparativa entre as informações oriundas da pesquisa bibliográfica e as informações oriundas dos estudos de caso	187
4.3.3.4. Consolidação das análises.....	187
5. Coleta e Processamento de Dados.....	189
5.1. Estudos de Caso	189
5.1.1. Obra RJ01.....	191

5.1.1.1. Descrição geral do caso.....	191
5.1.1.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra	192
5.1.1.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores	194
5.1.1.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho	199
5.1.1.5. Imagens da obra	201
5.1.2. Obra RJ02.....	203
5.1.2.1. Descrição geral do caso.....	203
5.1.2.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra	204
5.1.2.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores	205
5.1.2.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho	210
5.1.1.5. Imagens da obra	211
5.1.3. Obra RJ03.....	212
5.1.3.1. Descrição geral do caso.....	212
5.1.3.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra	213
5.1.3.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores	213
5.1.3.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho	217
5.1.3.5. Imagens da obra	218
5.1.4. Obra SP01	219
5.1.4.1. Descrição geral do caso.....	219
5.1.4.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra	220
5.1.4.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores	220

5.1.4.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho	224
5.1.4.5. Imagens da obra	224
5.1.5. Obra SP02	225
5.1.5.1. Descrição geral do caso.....	225
5.1.5.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra	226
5.1.5.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores	227
5.1.5.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho	233
5.1.5.5. Imagens da obra	233
5.1.6. Coleta de dados complementares aos Estudos de Caso.....	234
5.1.6.1. Estudo do tempo – Obra O1	234
5.1.6.2. Banco de Indicadores – Obras O2, O3, O4, O5, O6 e O7	236
5.2. Pesquisa Bibliográfica	237
6. Análise de Dados	245
6.1. Análise Intraobras com base no Modelo dos Fatores	245
6.1.1. Obra RJ01	245
6.1.2. Obra RJ02.....	247
6.1.3. Obra RJ03.....	249
6.1.4. Obra SP01	252
6.1.5. Obra SP02	253
6.1.6. Conclusões da análise intraobras	255
6.2. Análise Interobras com base no Modelo dos Fatores	258
6.2.1. Tabelas resumos de indicadores e fatores para o conjunto de obras dos estudos de caso	258
6.2.2. Análise comparativa entre indicadores advindos dos estudos de caso e indicadores da coleta de dados complementar	261

6.2.3. Análises de correlação para o conjunto de obras	263
6.2.4. Análise da configuração das equipes de mão de obra global	267
6.3. Análise comparativa entre as informações oriundas das técnicas de medida do trabalho e as informações oriundas do Modelo dos Fatores	269
6.4. Análise comparativa entre as informações oriundas da pesquisa bibliográfica e as informações oriundas dos estudos de caso	275
6.5. Resultados consolidados da análise de dados	276
7. Considerações Finais	283
7.1. Considerações quanto ao atendimento dos objetivos	283
7.2. Análise crítica do método de pesquisa proposto	285
7.3. Sugestão para estudos futuros	293
REFERÊNCIAS.....	295
APÊNDICE A	307
A1. Cadeia produtiva das estruturas de aço.....	307
A1.1. Indústria siderúrgica	309
A1.2. Fabricantes de estruturas de aço	311
A2. Produção do aço estrutural - o processo siderúrgico	312
A3. Tratamentos térmicos.....	316
A4. Corrosão	316
A5. Proteção contra a corrosão	320
A5.1. Seleção do material	321
A5.2. Cuidados no detalhamento do projeto estrutural e na execução	324
A5.3. Técnicas de proteção contra a corrosão.....	329
A5.3.1. Uso de revestimentos	329
A5.3.1.1. Revestimentos metálicos	329
A5.3.1.2. Revestimentos não metálicos inorgânicos.....	332
A5.3.1.2. Revestimentos não metálicos orgânicos.....	333

A5.3.2. Proteção catódica por corrente imposta e metal de sacrifício.....	340
A5.3.3. Proteção anódica por corrente imposta	341
A5.3.4. Uso de inibidores, controle de ar dissolvido e controle de pH	341
A6. Propriedades dos aços estruturais	343
A7. Tipos de aços estruturais	344
A8. Proteção contra incêndio de aços estruturais.....	346
A9. Projeto de estruturas de aço para edifícios	350
A10. Vantagens e desvantagens do uso de estruturas de aço para edifícios	351
APÊNDICE B	355
APÊNDICE C	359

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do trabalho

1.1.1. O desafio da produtividade para a construção civil brasileira

A indústria da construção civil no Brasil representa cerca de 6,4% do PIB nacional ou 25,2% do PIB da indústria¹ (CBIC/ IBGE, 2010-2014). A participação é ainda maior se considerada a cadeia produtiva da construção como um todo². Tal resultado expressa a importância relativa do setor da construção para economia do país.

O PIB da construção civil brasileira apresentou um crescimento prolongado no período de 2007 a 2013, no qual a média da taxa real de crescimento a cada ano foi de cerca de 7,2% (CBIC/ IBGE, 2007-2013). Tal crescimento foi acompanhado de outras transformações importantes para o setor. De 2007 a 2011, o número de pessoas ocupadas na construção civil cresceu por volta de 25%, totalizando cerca de 8 milhões de ocupados (CBIC/ IBGE, 2007-2011). Analisando-se apenas o número de postos formais criados neste mesmo período, nota-se crescimento de 73,7%, chegando a 2,9 milhões de trabalhadores formais - 36% do total de ocupados. Nos anos de 2012 e 2013, o crescimento dos postos formais de trabalho se manteve, ultrapassando a casa dos três milhões de trabalhadores formais (CBIC/ MTE, 2000-2013).

No entanto, os anos recentes de 2014 e 2015 apontam para um cenário diferente do visto nesse último período. O ano de 2014 apresentou retração real no PIB da construção da ordem de 2,6% e o primeiro trimestre de 2015 já aponta retração de 2,9% (CBIC/ IBGE, 2014-2015). Esse mesmo período apresentou uma redução de cerca de 220 mil postos de trabalho celetistas (CBIC/ MTE, 2014-2015). Além disso,

¹ Considerou-se a média, entre os anos de 2010 e 2014, da relação entre o valor adicionado bruto a preços básicos correntes (VABpb) da construção civil, da economia e da indústria brasileira, com base no sistema de contas nacionais do IBGE, conforme publicado por CBIC/ IBGE (2010-2014).

² Valor varia dependendo da maior ou menor amplitude que se tome do conceito de cadeia produtiva da construção. Segundo a ABRAMAT (2013), a participação da cadeia produtiva da construção, no ano de 2012, foi de 8,8% do PIB do país. Conforme apresentado no Congresso Brasileiro da Construção (2012), a participação do *construbusiness* no ano de 2010 foi de 7,9% do PIB do país.

observa-se forte queda na rentabilidade das empresas do setor e perda de valor das ações das empresas de capital aberto. Especificamente no mercado imobiliário, nota-se a redução da disponibilidade de financiamento habitacional, acentuada queda no número de vendas e lançamentos e aumento de estoques e distratos, queda no valor dos imóveis e aluguéis e aumento de vacâncias (EXAME, 2015). Caracteriza-se, portanto, um cenário de grave crise no setor da construção.

Percebe-se ainda que ao longo dos últimos anos houve um aumento real nos custos de construção. A Figura 1 apresenta uma análise comparativa entre a variação percentual acumulada dos indicadores de custos de construção CUB/m² (SINDUSCONS ESTADUAIS) e INCC-DI (FGV) com os indicadores gerais de inflação IGP-M (FGV) e IPCA (IBGE) entre os anos de 2009 a 2014.

Figura 1. Gráfico comparativo entre variação acumulada dos indicadores de custos de construção e indicadores gerais de inflação entre os anos de 2009 e 2014 (elaboração do próprio autor com base em CBIC/ SINDUSCONS, 2008-2014, CBIC/ FGV, 2008-2014 e FGV, 2008-2014).

Nota-se que, de 2009 a 2014, ambos os indicadores de custos de construção apresentaram crescimento acumulado superior ao dos indicadores gerais de inflação: 37,35% para o CUB/m² e 40,67% para o INCC-DI, contra 31,72% para o IGP-M e 34,87% para o IPCA.

Este crescimento pode estar associado a diferentes fatores. A Tabela 1 mostra a decomposição da variação percentual anual do CUB/m² e do INCC-M em termos de materiais, equipamentos e mão de obra, dos anos de 2010 a 2014. Observa-se que a mão de obra foi o fator que mais pesou no crescimento dos custos de construção.

Tabela 1. Influência da mão de obra, materiais e equipamentos nos indicadores setoriais de custo de construção. Valores em % de variação no ano (elaboração do próprio autor com base em CBIC/ SINDUSCONS, 2010-2014 e CBIC/ FGV, 2010-2014).

	CUB/ m2				INCC-M		
	Global	Material	Mao de Obra	Equipamentos	Global	Material e Equipamentos	Mao de Obra
2010	6,59	3,76	9,64	7,57	7,58	5,11	9,91
2011	6,91	2,52	11,22	4,37	7,58	4,19	10,72
2012	7,41	3,74	10,71	17,44	7,23	6,18	9,55
2013	7,38	3,27	10,97	-1,98	8,05	10,72	9,7
2014	6,02	2,68	8,42	10,71	6,73	5,43	7,93
Média	6,86	3,20	10,19	7,62	7,43	6,33	9,56

Neste cenário de crise e aumento de custos, torna-se imprescindível observar o comportamento da produtividade da indústria da construção civil, de forma a compreender se está ocorrendo uma eficiente alocação de recursos na produção de resultados. Castelo (2014) observa que, no período de 2008 a 2011, a produtividade dos trabalhadores³ apresentou queda da ordem de 5%.

Uma pesquisa desenvolvida pela Ernst & Young (2012-2013), denominada “Estudo sobre a produtividade na construção civil: desafios e tendências no Brasil”, realizada com sete das maiores incorporadoras e construtoras de capital aberto no Brasil no período de 2007 a 2011, aponta três fatores estruturais que justificam maior preocupação do setor com o tema produtividade:

- Os custos crescentes e seu impacto na rentabilidade: as empresas pesquisadas apresentaram crescimento de 24% no número de lançamentos, 50% na receita líquida e 60% nos custos, fazendo com que o Ebitda⁴ combinado das mesmas caísse do patamar de 21% para 16%. Nota-se, no entanto, que esses dados referem-se a anos de bom desempenho do setor e que, em um cenário de crise, o impacto na rentabilidade das empresas é ainda maior, pois a queda nas vendas diminui as receitas e restringe o repasse dos aumentos de custo ao consumidor final.

³ Calculada como a relação entre a variação do valor adicionado da indústria da construção e a variação do número de trabalhadores.

⁴ Ebitda corresponde a “*Earnings Before Interests, Taxes, Depreciation and Amortization*”, isto é, o resultado antes de juros, impostos, depreciação e amortização.

- A carência de mão de obra especializada, que não só exerce pressão nos custos como também limita o potencial de crescimento das empresas e impacta os prazos de entrega dos empreendimentos. De fato, a escassez de mão de obra qualificada vem sendo considerada o principal fator de limitação à melhoria dos negócios segundo pesquisas de sondagem recentes do setor (CASTELO, 2014).
- O aumento da complexidade dos negócios: devido à gestão de múltiplas obras simultâneas resultante do crescimento das empresas nos últimos anos, aliado ao cenário de restrição dos recursos, exigindo melhor cumprimento dos prazos para que as oscilações de planejamento em um empreendimento não impactem os demais.

Ao se analisarem os fatores que potencialmente influenciaram no ciclo de crescimento do setor da construção civil entre 2007 e 2013, observa-se que se tratavam, em sua maioria, de fatores conjunturais, ligados a questões macroeconômicas e ações governamentais, ao invés de fatores estruturais ligados a um desenvolvimento sustentado e efetivo do setor. A PAIC 2011 (IBGE, 2013), por exemplo, aponta como fatores que influenciaram o crescimento recente da indústria da construção:

- Maior oferta de crédito imobiliário;
- Aumento no desembolso destinado a obras de infraestrutura do BNDES;
- Crescimento do emprego e da renda familiar;
- Incremento no consumo das famílias;
- Manutenção da desoneração de IPI sobre diversos insumos da construção civil;
- Programas de Aceleração do Crescimento e Minha Casa Minha Vida.

Acontecimentos recentes, como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016, provavelmente também podem ser apontados como fatores que contribuíram para esse ciclo de crescimento. A passagem abrupta do setor de um ciclo de forte crescimento entre os anos de 2007 a 2013 para uma crise em 2014 e 2015 comprova a falta de solidez desses fatores, que não conseguiram garantir de forma sustentada o bom desempenho do setor.

Assim, para recuperar-se da crise e conseguir manter um ciclo de crescimento sustentável pelos próximos anos, a indústria da construção civil terá de enfrentar desafios bastante complexos, envolvendo mudanças difíceis e sólidas, além de planos de longo prazo. Dentre os possíveis instrumentos para essa retomada e manutenção do crescimento destaca-se a busca pelo aumento da produtividade do setor.

Assim nota-se a construção civil brasileira inserida no seguinte cenário:

- A indústria passou por um ciclo de forte crescimento e formalização durante os anos de 2007 e 2013, e ganhou relevância frente aos demais setores da economia do país. No entanto, mesmo durante o bom período, apresentou-se uma tendência de queda na produtividade, quando analisada sobre o ponto de vista setorial⁵, e de aumento real dos custos de construção, em especial da mão de obra. Esse ciclo de crescimento pareceu estar atrelado mais a fatores conjunturais do que a fatores estruturais, de forma a não estabelecer bases sólidas para um crescimento sustentado.
- Nos anos de 2014 e 2015 a construção civil entra abruptamente em um período de crise, com retração no PIB, grande número de demissões, diminuição no valor e rentabilidade das empresas. O mercado imobiliário também é fortemente afetado, com queda nas vendas, lançamentos, disponibilidade de financiamento, valor dos imóveis e aluguéis, e aumento de estoques, distratos e vacâncias.

⁵ Buscou-se aqui fazer uma caracterização abrangente do setor da construção civil brasileira, tendo por foco demonstrar os desafios em termos de melhoria da produtividade. Entretanto, faz-se a ressalva de que é imprescindível tomar cuidado ao se derivar conclusões advindas de dados e análises setoriais. Afinal, é preciso compreender: será que estas conclusões valem uniformemente para todas as empresas do setor (ou temos variação conforme o porte da empresa?), para o país como um todo (ou temos regiões com desempenhos melhores que outras?), para a indústria da construção como um todo (ou temos áreas específicas - edificações, infraestrutura - com desempenhos distintos?). Qual a metodologia, critérios de amostragem e tratamento estatístico destes dados e como isto afeta as conclusões que deles pode-se obter? Responder a estas perguntas foge do escopo deste trabalho, mas faz-se este alerta de forma a guiar uma correta interpretação do texto.

1.1.2. A escolha do serviço de montagem de estruturas de aço para edifícios como objeto de estudo da produtividade

A construção de edifícios compreende uma das parcelas mais relevantes dentro da indústria da construção civil, tendo correspondido no ano de 2011 a 37,6% dos postos de trabalho formais e 37,4% do PIB do setor (IBGE, 2011).

Um edifício pode ser analisado e estudado com base em uma abordagem sistêmica, na qual o todo é considerado um sistema que pode ser dividido hierarquicamente com base no nível funcional de suas partes. Nesse sentido, um subsistema do sistema edifício seria a maior parte funcional do mesmo, destinado a cumprir uma macro função que a define – subsistema fundação, subsistema estrutura, subsistema vedação vertical, subsistema instalações, etc. Um subsistema é formado por um conjunto de elementos, que por sua vez são formados por um conjunto de componentes e que por sua vez são constituídos por um conjunto de materiais.

A estrutura é um dos subsistemas mais importantes do edifício, sendo responsável por cerca de 20% a 30% do custo de construção do edifício (CAÇADOR, 2014) e compondo o caminho crítico na sua execução.

Nesse sentido, o uso de estruturas em aço surge como uma alternativa interessante para a produção de edifícios de múltiplos pavimentos, uma vez que o caráter mais industrializado desse método construtivo tem potencial de permitir ganhos de produtividade na execução do subsistema estrutura, podendo ter impactos na redução dos custos e prazos na construção do edifício.

Apesar deste método construtivo já ser bastante conhecido e utilizado internacionalmente, seu uso na construção de edifícios de múltiplos pavimentos ainda é pouco difundida no Brasil, onde tradicionalmente prevalece o uso de estruturas em concreto armado. O Brasil é atualmente um dos principais produtores mundiais de aço, no entanto, a produção de perfis e tubos de aço estrutural para uso na construção civil no país ainda é pequena, tendo correspondido, em 2008, a cerca de 4% da produção da China (principal produtor), 18% da produção dos Estados

Unidos e 40% da produção da Índia, apenas para citar alguns exemplos (FALEIROS et al., 2012). Assim, nota-se o enorme potencial de aumento no uso dessa tipologia estrutural no país.

Especificamente, a escolha do serviço de montagem da estrutura se justifica não só por conta de sua relevância em termos de custos na execução da estrutura de aço (conforme indicado na Tabela 2, os custos de montagem respondem por entre 20% e 35% do custo total da estrutura) como também por ser uma etapa fundamental na execução de estruturas de aço – afinal, sem a montagem, não há a estrutura. Deve-se considerar também que a montagem é uma etapa da execução realizada fora de ambiente industrial e, portanto, mais sujeita a fatores que façam variar sua produtividade.

Tabela 2. Faixa de custo associada a diferentes serviços envolvidos na execução de estruturas de aço para edifícios (elaboração do autor com base em BELLEI et al., 2008).

Serviço	Faixa de Custo
Projeto estrutural	1 a 3%
Detalhamento	2 a 5%
Materiais e componentes	20 a 50%
Fabricação da estrutura	20 a 40%
Transporte	1 a 3%
Montagem	20 a 35%
Proteção anti-corrosão (caso houver)	10 a 30%
Revestimento anti-incêndio (caso houver)	8 a 15%

1.1.3. A escolha do estudo da produtividade focando a produtividade física da mão de obra e dos equipamentos

A produtividade, entendida como a relação entre entradas e saídas de um processo de produção, pode ser analisada segundo diferentes óticas, seja em termos de abrangência do processo a qual se refere, seja das entradas e saídas que estão sendo consideradas, seja do método específico usado para calculá-la⁶.

⁶ Estes conceitos serão mais detalhadamente desenvolvidos no Capítulo 2 desta dissertação.

A construção de uma obra é um processo que requer para sua realização o consumo de recursos de natureza física, financeira e social e da mesma forma gera produtos dessas naturezas. Por produtividade física em uma obra, entende-se a produtividade tomada como a relação entre o consumo de recursos físicos (materiais, mão de obra e equipamentos) e os produtos físicos gerados (edifício ou partes dele).

Por mais que outras relações sejam importantes - no item 1.1., por exemplo, foi utilizada a relação entre valor adicionado e o número de trabalhadores como medida da produtividade sob uma ótica setorial -, este autor entende que é na produtividade física no canteiro de obras que se encontra o maior potencial para a busca de melhorias no processo de gestão da produção na construção civil. Afinal, por mais que se possa analisar a produtividade do setor por meio de indicadores mais abrangentes, é no canteiro de obras que esta produtividade efetivamente se materializa.

Para o estudo da produtividade física, optou-se por utilizar o consumo de mão de obra e de equipamentos como ferramenta para análise da produtividade. Essa escolha se deu por diversos motivos:

- Por ser uma solução de alto grau de industrialização, a montagem de estruturas de aço tem seu ritmo ditado tanto pelo ritmo da mão de obra quanto pela eficiência dos equipamentos de içamento utilizados.
- Mão de obra e equipamentos são os principais responsáveis pelo aumento recente dos custos de construção, conforme indicado na Tabela 1.
- A mão de obra é o recurso onde as maiores perdas são verificadas e é o recurso de mais difícil controle em obra (SOUZA, 1996).
- A potencial redução no consumo de mão de obra devido a maior industrialização do método construtivo de estruturas de aço pode constituir uma das suas principais vantagens frente a soluções mais tradicionais, como a estrutura em concreto armado.

1.2. Delimitação do tema, problema e hipótese da pesquisa

Marconi e Lakatos (2003) apresentam as seguintes definições para tema, problema e hipótese de uma pesquisa:

- Tema de uma pesquisa é uma proposição até certo ponto abrangente, representando o assunto que se deseja provar ou desenvolver.
- Problema é uma preposição interrogativa que indica exatamente qual a dificuldade que se pretende resolver. Consiste em um enunciado explicitado de forma clara, compreensível e operacional, cujo melhor modo de solução ou é uma pesquisa ou pode ser resolvido por meio de processos científicos.
- Hipótese é uma resposta suposta, provável e provisória para o problema estabelecido.

Com base nesses conceitos, apresenta-se para a presente dissertação o seguinte tema:

Produtividade física da mão de obra e de equipamentos de içamento no serviço de montagem em obra do reticulado metálico de estruturas de aço de edifícios de múltiplos pavimentos com sistemas estruturais em pórtico tridimensional.

A partir do tema, pode-se formular o seguinte problema da pesquisa:

É possível identificar alguns fatores que variam em conjunto com a produtividade da mão de obra e de equipamentos no serviço de montagem de estruturas de aço de edifícios e quantificar essa variação?

Por fim, formula-se a seguinte hipótese, a qual esta pesquisa buscará comprovar:

Os indicadores de produtividade da mão de obra e de equipamentos no serviço de montagem de estruturas de aço para edifícios variam em conjunto com alguns fatores identificáveis, sendo que essa variação pode ser quantificada.

1.3. Objetivos do trabalho

O objetivo geral desta dissertação é o estudo da produtividade da mão de obra e de equipamentos de içamento na montagem de estruturas de aço para edifícios de múltiplos pavimentos, buscando comprovar a hipótese de que essa produtividade varia em conjunto com alguns fatores que podem ser identificados e que essa variação pode ser quantificada.

Têm-se ainda como objetivos específicos:

- Geração e utilização de um procedimento padronizado para mensuração da produtividade da montagem de estruturas de aço para edifícios.
- Formação de banco de dados de produtividade de mão de obra e equipamentos envolvidos no serviço considerado.
- Levantamento amplo de fatores de conteúdo e de contexto que potencialmente afetem a produtividade do serviço considerado.
- Fornecimento de subsídios à discussão sobre o uso de estruturas em aço para empreendimentos de edifícios de múltiplos pavimentos, oferecendo elementos comparativos em relação a outras tipologias estruturais mais convencionais.

1.4. Justificativa do tema

Com base no que foi exposto, justifica-se um trabalho de pesquisa que trate do estudo da produtividade pela necessidade do setor da construção civil de buscar um aumento de sua produtividade, visando à retomada e manutenção do seu crescimento de forma sustentável.

Justifica-se a escolha da montagem de estruturas de aço de edifícios como serviço a ser analisado devido à relevância do subsector de construção de edifícios dentro da indústria da construção; da importância do subsistema estrutura de uma edificação, tanto em termos de custos quanto de prazos; da estrutura de aço constituir um método construtivo industrializado e pouco utilizado no mercado brasileiro, mas com alto potencial de trazer benefícios para o processo de produção de edifícios; pelo serviço de montagem em canteiro constituir uma das etapas de maior relevância na

execução de estruturas de aço, bem como por ser a etapa mais sujeita a variações de produtividade.

Justifica-se ainda a análise da produtividade física deste serviço, pois é através do estudo da eficiência na alocação de recursos físicos em canteiro de obras que se encontra o maior potencial para a busca de melhorias no processo de gestão da produção na construção civil, gerando-se um ganho efetivo de produtividade para o setor.

Por fim, justifica-se a escolha da mão de obra e equipamentos como ferramentas para a análise da produtividade uma vez que são estes fatores que ditam o ritmo do serviço de montagem de estruturas de aço, bem como são fatores essenciais para se avaliar as potenciais vantagens apresentadas por este método construtivo; são os principais fatores responsáveis pelo atual aumento dos custos de construção; a mão de obra é o recurso onde as maiores perdas são verificadas e é o recurso de mais difícil controle em obra.

1.5. Inserção do Trabalho

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil, oferecido pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC-EPUSP).

O mestrado profissional é uma pós graduação *stricto sensu*, sendo “uma modalidade de mestrado que enfatiza estudos e técnicas diretamente voltadas ao desempenho de um alto nível de qualificação profissional” (CAPES, 2014). Dentro deste conceito, o Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil tem por objetivo a formação em pós-graduação de profissionais atuantes no setor, oferecendo técnicas e instrumentos para utilização aplicada dos conhecimentos acadêmicos no exercício da inovação, em clara associação com o desenvolvimento profissional.

No caso deste autor, a atuação profissional ao longo do período de realização deste trabalho foi desenvolvida junto à empresa construtora Odebrecht Realizações Imobiliárias, que o apoiou no desenvolvimento da pesquisa.

Por fim, este trabalho está inserido no Grupo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Tecnologia e Gestão da Produção na Construção Civil (TGP-EPUSP), cujo trabalho foca o desenvolvimento de tecnologias e ferramentas de gestão que visam contribuir para a resolução de problemas que envolvem a produção de infraestrutura e edifícios, e para o aumento da competitividade do setor. Inclui-se ainda dentro da linha de pesquisa denominada Gestão da Produção na Construção Civil, sendo desenvolvido sob orientação do Prof. Dr. Ubiraci Espinelli Lemes de Souza.

1.5.1. Justificativa do trabalho no âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil da EPUSP

A existência de uma relação entre produtividade e inovação encontra-se estabelecida na literatura. De fato, diversos trabalhos nos últimos anos (PINTO e CIBRÃO, 2006; BRITTO, 2008/2009; STEINGRABER, 2009) se debruçaram sobre o impacto das inovações tecnológicas sobre o crescimento e melhoria da produtividade, tanto em nível das empresas quanto da economia de modo geral.

Dentro do campo da construção civil, Sabbatini (1989) menciona, em sua tese de doutorado:

“Incrementar a produtividade operacional e evoluir tecnologicamente no setor da construção de edifícios são ações intrinsecamente dependentes do desenvolvimento dos meios de produção, o que vale dizer, da criação de novos métodos, processos e sistemas construtivos e do aperfeiçoamento dos já existentes. (...) Os objetivos claros e irrefutáveis da atividade de desenvolvimento dos modos de construir são os de incrementar a produtividade, otimizar o uso de recursos e elevar o nível de produção da construção civil.” (SABBATINI, 1989)

Assim, fica clara a importância da produtividade como indutora do processo de inovação tecnológica na construção civil.

Especificamente em relação a este trabalho, a obtenção de maiores conhecimentos relativos aos fatores que influenciam a produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios, bem como a quantificação desta produtividade, fornece subsídios à discussão sobre o uso de estruturas em aço para empreendimentos de edifícios de múltiplos pavimentos.

Em se tratando de uma tecnologia ainda pouco utilizada no país, os resultados da pesquisa oferecem elementos comparativos em relação a outras tipologias estruturais mais convencionais, isto é, dão maiores condições para que as empresas de construção passem a inovar na seleção do partido estrutural de seus empreendimentos. Ainda, a compreensão da produtividade no serviço de montagem pode guiar o desenvolvimento de inovações para o método construtivo em estudo.

Por fim, trata-se de um estudo de interesse das empresas atuantes no mercado de construção, pois fornece subsídios a suas atividades de planejamento e desenvolvimento de empreendimentos.

Assim, justifica-se o tema deste trabalho dentro do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil da EPUSP.

1.6. Metodologia

Este é um trabalho científico na forma de uma dissertação. Resultou de uma pesquisa que por meio da aplicação de métodos científicos visou à ampliação do conhecimento científico relativo ao campo no qual se insere, isto é, a gestão da produção na construção civil. Segundo Marconi e Lakatos (2003), têm-se as seguintes definições para os conceitos que constituem este trabalho:

- Dissertação é um tratado escrito, original, de assunto específico, com metodologia própria que resulte de pesquisa pura ou aplicada. Em geral apresentada ao final de um curso de pós-graduação visando à obtenção do título de mestre, a dissertação requer defesa, mas tem caráter didático, pois se constitui em uma iniciação a investigação.

- Pesquisa pode ser definida como um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais.
- Método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros -, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões. Um método científico é aquele cujo objetivo é o conhecimento científico.
- Conhecimento científico é um tipo de conhecimento (em oposição a outros tipos, como o conhecimento popular, filosófico e religioso) caracterizado por ser factual (pois lida com fatos), contingente (pois suas preposições ou hipóteses têm sua veracidade ou falsidade conhecida através da experiência), sistemático (trata-se de um saber ordenado logicamente), verificável, falível (não é definitivo) e aproximadamente exato (novas preposições e o desenvolvimento de técnicas podem reformular o acervo de teoria existente).

A metodologia deste trabalho será desenvolvida nos próximos itens por meio da caracterização da pesquisa com base em critérios que a vejam sobre diferentes óticas, pela explicação das técnicas de coleta de dados utilizadas, pela explicitação e caracterização do método de pesquisa adotado – estudo de caso –, bem como pela esquematização das etapas específicas que constituem esta pesquisa e suas técnicas de coleta de dados.

1.6.1. Caracterização da pesquisa

Diversos autores apresentam diferentes critérios e classificações passíveis de serem aplicados na caracterização de uma pesquisa científica. O Quadro 1 busca resumir as principais características desta pesquisa, com base em critérios diversos, tomando como referência os trabalhos de Paliari (2008) e Marconi e Lakatos (2003).

Quadro 1. Características da pesquisa (elaboração do autor com base em PALIARI, 2008 e MARCONI e LAKATOS, 2003).

Critérios		Atributo relacionado a esta pesquisa
Nome	Descrição	
Método científico amplo	Abordagem abstrata quanto a forma de se atingir os objetivos da pesquisa (método indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo, dialético)	Método indutivo
Natureza	Quanto à aplicabilidade imediata dos resultados (pesquisa básica ou aplicada)	Pesquisa Aplicada
Forma de abordagem do problema	Se as opiniões e informações obtidas são traduzidas ou não em números para classificá-las e analisá-las (qualitativa e quantitativa, respectivamente)	Pesquisa Quantitativa
Sob o ponto de vista dos objetivos a serem alcançados	Se a pesquisa tem um caráter: <ul style="list-style-type: none"> • Exploratório: proporcionar ao pesquisador maior familiaridade com o problema de pesquisa; • Descritiva: descrição das características de determinada população ou fenômeno e, em alguns casos, estabelecer relações entre variáveis; • Explicativa: tem como foco central a identificação de relações causa-efeito entre fenômenos valendo-se, para isto, quase que exclusivamente de métodos experimentais de investigação. 	Pesquisa Descritiva
Segundo as fontes de informação (técnicas de coleta)	Fonte de informação para a pesquisa: <ul style="list-style-type: none"> • Documentação direta: pesquisa bibliográfica e documental; • Documentação indireta: pesquisa de campo ou de laboratório; • Observação direta intensiva: observação ou entrevista; • Observação direta extensiva: questionário ou formulário; 	Pesquisa de Campo Pesquisa Bibliográfica Pesquisa Documental Entrevistas
Método de pesquisa (sob o ponto de vista dos procedimentos técnicos a serem adotados na condução da pesquisa)	De acordo com este critério, pode-se ter Pesquisa Bibliográfica, Pesquisa Documental, Pesquisa Participante, Levantamento (Survey), Estudo de Caso, Pesquisa Ação, Constructive Research, Pesquisa Experimental, entre outros.	Estudo de Caso

Assim, trata-se de um trabalho que segue um método científico indutivo, uma vez que se parte de dados particulares, suficientemente constatados, para inferir uma verdade geral não contida nas partes examinadas. De fato, a pesquisa analisa a produção de estruturas de aço de algumas obras, que constituem os estudos de casos, e com base nelas busca tirar conclusões mais gerais a respeito da produtividade deste serviço.

A pesquisa tem natureza aplicada, com possível aplicação imediata dos resultados. Esta forma de pesquisa parece ao autor adequada a uma pesquisa de engenharia e associada a um mestrado profissional. No caso, os dados, modelos e conclusões referentes à produtividade de estruturas de aço que resultam desta pesquisa oferecem um recurso imediato para a gestão da produção destas estruturas.

A pesquisa é quantitativa, pois suas análises baseiam-se em tratamento estatístico de dados numéricos coletados nas obras que constituem os estudos de caso. A pesquisa é descritiva, na medida em que busca estabelecer relações entre a

produtividade na montagem de estruturas de aço e fatores que potencialmente a influenciam.

Com relação à técnica de coleta de dados, utilizou-se uma mistura de pesquisa de campo, pesquisa documental, pesquisa bibliográfica e entrevistas.

A pesquisa de campo consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que se presumem relevantes para analisá-los (MARCONI e LAKATOS, 2003). De fato, utilizou-se a coleta de dados diretamente em obras de edifícios em fase de execução da montagem da estrutura de aço como fontes para o estabelecimento da produtividade e análises de fatores que a influenciam.

A pesquisa documental trata da obtenção de dados oriundos de fontes primárias (MARCONI e LAKATOS, 2003). Esta pesquisa utilizou-se de registros de obras já concluídas e em execução para obtenção de dados de produtividade. Dentre os documentos analisados podem-se mencionar os projetos de estrutura dos edifícios, diários de obra, controles de montagem e registros do ritmo de produção elaborados pelas próprias equipes das obras.

A pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo (MARCONI e LAKATOS, 2003). No caso deste trabalho, o uso de pesquisa bibliográfica foi utilizado tanto para a construção do embasamento teórico do trabalho como também para a obtenção de dados de produtividade na execução da montagem de estruturas de aço oriundos de outras pesquisas e manuais de orçamentação nacionais e internacionais, que enriqueceram as análises objeto desta pesquisa. Para o embasamento teórico, as referências utilizadas consistem, basicamente, de livros, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos de eventos nacionais e internacionais, artigos de revistas nacionais e internacionais, normas técnicas e catálogos de empresas. Pode-se separar o conjunto de referências bibliográficas utilizadas em cinco ênfases, de acordo com o tema ao qual se referem:

- Gestão da Produção e Produtividade;
- Produtividade na Construção Civil;

- Estruturas de Aço;
- Metodologia Científica e Análise Estatística;
- Dados e Análises Setoriais da Indústria da Construção Civil;

Também foi utilizada, de forma complementar, a técnica de entrevistas semi-estruturadas. Segundo Manzini (20--), a entrevista semi-estruturada foca em um assunto sobre o qual se elabora um roteiro com perguntas principais, complementadas por outras questões inerentes às circunstâncias momentâneas à entrevista, de forma que este tipo de entrevista pode fazer emergir informações de forma mais livre e as respostas não estão condicionadas a uma padronização de alternativas. As entrevistas foram utilizadas durante o desenvolvimento do método de coleta e análise de dados, com o objetivo de selecionar fatores potencialmente influenciadores na produtividade da montagem das estruturas de aço.

Por fim, o método de pesquisa utilizado, no que diz respeito aos procedimentos técnicos adotados, é o estudo de caso. O item a seguir busca caracterizar este método de pesquisa, bem como indicar como esquematizar as etapas que constituem este método.

1.6.2. Método da pesquisa: estudo de caso.

Segundo YIN (2001), um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno dentro do seu contexto real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Assim, recomenda-se usar este método quando deliberadamente se quer lidar com condições contextuais, acreditando que elas podem ser altamente pertinentes ao seu fenômeno de estudo.

Segundo o autor, a investigação de estudo de caso enfrenta uma situação tecnicamente única em que haverá muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados e, como resultado, baseia-se em várias fontes de evidência e beneficia-se do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta e análise de dados.

Nesse sentido, o estudo de caso, como estratégia de pesquisa, compreende um método que abrange tudo – da lógica de planejamento incorporando abordagens específicas até a coleta e análise de dados. Ou seja, o estudo de caso, como outras estratégias de pesquisa, representa uma forma de se investigar um tópico empírico seguindo-se um conjunto de procedimentos pré-especificados.

Uma preocupação muito comum em relação aos estudos de caso é que eles fornecem pouca base para que se faça uma generalização científica, questionando-se como se pode generalizar a partir de um ou mesmo de alguns casos. YIN (2001) responde a essa questão dizendo que estudos de caso, da mesma forma que experimentos, são generalizáveis a preposições teóricas, e não a populações ou universos. Nesse sentido, o estudo de caso, como o experimento, não representa uma amostragem, e o objetivo do pesquisador é expandir e generalizar teorias (generalização analítica) e não enumerar frequências (generalização estatística).

Pesquisas desenvolvidas com método de estudo de caso podem se basear em casos únicos ou múltiplos. Dentro do(s) caso(s) pode ainda haver uma ou mais unidades de análise.

O estudo de caso único é em geral utilizado em situações nas quais ele representa um caso decisivo ao testar uma teoria bem formulada, quando o caso representa um caso raro ou extremo, quando se trata de um caso revelador, ou como introdução a um estudo mais apurado, como o uso de estudos de caso como mecanismos exploratórios ou a condução de um caso-piloto que é o primeiro de um estudo de casos múltiplos.

Estudos de casos múltiplos, por sua vez, são utilizados em casos que não se enquadram nos exemplos anteriores, pois permitem gerar resultados mais convincentes e tornar o estudo global mais robusto. É interessante notar que casos múltiplos devem seguir uma lógica de replicação, e não de amostragem. Ou seja, a validade do estudo se deve a semelhança nos resultados obtidos nos diferentes casos, isto é, na ocorrência de replicação, e não pela representatividade de uma amostra com relação a uma população. De acordo com YIN (2010), a replicação pode ser literal, na medida em que os casos gerem resultados semelhantes, ou

teórica, se os casos gerarem resultados contrastantes mas apenas por razões identificáveis.

Uma questão importante diz respeito ao número de casos supostos necessários e suficientes para um estudo de casos múltiplos. Conforme já explicado anteriormente, uma vez que não se segue a lógica de amostragem, não se deve buscar justificar o número de casos estudados por meio de critérios típicos que estabeleçam uma relação entre tamanho da amostra e relevância da mesma em termos de representatividade da população estudada. De qualquer forma, o número de casos estudados, bem como qual o nível de significância pretendido, não deixa de ser uma escolha discricionária e judiciosa, que dependerá da necessidade percebida pelo autor da pesquisa com base nos resultados que deseja obter.

Em termos de unidades de análise, um estudo de caso pode envolver uma única unidade – sendo denominado holístico – ou mais de uma unidade – sendo denominado incorporado. A unidade de análise representa subunidades do caso que se deseje analisar separadamente.

Com base no exposto, entende-se que o método de estudo de caso represente uma escolha adequada para o desenvolvimento deste estudo, uma vez que a condição contextual das obras tem grande influencia sobre a montagem das estruturas de aço dos edifícios e o número de fatores que afetam a produtividade deste serviço é de fato bastante extenso, não sendo possível esgotá-los e isolá-los em sua totalidade.

Para a presente pesquisa, foi desenvolvido um estudo de casos múltiplos. A replicação dos resultados será teórica, na medida em que o objetivo do estudo é identificar e quantificar fatores que fazem a produtividade variar, isto é, não se espera que os resultados de produtividade obtidos em cada obra sejam idênticos, e sim que difiram entre si devido a ação de fatores identificáveis.

Adotou-se o número de seis casos para o desenvolvimento deste trabalho, dentre obras em andamento ou já finalizadas. Tal número, conforme explicado anteriormente, constitui uma escolha discricionária e judiciosa do autor, que julgou

esta quantidade ao mesmo tempo exequível e relevante em termos dos resultados desejados para o estudo.

Conforme explicitado pelo tema do estudo, a pesquisa trabalha com duas unidades de análise: a produtividade da mão de obra e a produtividade dos equipamentos na montagem de estruturas de aço dos edifícios que constituem os casos.

A Figura 2 mostra um esquema representando as etapas que serão desenvolvidas para o estudo de casos deste trabalho de pesquisa. O item B, que constitui a etapa de desenvolvimento do método de coleta, processamento e análise de dados, devido a sua especial relevância para o estudo pretendido, possuem um capítulo único desta dissertação reservado para seu desenvolvimento (Capítulo 4).

Figura 2. Esquematização das etapas constituintes do método de pesquisa (elaboração do próprio autor).

1.7. Estrutura da dissertação

O desenvolvimento desta dissertação se dá ao longo de sete capítulos e três apêndices:

- **Capítulo 1 – Introdução**
Contextualização do tema do trabalho; delimitação de tema, problema e hipótese; justificativas para o tema escolhido; inserção da dissertação dentro do programa de mestrado; metodologia e estrutura do trabalho.
- **Capítulo 2 – Produtividade – Aspectos Conceituais**
Revisão bibliográfica apresentando os principais conceitos relacionados ao estudo da produtividade de operações produtivas em nível de canteiro de obras de construção civil.
- **Capítulo 3 – Aspectos Tecnológicos e Construtivos das Estruturas de Aço para Edifícios**
Revisão bibliográfica apresentando os principais conceitos relativos à construção e tecnologia das estruturas de aço para edifícios.
- **Capítulo 4 – Desenvolvimento do Método de Coleta, Processamento e Análise de Dados**
Caracterização dos indicadores de produtividade e seleção de fatores potencialmente influenciadores da produtividade a serem considerados nesse estudo. Desenvolvimento detalhado do método de coleta, processamento e análise de dados da pesquisa.
- **Capítulo 5 – Coleta e Processamento de Dados**
Caracterização dos estudos de caso. Apresentação dos dados coletados nos estudos de caso e processamento dos mesmos na forma de indicadores. Apresentação e processamento dos dados coletados em fontes bibliográficas.
- **Capítulo 6 – Análise de Dados**

Análise dos dados coletados por meio dos estudos de caso e de pesquisa bibliográfica.

- **Capítulo 7 – Considerações Finais**

Análise quanto ao atendimento dos objetivos do trabalho. Análise quanto à validade do método de pesquisa adotado.

- **APÊNDICE A – Aspectos Complementares das Estruturas de Aço para Edifícios**

Apresenta conceitos complementares ao entendimento da construção de estruturas de aço para edifícios.

- **APÊNDICE B – Entrevistas semiestruturadas**

Apresenta o roteiro seguido nas entrevistas para levantamento de fatores potencialmente influenciadores da produtividade do serviço em estudo e os resultados obtidos.

- **APÊNDICE C – Planilhas de Coleta e Processamento de Dados**

Apresenta as planilhas com dados brutos obtidos na etapa de coleta e processamento de dados dos Estudos de Caso.

O Quadro 2 mostra a relação entre os capítulos da dissertação, a(s) etapa(s) da pesquisa definidas na Figura 2 e a respectiva técnica de coleta de dados utilizada.

Quadro 2. Estrutura da dissertação e etapa e técnica de pesquisa correlata (elaboração do próprio autor).

CAPÍTULO	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	ETAPA DA PESQUISA	TÉCNICA DE COLETA DE DADOS
	TÍTULO		
1	Introdução	*	Pesquisa Bibliográfica
2	Produtividade - Aspectos Conceituais	A	Pesquisa Bibliográfica
3	Aspectos Tecnológicos e Construtivos das Estruturas de Aço para Edifícios	A	Pesquisa Bibliográfica
4	Desenvolvimento do Método de Coleta, Processamento e Análise de Dados	B	Pesquisa Bibliográfica e Entrevista
5	Coleta e Processamento de Dados	C e D	Pesquisa de Campo, Pesquisa Documental e Pesquisa Bibliográfica
6	Análise de Dados	E	*
7	Considerações Finais	*	*
A	Apêndice A - Aspectos Complementares das Estruturas de Aço para Edifícios	A	Pesquisa Bibliográfica e Documental
B	Apêndice B - Entrevistas semiestruturadas	B	Entevisa
C	Apêndice C - Planilhas de Coleta e Processamento de Dados	C e D	Pesquisa de Campo, Pesquisa Documental e Pesquisa Bibliográfica

2. PRODUTIVIDADE – ASPECTOS CONCEITUAIS

Esse capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os conceitos ligados ao tema da produtividade. Dentre os aspectos tratados, destacam-se: a introdução ao campo de conhecimento da gestão da produção e, em especial, da gestão da produção na construção civil; a definição de produtividade como ligada ao conceito de processo e sua diferenciação em relação a conceitos correlacionados; a constituição de indicadores de produtividade de processos produtivos em canteiro de obras de construção civil, bem como uma discussão acerca da variação da mesma; a apresentação de métodos utilizados para estudos de produtividade na construção; a relação entre produtividade e competitividade. Deve-se notar que não se tem por objetivo esgotar esses assuntos, que são bastante amplos, e sim embasar e estabelecer um padrão de linguagem e conceitos para o desenvolvimento da pesquisa e das análises que serão apresentados ao longo do trabalho.

2.1. Gestão da produção e a abordagem de processos

Segundo Slack et al. (2009), gestão da produção⁷ é “a atividade de gerenciar recursos destinados à produção e disponibilidade de bens e serviços”. Como área do conhecimento, a gestão da produção começou a se organizar no início do século XIX, eminentemente ligada ao setor de manufatura, e desde então passou por diversas evoluções. A área encontra-se hoje bastante bem estruturada, e envolve temas diversos como: estratégias de produção; projeto de produtos e serviços; projeto, seleção e gestão de processos; projeto e medidas do trabalho; gestão da capacidade produtiva; gestão de serviços; localização e arranjo físico de instalações; gestão da qualidade e confiabilidade; projeto e gestão de redes de suprimentos; previsões; planejamento, programação e controle da produção; gestão de estoques; gestão de projetos (CORRÊA, 2003).

⁷ Na bibliografia, “gestão da produção” é também denominada “administração da produção” ou “gestão de operações”. Em inglês, encontram-se os termos “*production management*” ou “*operations management*”. A “engenharia de produção” pode ser considerada uma área correlata, sendo uma técnica que incorpora conhecimentos científicos para solução de problemas práticos da administração da produção, em especial através do uso de métodos quantitativos (CONTADOR, 2010).

A função produção é a parte de uma organização que é responsável por produzir bens e serviços e, portanto, pela gestão da produção⁸. O gestor da produção, em qualquer indústria que se encontre, é por natureza um administrador, isto é, alguém que deve coordenar esforços individuais para atingir os objetivos da produção. Na prática, isso significa o planejamento, organização/ direção/ supervisão da execução e controle dos *processos*⁹ de produção (CONTADOR, 2010).

Assim, o conceito de processo é fundamental na gestão da produção, uma vez que a produção de qualquer tipo de produto ou serviço pode ser enxergada como a transformação de entradas (inputs) em saídas (outputs), conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Conceito de processo (elaboração do próprio autor).

É importante notar que um determinado processo de produção pode necessitar de diferentes tipos de entradas e resultar em diferentes saídas. As entradas de um processo de produção são denominadas *recursos produtivos*, e podem ser classificadas em recursos transformados – que sofrem algum tipo de tratamento, transformação ou conversão (como materiais, ideias, consumidores, energia, etc.) – ou recursos de transformação – que agem sobre os recursos transformados (como mão de obra, instalações, equipamentos, etc.) (SLACK et al., 2009). No caso das saídas, além do produto principal, objetivo do processo de produção, pode haver perdas, produtos não conformes e, eventualmente, “resultados secundários”, muitas vezes indesejados, como, por exemplo, a emissão de poluentes ou a ocorrência de acidentes de trabalho. Além disso, tanto entradas como saídas podem ser físicas ou

⁸ Segundo Slack et al. (2009), as organizações são compostas por diferentes funções, das quais três são consideradas centrais – função produção, função marketing/ vendas e função desenvolvimento de produtos – e as demais são consideradas funções de apoio - por exemplo, função de recursos humanos, função de contabilidade e finanças, função técnica e função de sistemas de informação.

⁹ Processo é entendido como uma sequencia organizada de operações que transformam entradas em saídas, podendo ter objetivos diversos: criar, inventar, projetar, produzir, controlar, manter e usar produtos ou sistemas.

intangíveis¹⁰, e podem muitas vezes ser consideradas em termos de unidades de capital. A Figura 4 indica a representação de um processo de produção genérico, com suas entradas e saídas.

Figura 4. Representação esquemática de um processo de produção genérico (elaboração do próprio autor).

Nota-se ainda que a abordagem de processo pode ser observada segundo diferentes níveis de abrangência. Assim, apesar desse trabalho focar nos processos produtivos no nível da função produção (em especial os processos produtivos que ocorrem em um canteiro de obras de construção civil), é possível aplicar o mesmo conceito de transformação de entradas em saídas para se explicar e analisar um empreendimento, uma empresa, uma cadeia de suprimentos, e até mesmo uma cadeia produtiva ou setor industrial.

No nível da função produção de uma organização, os diversos tipos de processos produtivos existentes podem ser agrupados e classificados, especialmente em termos do volume e variedade de seus produtos, conforme mostrado no Quadro 3.

Assim, como se pode observar, os processos produtivos na indústria da construção civil costumam ser processos “por projeto”, com características bem distintas dos processos de produção em massa típicos da indústria de manufatura. Conforme comentado anteriormente, a área da gestão da produção surgiu e desenvolveu-se

¹⁰ Como exemplo de entradas intangíveis, pode-se ter, por exemplo, informações, conhecimentos ou ideias. Já como exemplo de saídas intangíveis, pode-se ter, por exemplo, a melhoria do bem-estar da sociedade ou a deterioração da saúde dos trabalhadores resultante de um determinado processo de produção.

sempre muito ligada a manufatura. Assim, deve-se atentar para possíveis particularidades e cuidados na aplicação dos conceitos de gestão da produção para análise dos processos produtivos da construção civil.

Quadro 3. Classificação de processos produtivos (elaboração do autor com base em SLACK et al., 2009).

Tipo de processo	Descrição	Exemplos	Variedade	Volume	Tarefas	Fluxo
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos discricionários e bastante customizados - Longo período de tempo para produção - Longo intervalo de tempo entre conclusão de um produto e o seguinte - Atividades envolvidas na produção podem ser mal definidas e incertas, e até mudar ao longo do processo - Dedicção relativamente exclusiva de recursos para um único produto 	Construção civil, construção naval, produção de um filme	Alta	Baixo	Diversas/ Complexas	Intermitente
Jobbing	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos discricionários e customizados - Recursos produtivos não são exclusivos, processando uma série de produtos - Produtos em geral com tamanho menor do que os de processos de projeto - Processos com menos imprevisibilidades que em processos de projeto 	Projetos (design) de engenharia, alfaiares por encomenda, restauração de móveis
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos customizados, mas que são produzidas mais do que uma única unidade - Partes da operação se repetem enquanto lotes estão sendo fabricados - Previsibilidade das atividades executadas em cada estágio 	Manufatura de máquinas-ferramenta				
Massa	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos em alto volume e baixa variedade - Variantes do produto não afetam processo de produção - Atividades repetitivas e amplamente previsíveis 	Fábrica de automóveis e de eletrodomésticos, processamento de alimentos				
Contínuo	<ul style="list-style-type: none"> - Um passo além da produção em massa, com volumes ainda maiores e variedades ainda menores - Operação por períodos de tempo muito longos - Produtos inseparáveis e produzidos em um fluxo ininterrupto 	Refinarias petroquímicas, centrais elétricas, siderúrgicas	Baixa	Alto	Repetidas/ Divididas	Contínuo

Diversos autores da área de gestão da produção na construção civil trataram das características particulares dos processos produtivos da construção e suas diferenças em relação à indústria seriada. Thomas e Sinha (2003) e Meseguer (1991)/ Franco (1992)/ Heineck (1995) apud Carraro (1998) e citam algumas características típicas dos processos produtivos da indústria da construção civil:

- Possui caráter nômade, isto é, a “fábrica” muda de lugar a cada produto concebido.
- Trabalho exposto ao tempo, de forma que condições naturais como temperatura, umidade, chuvas, etc. não podem ser controladas;
- Produção centralizada, com operários móveis em torno de um produto fixo;

- Apenas parte dos potenciais locais de trabalho é ocupada a cada dia, sendo que diferentes equipes podem ocupar um mesmo local de trabalho no mesmo dia. Existe o risco de congestionamento em áreas de trabalho.
- Ambiente com mudanças constantes: de sequenciamento e natureza das atividades, de local de trabalho, de disponibilidade de recursos, de prazos e prioridades, de quantidade e qualificação de operários. A todo tempo surge a necessidade de novas habilidades, materiais, informações e serviços de suporte para a produção.
- Indústria tradicionalista, com resistência a alterações e inovações;
- Utilização intensiva de mão de obra, com baixa motivação e estabilidade, gerando alta rotatividade e prejudicando a qualificação;
- Trabalho em grupo, com contatos interpessoais frequentes;
- Possui produto único e com baixo nível de repetição;
- Atividades altamente integradas e concomitantes.
- Flexibilidade quanto ao controle é grande, pois o grau de precisão com que se trabalha normalmente é baixo, qualquer que seja o parâmetro: orçamento, prazo, precisão dimensional envolvida nas tarefas, etc.
- Grande número de operações e insumos envolvidos, bem como especificações complexas e muitas vezes contraditórias por conta de processos de projeto deficientes;
- Ritmo de trabalho controlado pelo operário e caráter artesanal de muitos trabalhos.
- Maior incerteza no planejamento da produção, devido a ambiente aberto e sujeito a mudanças constantes.
- Materiais entregues diariamente, sendo que muitos são produtos únicos específicos para determinada atividade daquele projeto. Necessidade de cuidadosa coordenação de entregas e de estoque de materiais.
- Equipamentos muitas vezes manuseados por diferentes equipes e que operam expostos às condições ambientais, estando portanto mais sujeitos a quebras.

2.2. O conceito de produtividade

A busca pelo aumento da produtividade nos processos produtivos industriais sempre foi um dos principais motores para o desenvolvimento da área de gestão da produção.

Segundo Tangen (2002), o termo produtividade vem sendo aplicado em diferentes circunstâncias e níveis dentro do sistema econômico e possui um caráter multidimensional, isto é, seu significado pode variar de acordo com o contexto em que é empregado.

Conforme levantado por Tangen (2004), diferentes autores já definiram o termo produtividade segundo óticas diversas, seja por meio de relações matemáticas ou descrições verbais. Uma definição bastante abrangente e difundida, capaz de englobar diferentes visões, é baseada no conceito de processo, segundo o qual produtividade pode ser definida genericamente como *uma relação entre entradas (inputs) e saídas (outputs) de um processo de produção*, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5. Visão genérica do conceito de produtividade (elaboração do próprio autor).

Essa relação entre entradas e saídas pode ser expressa por um quociente¹¹, conforme mostrado na Figura 6. Esse quociente, quando determinado e quantificado, representará um *indicador de produtividade* do processo de produção.

¹¹ Encontra-se na literatura a adoção do quociente inverso, isto é, saídas/ entradas, ao tratar da produtividade. CONTADOR (2010) apresenta a diferença entre se considerar o quociente entrada/ saída – que denomina “esforço produtivo” - ou saída/ entrada – que denomina “produtividade” – apresentando vantagens da primeira forma de abordagem. Neste trabalho não será feita tal distinção e, salvo explicitado contrário, será adotado o conceito de produtividade, tanto do ponto de vista qualitativo quanto nos indicadores quantitativos, como sendo a relação entradas/saídas.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Entradas}}{\text{Saídas}}$$

Figura 6. Produtividade expressa como um quociente entre entradas e saídas (elaboração do próprio autor).

Esta definição ampla é capaz de se adequar a uma série de situações distintas. No entanto, para efeitos práticos na determinação da produtividade de um processo de produção, é interessante analisar a variação que o termo pode assumir dependendo do contexto em que se apresente. Muscat (1987) afirma que a variação na definição da produtividade se deve: 1) da maior ou menor abrangência do processo que está sendo observado; 2) do objeto de análise para o qual se pretende estabelecer a produtividade – isto é, quais as entradas e saídas consideradas; 3) da específica forma de cálculo do indicador de produtividade. Analisa-se a seguir cada um desses aspectos.

- Da maior ou menor abrangência do processo que está sendo observado.

Conforme comentado anteriormente, o conceito de processo pode ser aplicado a diferentes níveis de abrangência. Assim, de um ponto de vista analítico, processos produtivos podem ser progressivamente agregados, formando processos mais amplos e complexos, ou progressivamente decompostos, gerando subprocessos cada vez menores e mais simples. Da mesma forma, pode-se considerar a produtividade dos processos em qualquer um desses níveis¹².

Tome-se como exemplo os processos produtivos da construção civil. No extremo de maior nível de abrangência, pode-se considerar a produtividade de um macro processo como, por exemplo, a “produção da cadeia produtiva da construção civil”. No extremo de menor abrangência, pode-se considerar a produtividade de operações unitárias ou movimentos, como “levantar um bloco”, “parafusar uma

¹² Um dos primeiros trabalhos a trazer essa visão de diferentes níveis de abrangência para consideração da produtividade na construção civil foi o “*Hierarchy Model of Construction Productivity*” de Kellogg et al. (1981). Os autores apresentam uma sistematização de níveis de influência na produtividade da construção, visando o planejamento de ações para melhoria da produtividade do setor. Cinco níveis são considerados: macro/macro (ligado à formação de políticas governamentais), macro (ligado à gestão de programas definidos pelas políticas), macro/micro (ligado ao planejamento e projeto do empreendimento), micro (ligada à gestão do projeto) e micro/micro (ligado à execução em canteiro de obras).

chapa”, etc. Dentre esses extremos, diversos processos com maior ou menor nível de abrangência podem ter sua produtividade considerada.

- Do objeto de análise para o qual se pretende estabelecer a produtividade.

Estando definido o nível de abrangência do sistema que se deseja observar, ainda pode haver variação na definição da produtividade com relação ao objeto de análise, isto é, variação dos tipos de entradas e saídas consideradas.

Conforme mostrado anteriormente, existe uma grande pluralidade de entradas e saídas em um processo produtivo, que podem ser físicas, de capital ou mesmo intangíveis, o que impõe um desafio na definição exata de quais entradas e saídas devem ser consideradas.

A resposta para essa questão vai depender do objetivo que se pretende pela análise da produtividade. Assim, se o objetivo da análise necessitar da caracterização do processo de forma mais abrangente, pode ser interessante o uso do maior número possível de entradas e saídas. Já se o objetivo for analisar um determinado aspecto do processo produtivo, talvez se possa optar por medir a produtividade considerando recursos e saídas isolados. Diversos autores (SUMANTH, 1984; MUSCAT, 1987; TANGEN, 2004) fazem uma divisão dos indicadores de produtividade em indicadores parciais e indicadores totais, na medida em que estes incorporem mais ou menos entradas e saídas de um processo.

Em relação a indicadores totais, Tangen (2004) alerta que a variedade de possíveis entradas e saídas pode gerar um problema de comensurabilidade, uma vez que cada variável pode não ser mensurada com a mesma unidade de medida. Por conta disso, em alguns casos, pode ser interessante reduzir elementos físicos a unidades de capital de um período de referência, de forma a poder considerar dentro de um mesmo indicador, a influência de diferentes entradas e saídas físicas de um processo produtivo. Isso é possível uma vez que os recursos físicos de entrada costumam representar um custo financeiro, enquanto os produtos de saída costumam representar uma receita financeira.

Em se tratando dos processos no nível do canteiro de obras de construção civil, Souza (2006) indica que é usual a determinação da produtividade tanto em termos de recursos físicos quanto financeiros, dependendo do objetivo pretendido. A produtividade de recursos físicos costuma ser tratada em termos dos três principais recursos utilizados nos processos de produção na construção: *mão de obra*, *materiais* e *equipamentos*. A produtividade de recursos financeiros em geral considera o custo ligado a esses três insumos. Como saída, em geral considera-se a *quantidade de serviço* fisicamente obtida como produto do processo produtivo. Também é usual relacionar a *área* de edificação produzida como saída do processo. Nada impede, entretanto, que outras entradas e saídas sejam consideradas para fins específicos.

Figura 7. Entradas e saídas usualmente consideradas na determinação da produtividade de processos de produção em canteiros de obra de construção civil (elaboração do próprio autor).

- Da específica forma de cálculo da produtividade;

Definida a abrangência do sistema que se deseja observar e as entradas e saídas que devem ser consideradas, cabe ainda definir a forma específica de cálculo da produtividade, isto é, como essas entradas e saídas devem ser quantificadas para compor um determinado indicador de produtividade.

Este é talvez o aspecto com maiores possibilidades de variação, o que constitui um desafio em termos de uniformidade metodológica para o tratamento do tema. Pode-se dizer que seis perguntas devem ser consideradas e respondidas:

- COMO MEDIR - Qual a unidade de medida do numerador e do denominador do indicador?
- O QUE CONSIDERAR - Definidas as unidades de medida, que valores devem ser considerados para quantificá-las?
- PERÍODO DE TEMPO - Qual será o período de referência para compor o indicador?

- SUBPROCESSOS – Quais subprocessos estão sendo contemplados e de que forma?
- FATORES - Quais fatores estão influenciando o resultado do indicador, seja por conta de escolhas feitas nos itens anteriores, seja por conta de conteúdo, contexto e anormalidades envolvidas com o processo analisado?
- MÉTODO DE ESTUDO DA PRODUTIVIDADE – Como coletar, processar e analisar os dados? Quais dados e métodos estão disponíveis?

A resposta a essas perguntas permite a mensuração e interpretação clara do indicador de produtividade. Nos itens subsequentes desse capítulo, será tratada cada uma dessas questões mais detalhadamente.

Assim, pode-se dizer que a definição da produtividade associada a um processo de produção passa pela determinação do nível de abrangência a ser observado, das entradas e saídas a serem consideradas e da forma específica de cálculo dos indicadores. Estes aspectos, por sua vez, dependerão primordialmente dos objetivos que se pretendem com a análise de produtividade.

2.3. Conceitos correlatos

Não bastasse o grande número de possibilidades na definição da produtividade de um processo de produção, o termo é ainda frequentemente mal interpretado ou utilizado de forma confusa e equivocada, trazendo sérias dificuldades para o tratamento do tema.

Uma confusão comum é considerar o *ritmo de produção* como um indicador de produtividade. O ritmo de produção é dado pela relação entre saídas de um processo e o tempo consumido no mesmo. Por não levar em conta os recursos produtivos envolvidos, o ritmo de produção não reflete a produtividade do processo. Para ilustrar essa questão, imagine-se que uma obra consiga dobrar sua produção diária de alvenaria, mas, para alcançar esse objetivo, tenha de triplicar a quantidade de funcionários envolvidos nesse serviço. Tem-se nesse caso um aumento do ritmo de produção com redução da produtividade da mão de obra! É interessante notar

que o ritmo de produção está diretamente associado aos prazos de execução, enquanto que a produtividade está ligada aos custos. Assim, no exemplo considerado, ao dobrar o ritmo de produção de alvenaria a obra conseguirá finalizar esse serviço mais rápido, mas devido à diminuição da produtividade haverá também um maior custo direto com mão de obra.

Segundo Tange (2004) e Sumanth (1984), dois termos que tendem a ser confundidos com produtividade são “eficiência” e “eficácia”. Conforme levanta o primeiro autor, encontra-se na literatura uma série de definições diferentes para estes dois termos, muitas vezes contraditórias entre si. Apresentam-se a seguir algumas definições:

- Eficiência (*efficiency*): Sink e Tuttle (1989) traz uma definição abrangente, afirmando que eficiência pode ser entendida como “fazer coisas corretamente”. Na mesma linha, Souza (2006) entende eficiência como “fazer rapidamente certas coisas”. No entanto, Sink e Tuttle (1989) e Tange (2004) partem para uma definição mais específica, segundo a qual a eficiência de um processo de produção está ligada ao uso de recursos, isto é, as entradas do processo de produção, podendo ser medida como uma relação entre a menor quantidade de recursos teoricamente necessários para realizar determinada operação de produção e a quantidade de recursos realmente utilizada. Contador (2010) e Sumanth (1984) também trazem definições específicas similares às anteriores, mas opostas no sentido que postulam que a eficiência está ligada não as entradas, mas as saídas do processo de produção. Assim, para esses autores, a eficiência do processo de produção pode ser medida como a relação entre a produção realmente realizada e o que seria uma produção padrão.

Observa-se que as definições acima apresentarem contradições entre si, sendo que alguns autores definem eficiência como uma relação do tipo entrada/ entrada padrão e outros como uma relação saída/ saída padrão. Entretanto, em nenhum dos casos pode-se confundi-la com produtividade, que é definida por uma relação do tipo entrada/ saída.

- Eficácia (*effectiveness*): Sink e Tuttle (1989) traz novamente uma definição abrangente, afirmando que eficácia pode ser entendida como “fazer as coisas certas”. Na mesma linha, Souza (2006) entende eficácia como “fazer rapidamente as coisas certas”. Tangen (2004) afirma que a eficácia está ligada a criação de valor para o consumidor, podendo assim ser entendida como a capacidade do processo em atingir os objetivos desejados. Sumanth (1984) segue a mesma linha, e afirma que a eficácia representa o grau de cumprimento dos objetivos de um determinado processo. Esse conceito é em geral visto como difícil de quantificar.

Assim, a eficácia de um processo pode ser tomada com certa subjetividade, pois envolve questões de difícil mensuração como “a criação de valor para o consumidor” e “atingir objetivos”. Novamente, não há margem para confusão com o conceito de produtividade.

Outra definição importante de ser feita é com relação ao conceito de *perda*. Com base em SOUZA (2005), pode-se definir perda como sendo *toda quantidade de recurso consumido além de uma quantidade de referência*. Assim, a conceituação exata de perda passa pela definição de um *padrão de referência*, isto é, uma quantidade de recurso que represente uma perda zero em um processo de produção. A Figura 8 ilustra esse conceito.

$$\text{PERDA (\%)} = \frac{Q_{\text{REAL}} - Q_{\text{REF}}}{Q_{\text{REF}}} \times 100$$

Q_{REAL} = Quantidade real de recurso consumida no processo
 Q_{REF} = Quantidade de referência para produção de $Q_{\text{saída}}$

Figura 8. Definição de perda (elaboração do próprio autor).

A definição do padrão de referência a ser utilizado para o cálculo da perda é uma questão bastante complicada. Especificamente para a construção civil, Souza (2005) apresenta algumas possibilidades para o estabelecimento de uma referência para perda de material (mas cujo raciocínio pode ser aplicado a outros recursos):

- Números médios do setor: interessante do ponto de vista que serviriam de balizador para que uma determinada empresa comparasse a eficiência de seus processos com os de seus concorrentes. No entanto, esses dados

muitas vezes não existem ou não são confiáveis, além do fato de que podem não refletir boas práticas do ponto de vista técnico.

- Números mínimos do setor: também interessante pois permite a comparação com o líder de mercado. No entanto, enfrenta os mesmos problemas citados anteriormente.
- Normas técnicas: as normas costumam prescrever limites máximos e mínimos de consumo de recursos que assegurem qualidade e desempenho aos produtos gerados. É uma referência interessante do ponto de vista técnico, mas possui a desvantagem de que os mínimos possam eventualmente constituir valores excessivamente rigorosos ou mesmo de que a opção pelo uso de quantidades maiores do que um mínimo normatizado tenha sido intencionalmente especificada no projeto do produto visando uma melhoria de desempenho.
- Metas de empresas: interessante do ponto de vista de gestão, pois estabelece um objetivo próprio da empresa com base na realidade de seus processos, e que pode variar de acordo com as percepções de sua gerência. Entretanto, corre-se o risco da definição ser feita além ou aquém de valores razoáveis. Além disso, dificulta-se a comparação entre empresas, pois as metas acabam sendo particulares de cada uma. Também se deve considerar que as metas podem variar de um momento para outro, dificultando a comparação de perdas medidas em momentos distintos.
- Indicadores de orçamentos: apresenta o mesmo problema das metas de empresa, uma vez que os valores podem ser questionáveis quanto a terem nascido de um bom ou mau orçamento ou terem resultado de um bom ou mau desempenho. Além disso, é usual orçamentos já considerarem “perdas esperadas”, o que dificulta ainda mais o entendimento do real significado da perda.
- Projeto do produto: define como referência de perda zero a quantidade de recurso teoricamente necessária com base no projeto do produto. É interessante pois delimita a discussão das perdas ao âmbito do processo de produção em fábrica/ canteiro de obras, excluindo eventuais perdas na etapa de concepção. No entanto, trazendo para a realidade da construção civil, é

uma referência que cabe bem para o recurso material, por exemplo, mas não tão bem para mão de obra e equipamentos.

Uma questão importante de ser observada é que, apesar do indicador de perda ser adimensional, em seu cálculo está embutida alguma unidade de medida das grandezas consideradas. Isso é particularmente importante quando se juntam mais de um tipo de recurso no mesmo indicador. Para exemplificar, uma perda de 15% de material em uma obra pode representar uma situação em se tratando de volume de material, outra em se tratando de massa de material e ainda outra em se tratando de valor financeiro de material. A correta interpretação do indicador exige essa definição precisa.

Segundo Souza (2005), o conceito de perda possui uma vantagem em relação ao de produtividade, pois ao fixar uma referência de perda nula, determina-se uma meta cuja definição, por si só, representa uma discussão rica no sentido de discutir até onde a eficiência de um processo pode chegar, ou seja, fixa objetivos a serem buscados. Já a produtividade, por ser calculada sem tal referência, torna desvios menos gritantes ao gestor.

No entanto, o conceito de produtividade também apresenta certas vantagens. Primeiramente, deve-se observar que o conceito de perda não explicita a qualidade do referencial adotado. Assim, perdas reduzidas podem dar a impressão de que o processo apresenta um baixo consumo de recurso, o que não necessariamente é verdade – tudo depende do referencial. Já a produtividade, por definição, representa diretamente o consumo real de recurso utilizado num processo em relação à quantidade de produto. A Figura 9 ilustra essa questão, decompondo a produtividade em dois fatores: um que representa a eficiência do processo (e, portanto, a perda) e outro que representa o próprio referencial adotado em relação à quantidade de produto produzido. Nota-se ainda que esse segundo fator não é “enxergado” pela perda, que o adota como referencial. Ou seja, uma perda pequena em relação a uma referência ruim, pode esconder um consumo excessivo de recurso. Outra questão vantajosa com relação ao conceito de produtividade é o fato de que, na prática, a definição de um padrão de referência de consenso pode ser bastante complicada de se obter em alguns casos.

$$\text{PRODUTIVIDADE} = \frac{Q_{\text{REAL}}}{Q_{\text{SAÍDA}}} = \frac{Q_{\text{REAL}}}{Q_{\text{REF}}} \times \frac{Q_{\text{REF}}}{Q_{\text{SAÍDA}}}$$

$\frac{Q_{\text{REAL}}}{Q_{\text{REF}}}$
 EFICIÊNCIA
 NA EXECUÇÃO
 (PERDAS)

 $\frac{Q_{\text{REF}}}{Q_{\text{SAÍDA}}}$
 REFERENCIAL

Q_{REAL} = Quantidade real de recurso consumida no processo
 Q_{REF} = Quantidade de referência para produção de $Q_{\text{saída}}$
 $Q_{\text{SAÍDA}}$ = Quantidade de produto produzido no processo

Figura 9. Decomposição da produtividade em um fator ligado a eficiência do processo e um fator ligado ao referencial considerado (elaborado pelo próprio autor).

Na construção civil, o conceito de produtividade vem sendo habitualmente utilizado quando ligado ao recurso mão de obra, enquanto que o conceito de perda costuma ser escolhido para tratar do recurso materiais. Segundo Souza (2005) a utilização de ambos os conceitos pode ser feita indistintamente para qualquer tipo de recurso produtivo, observando-se as vantagens e desvantagens na adoção de cada um deles.

Ainda, segundo o autor, as perdas na construção civil podem ser vistas sobre diferentes óticas: quanto aos tipos de recursos consumidos – físicos ou financeiros (em decorrência da perda dos físicos ou perdas estritamente financeiras, isto é, pagou-se mais caro do que o necessário ou com fluxo de pagamento desfavorável); quanto à unidade para sua medição; quanto à fase do empreendimento na qual ocorrem – concepção, produção, utilização; quanto ao momento de incidência na produção – recebimento, estocagem, processamento intermediário, processamento final ou transporte; quanto a sua natureza (por exemplo, para os materiais, pode-se ter perda por furto, incorporada ou por entulho); quanto a sua forma de manifestação, causa e origem; e quanto ao seu controle – evitável (desperdício) ou inevitável.

Assim, nota-se que todos esses conceitos, apesar de correlatos, possuem diferenças significativas entre si. Entretanto, todos podem ser vistos como medidas de performance do processo produtivo (*Key Performance Indicators*), e podem ser utilizados como subsídio a tomada de decisão dos gestores de produção.

2.4. Utilidades do estudo da produtividade em canteiro de obra

Segundo Souza (2006), o estudo da produtividade dos processos de produção em canteiro de obra possui como principal objetivo a criação de um sistema de informações que subsidiem o processo de tomada de decisões do gestor da produção. Nessa linha, duas utilidades se destacam em relação ao estudo da produtividade:

- Diagnóstico, Explicação e Controle – diz respeito à medição de indicadores de produtividade de serviços em execução, incluindo os fatores que causam sua variação, bem como ferramentas de intervenção para o controle da produtividade durante a execução dos serviços.
- Prognóstico e Programação – diz respeito à previsão de indicadores de produtividade que serão desenvolvidos em serviços a serem realizados futuramente, bem como ferramentas de planejamento tomando como base esses indicadores.

2.5. Indicadores de produtividade de processos produtivos em canteiro de obras de construção civil

Conforme mencionado anteriormente, indicadores de produtividade resultam da quantificação do quociente entrada/ saída representativo da produtividade de um processo, apresentando diversas possibilidades para sua determinação. De forma a sistematizar a determinação de um indicador de produtividade propôs-se, no item 2.2. O conceito de produtividade, a busca pela resposta a seis perguntas, referentes à: como medir, o que considerar, qual período de tempo tomar como referência, quais subprocessos contemplar, quais são os fatores que influenciam sua variação e como coletar, processar e analisar os dados. Nas seções subsequentes (itens 2.5.1 a 2.7), analisam-se cada um desses aspectos.

2.5.1. Como medir

A questão de como medir um indicador de produtividade está ligada a determinação da grandeza a ser considerada como entrada e saída do processo. Conforme

mostrado na Figura 7, em se tratando dos processos produtivos no nível de canteiro de obras de construção civil, em geral são considerados como entradas os três principais recursos físicos consumidos – mão de obra, materiais e equipamentos – ou recursos financeiros. Como saída, em geral se considera a quantidade de serviço produzida ou a área da edificação na qual o serviço foi realizado. Essas entradas e saídas costumam ser combinadas nos seguintes indicadores:

- Indicadores de produtividade física com base em quantidade de serviço: relacionam os recursos físicos à quantidade de serviço por eles produzida. Para produtividade da mão de obra, utiliza-se o indicador *Razão Unitária de Produção* – RUP – medida em homens-hora por quantidade de serviço (em massa, volume ou unidades) (SOUZA, 2006). Para a produtividade de materiais, utiliza-se o indicador *Consumo Unitário de Material* – CUM – medido em quantidade de material (em massa, volume ou unidade) por quantidade de serviço (SOUZA, 2005). Para a produtividade dos equipamentos, utiliza-se o indicador *Eficiência de Equipamento* - E_FE – medido em horas-equipamento por quantidade de serviço (SINAPI, 2015).
- Indicadores de produtividade física com base em área: relacionam os recursos físicos à área de edificação na qual o serviço foi executado.
- Indicadores de produtividade financeira: em geral denominados indicadores de custo, relacionam o custo em capital de determinado recurso físico à quantidade de serviço produzida ou a área de edificação na qual o serviço foi realizado.

O Quadro 4 apresenta de forma sintética os indicadores de produtividade mencionados acima.

Quadro 4. Principais indicadores de produtividade utilizados para os processos de produção no nível do canteiro de obras da construção civil (elaboração do próprio autor).

ENTRADA		SAÍDA		INDICADORES		
TIPO	UNIDADE	TIPO	UNIDADE	SIGLA	NOME	REL. MATEMÁTICA
INDICADORES DE PRODUTIVIDADE FÍSICA COM BASE EM QS						
MÃO DE OBRA	H.h	QS	kg, m ³ , unidade	RUP	Razão Unitária de Produção	H.h/QS
MATERIAL	kg, m ³ , unidade	QS	kg, m ³ , unidade	CUM	Consumo Unitário de Material	Q _{MAT} / QS
EQUIPAMENTO	h.Eq	QS	kg, m ³ , unidade	E _E	Eficiência de Equipamento	h.Eq/ QS
INDICADORES DE PRODUTIVIDADE FÍSICA COM BASE EM ÁREA						
MÃO DE OBRA	H.h	ÁREA	m ²	MO _{área}	Consumo de mão de obra por área	H.h/ m ²
MATERIAL	kg, m ³ , unidade	ÁREA	m ²	MAT _{área}	Consumo de material por área	Q _{MAT} / m ²
EQUIPAMENTO	h.Eq	ÁREA	m ²	EQ _{área}	Consumo de equipamento por área	h.Eq/ m ²
INDICADORES DE PRODUTIVIDADE FINANCEIRA						
CAPITAL	R\$	QS	kg, m ³ , unidade	CU	Custo Unitário	R\$/ QS
CAPITAL	R\$	ÁREA	m ²	CU _{área}	Custo Unitário por área	R\$/ m ²

Uma questão importante que merece ser destacada é a relação entre indicadores de custo e indicadores de produtividade física. A Figura 10 ilustra essa relação.

$$\text{CUSTO UNITÁRIO DE PRODUTO} = \text{CUSTO UNITÁRIO DO INSUMO} \times \text{PRODUTIVIDADE FÍSICA}$$

$$\frac{R\$}{QS} = \frac{R\$_{MO}}{Q_{MO}} \times \frac{Q_{MO}}{QS} + \frac{R\$_{MAT}}{Q_{MAT}} \times \frac{Q_{MAT}}{QS} + \frac{R\$_{EQU}}{Q_{EQU}} \times \frac{Q_{EQU}}{QS}$$

Figura 10. Relação entre indicadores de custos e de produtividade física de serviços desenvolvidos em canteiro de obras (elaboração do próprio autor com base em Souza, 2006).

2.5.2. O que considerar

Tendo sido definidas as grandezas que vão constituir as entradas e saídas do indicador de produtividade, surge a questão do que deve ser considerado na mensuração dessas grandezas.

Apresentam-se a seguir diversos aspectos que podem ser considerados na constituição de um indicador. Deve-se destacar que a opção por um ou outro aspecto deve levar em conta o objetivo que se pretenda com o indicador, bem como a disponibilidade e exequibilidade na obtenção de dados.

2.5.2.1. Entradas

- Homens-hora

Em relação aos indicadores que utilizem de homens-hora como entrada, faz-se necessário definir qual será a mão de obra contemplada como “homens” e quais horas de trabalho serão consideradas como “hora”.

Em termos da mão de obra, deve-se primeiramente fazer uma distinção entre os a mão de obra de gestão da produção e a mão de obra de produção de fato. Como mão de obra de gestão pode-se distinguir engenheiros, estagiários, mestres, encarregados, funcionários administrativos, almoxarifes, técnicos de segurança, enfermeira, apontador, topógrafos, etc. Já a mão de obra de produção é aquela que efetivamente executa o serviço. Pode ser interessante dividi-la em função dos diferentes níveis hierárquicos, especializações, tipos de serviço que realizam, subprocessos dos quais participam e formas como se organizam. SOUZA (2006) apresenta o Quadro 5, no qual relaciona as diferentes classificações dos trabalhadores envolvidos na execução de uma obra de construção.

Quadro 5. Classificação dos trabalhadores envolvidos na execução de uma obra de construção (SOUZA, 2006 modificado).

Gestão	Produção	
Engenheiros Estagiário Mestres Encarregados Adminsitrativo Almoxarife Técnicos de Segurança Enfermeira Apontador Topógrafo Entre outros...	Nível hierárquico	oficial/ qualificado meio-oficial ajudante/ servente/ não qualificado/ aprendiz
	Especialização	pedreiro carpinteiro montador soldador azulejista entre outros...
	Serviço	estrutura de concreto estrutura metálica alvenaria revestimento cerâmico de piso revestimento interno com argamassa entre outros...
	Etapas	recebimento estocagem processamento intermediário processamento final transporte
	Tarefas	montar formas de vigas nivelar laje por baixo acompanhar concretagem ligação de peças metálicas conferência entre outros...
	Organização	direta apoio
		relação de quantidade em termos de hierarquia (ex. oficial:ajudante), especialidade (ex. montador:soldador), tarefa, etc.

Em termos das horas consideradas, a Figura 11 indica algumas subdivisões que podem ser consideradas, partindo-se das horas totais envolvidas no período de referência ao qual se refere o indicador de produtividade.

Horas totais		
Horas úteis (+ extras)		Horas não úteis (- extras)
Horas disponíveis		Horas indisponíveis
Horas trabalhadas		Horas não trabalhadas
Horas produtivas	Horas não produtivas	

Figura 11. Consideração de horas (elaboração do autor com base em MUSCAT, 1987).

Assim, distinguem-se os seguintes tipos de horas:

- Horas totais = horas totais do período de referência, isto é, 24h x 7dias/semana, computadas proporcionalmente do início ao fim do período.

- Horas úteis = horas referentes à quantidade de dias úteis do período de referência. Correspondem ao período de jornada de trabalho sindical (em São Paulo = 44h/ semana) subtraídos os feriados, computados proporcionalmente do início ao fim do período. Somam-se aqui as horas extras realizadas (remuneradas ou não).
 - Horas não uteis = feriados, finais de semana e horas da semana fora da jornada de trabalho. Subtraem-se as horas extras realizadas (remuneradas ou não).
 - Horas disponíveis = tempo que pode ser utilizado para produção do serviço.
 - Horas indisponíveis = férias, faltas/ atrasos/ saídas justificadas ou não, afastamentos com atestado, greves, empréstimo para outras tarefas, tempo para treinamentos, horas-prêmio, almoço e lanche.
 - Horas trabalhadas = tempo efetivamente gasto na produção do serviço.
 - Horas não trabalhadas = tempos ociosos por conta de anormalidades, tempo para recuperação de fadiga, tempo para necessidades pessoais, tempo despedido em atividades não operacionais.
 - Horas produtivas = horas trabalhadas nas quais o trabalhador estava mais engajado, resultando em melhor produtividade e qualidade do seu serviço.
 - Horas não produtivas = horas trabalhadas horas trabalhadas nas quais o trabalhador estava menos engajado, resultando em pior produtividade e qualidade do seu serviço.
- Quantidade de material

Em relação aos indicadores que utilizem quantidade de material como entrada, deve-se atentar para a correta quantificação de todo material que realmente entra no processo durante certo período de referência. Assim, de acordo com Souza (2005), deve-se considerar o material:

- Recebido do fornecedor;
- Recebido de outras fontes (por exemplo, outras obras da mesma empresa);
- Retirado do canteiro para ser entregue em outro destino (por exemplo, cedido para outra obra da mesma empresa);

- Acumulado ou retirado do estoque.

Dessa forma, tem-se que a quantidade de material consumida em determinado período de estudo será dada pela fórmula mostrada na Figura 12.

$$Q_{MAT} = EST(\text{início}) + FORN \pm TRANSF - EST(\text{fim})$$

Q_{MAT} = Quantidade real de material consumido no processo
 EST (início) = quantidade de material em estoque no início do período de referência
 EST (fim) = quantidade de material em estoque ao final do período de referência
 FORN = Material recebido do fornecedor
 TRANSF = Material recebido de outras fontes ou retirado do canteiro

Figura 12. Quantidade de material consumida em um processo (SOUZA, 2005).

- Hora-Equipamento

Com relação aos indicadores que utilizem hora-equipamento como entrada, a tratativa é semelhante a que ocorre com os homens-hora, fazendo-se necessário definir o que deve ser contemplado como “equipamento” e quais horas de trabalho da mesma serão consideradas como “hora”.

A definição de “equipamento” costuma ser relativamente simples, pois em geral encontra-se em menor quantidade e não envolve a diversidade de cargos e funções encontrados para mão de obra. No entanto, alguns cuidados são fundamentais, como distinguir equipamentos com especificações e capacidades distintas.

Em termos das horas consideradas, as possibilidades são semelhantes às aquelas apontadas na Figura 11. Assim, distinguem-se os seguintes tipos de horas:

- Horas totais = horas totais do período de referência, isto é, 24h x 7dias/semana, computadas proporcionalmente do início ao fim do período.
- Horas úteis = horas referentes à quantidade de dias úteis do período de referência. Correspondem ao período de jornada de trabalho sindical (em São Paulo = 44h/ semana) dos operadores, subtraídos os feriados, computados proporcionalmente do início ao fim do período. Somam-se aqui as horas extras (remuneradas ou não) realizadas pelos operadores da máquina.

- Horas não uteis = feriados, finais de semana e horas da semana fora da jornada de trabalho. Subtraem-se as horas extras (remuneradas ou não) realizadas pelos operadores das máquinas.
- Horas disponíveis = tempo que pode ser utilizado para produção do serviço.
- Horas indisponíveis = manutenção preventiva ou corretiva, queda de energia, empréstimo para outras tarefas.
- Horas trabalhadas = tempo efetivamente gasto na produção do serviço, incluso horas para esforço de retrabalho.
- Horas não trabalhadas = tempos ociosos por conta de anormalidades, tempo de preparação do equipamento, ociosidade decorrente de falta de mão de obra de operação, falta de materiais ou falhas de programação.
- Horas produtivas = horas trabalhadas que, por alguma razão, resultaram em melhor produtividade e qualidade do serviço.
- Horas não produtivas = horas trabalhadas que, por alguma razão, resultaram em pior produtividade e qualidade do serviço.

- Capital

Os indicadores de produtividade financeira ou indicadores de custo consideram unidades monetárias como entrada do processo produtivo.

Uma questão importante de ser avaliada nesses casos está ligada a variação do valor do dinheiro no tempo. Assim, deve-se sempre deixar claro a qual base corresponde determinado valor considerado e, caso se deseje somar diferentes valores para compor um mesmo indicador, todos devem estar em base equivalente.

Além disso, é preciso deixar claro quais valores estão envolvidos na composição do indicador, isto é, se são considerados apenas custos diretos ou se também estão agregados custos indiretos ou BDI associados ao processo produtivo.

2.5.2.2. Saídas

- Quantidade de Serviço

A mensuração de quantidade de serviço que resultou de um processo produtivo pode ser feita com base na quantidade líquida ou bruta/ equivalente. Por exemplo, a área de uma parede de alvenaria na qual se encontre uma janela pode ser computada considerando-se o vão como quantidade de serviço (área equivalente) ou descontando-o (área líquida).

Além disso, deve-se definir a tratativa com relação a produtos não conformes que exijam retrabalho, definindo se esses devem ou não ser computados como saídas do processo produtivo.

- Área

A utilização da área de edificação como saída do processo costuma ocorrer para composição de indicadores que permitam a comparação entre diferentes tipos de serviços ou tecnologias, ou para indicadores utilizados em orçamentos preliminares, quando se possui apenas as áreas gerais do projeto do empreendimento.

Na utilização da área como denominador do indicador de produtividade, é fundamental definir o tipo de área que se deseja considerar – área construída, computável, não computável, privativa, comum, equivalente, entre outras – de forma a evitar possíveis erros de interpretação.

2.5.3. Período de tempo de referência

Podem-se definir diferentes períodos de tempo aos quais se associarão as mensurações dos indicadores de produtividade. Em geral, são utilizados os seguintes períodos de referência, com base em Souza (2006):

- Período diário: medem-se entradas e saídas referentes a cada dia de serviço, obtendo-se um indicador de base diária.

- Período acumulado: medem-se as entradas e saídas acumuladas do primeiro dia do início do estudo até a data de avaliação desejada, obtendo-se um indicador de base cumulativa.
- Períodos determinados: podem-se medir entradas e saídas do primeiro ao último dia de um período de interesse (por exemplo, uma semana, um mês, etc.), obtendo-se um indicador de base periódica (semanal, mensal, etc.).
- Ciclo de serviço: interessante quando o serviço considerado possui ciclos bem definidos (por exemplo, execução de estrutura convencional em edifícios de múltiplos pavimentos), adotando esse ciclo como período de interesse. Medem-se as entradas e saídas do primeiro ao último dia do ciclo, obtendo-se um indicador de base periódica (cíclica).

A Figura 13 ilustra um exemplo de cálculo da produtividade da mão de obra para diferentes períodos de referência, conforme apresentando por Souza (2006). Foi utilizado o indicador RUP para um período de dez dias referentes ao serviço de execução de alvenaria, sendo calculadas as RUP diária, cumulativa e periódica para um período de cinco dias.

Figura 13. Exemplo de cálculo de indicador de produtividade da mão de obra para diferentes períodos de referência (SOUZA, 2006).

Com relação ao uso de períodos de referência inferiores ao diário, Thomas et al. (1991) afirma que a quantidade de trabalho feita durante pequenos intervalos de tempo pode não ser representativa em função de não estar se levando em conta os períodos de preparação e finalização constituintes da atividade. Ainda, segundo Thomas e Yakoumis (1987), a variação encontrada em períodos inferiores ao diário é muito ampla para permitir análises confiáveis.

entrada e quantidade de serviço como saída, quebrado em n subprocessos internos (que podem ser entendidos como etapas, tarefas, etc.).

Figura 15. Processo e subprocessos de transformação de homens-hora em quantidade de serviço (elaboração do próprio autor).

Cada subprocesso consome parte dos Hh da entrada e produz certa quantidade de serviço intermediária que serve de entrada para o subprocesso a jusante. Se todos os subprocessos são realizados em um mesmo dia, gerando quantidades de serviço intermediárias iguais (mesmo valor e mesma unidade de medida), então não há dificuldades para agrega-los em um processo único (e em um indicador único), sendo a RUP diária do processo único igual à soma das RUP diárias de cada subprocesso, conforme indicado na Figura 16.

$$\begin{aligned}
 Hh_d &= Hh1_d + Hh2_d + \dots + Hhk_d + \dots + Hhn_d \\
 QS_d &= QS1_d = QS2_d = \dots = QSk_d = \dots = QSn_d \\
 \frac{Hh}{QS}_d &= \frac{Hh1}{QS1}_d + \frac{Hh2}{QS2}_d + \dots + \frac{Hhk}{QSk}_d + \dots + \frac{Hhn}{QSn}_d
 \end{aligned}$$

Figura 16. Subprocessos executados em um mesmo dia e gerando quantidades de serviço intermediárias iguais (elaboração do próprio autor).

Entretanto, suponha-se que os subprocessos sejam realizados em dias diferentes e/ou a quantidade de serviço intermediária gerada por cada subprocesso tenha valores diferentes entre si a cada dia. Nesses casos, fica mais complicado agrega-los em um único processo e indicador, pois não se tem uma quantidade de serviço diária que represente o processo como um todo. A Figura 17 ilustra essa situação.

$$\begin{aligned}
 Hh_d &= Hh1_d + Hh2_d + \dots + Hhk_d + \dots + Hhn_d \\
 QS_d &= QS1_d \neq QS2_d \neq \dots \neq QSk_d \neq \dots \\
 \frac{Hh}{QS}_d &\neq \frac{Hh1}{QS1}_d + \frac{Hh2}{QS2}_d + \dots + \frac{Hhk}{QSk}_d + \dots + \frac{Hhn}{QSn}_d
 \end{aligned}$$

Figura 17. Subprocessos executados em dias diferentes e/ou gerando quantidades de serviço intermediárias com valores diferentes (elaboração do próprio autor).

No entanto, caso deseje-se proceder com a agregação em um indicador único, pode-se fazer uso de *regras de crédito* (SOUZA, 1996), que nada mais são do que ponderações das quantidades de serviço intermediárias, de forma a criar uma quantidade de serviço diária que represente o processo como um todo. Assim, atribui-se pesos a quantidade de serviço intermediária de cada subprocesso, proporcionalmente ao esforço demandado por cada um¹³, e que somados sejam iguais a 100%. Dessa forma, as quantidades de serviço intermediárias ponderadas podem ser somadas e, assim, constituir o denominador da RUP. Entretanto, cabe mencionar que para que esse procedimento seja matematicamente correto, é preciso que a soma das quantidades de serviço intermediárias ao final do período de estudo sejam iguais, isto é, a quantidade de serviço cumulativa no último dia do período deve ser igual para todos os subprocessos. A Figura 18 ilustra matematicamente o uso das regras de crédito.

$$\begin{aligned}
 Q_{Sd, \text{pond}} &= Q_{S1d} \times P1 + Q_{S2d} \times P2 + \dots + Q_{Skd} \times Pk + \dots + Q_{Snd} \times Pn \\
 P1 + P2 + \dots + Pk + \dots + Pn &= 100\% \\
 RUP_d &= \frac{Hh}{Q_{Sd, \text{pond}}} \\
 Q_{S_{\text{cum, final}}} &= Q_{S1_{\text{cum, final}}} = Q_{S2_{\text{cum, final}}} = \dots = Q_{Sk_{\text{cum, final}}} = \dots = Q_{Sn_{\text{cum, final}}} \\
 \frac{Hh}{Q_{S_{\text{cum, final}}}} &= \frac{Hh1}{Q_{S1_{\text{cum, final}}}} + \frac{Hh2}{Q_{S2_{\text{cum, final}}}} + \dots + \frac{Hhk}{Q_{Sk_{\text{cum, final}}}} + \dots + \frac{Hhn}{Q_{Sn_{\text{cum, final}}}}
 \end{aligned}$$

Figura 18. Regras de crédito (elaboração do próprio autor).

Em todo o caso, sempre é válido questionar se não seria mais interessante expressar a produtividade de cada subprocesso separadamente, isto é, ter um indicador para cada subprocesso, ao invés de agregá-los em um único.

Ainda, caso os subprocessos gerem quantidades de serviço em unidades de medida diferentes, ou caso gerem saídas que não sejam entrada do processo a

¹³ Ou seja, é atribuído um peso maior aos subprocessos que exigem maior consumo de recurso e menor aos que exigem menos. Assim, por exemplo, se a entrada de recursos for mantida constante, em um dia que se tenha executado uma quantidade maior de um subprocesso que exige mais esforço, teri-se-a uma produtividade melhor. Nota-se, entretanto, que a atribuição dos pesos acaba sendo uma escolha discricionária e judiciousa do autor do estudo.

justante, ou se as quantidades de serviço intermediárias acumuladas não resultam no mesmo valor ao fim do período de estudo, talvez seja interessante optar por tratar cada subprocesso separadamente (com indicadores separados) ou criar um procedimento específico para conseguir uniformizar as saídas intermediárias. As Figuras 19 e 20 exemplificam a questão da agregação de subprocessos para composição de indicador único e o uso de regras de crédito para um processo de produção de tubulação enterrada, constituído por três tarefas: abertura de vala, montagem e reaterro.

Figura 19. Exemplo com subprocessos executados em um mesmo dia e gerando quantidades de serviço intermediárias iguais (elaboração do próprio autor).

Figura 20. Exemplo com o uso de regras de crédito (elaboração do próprio autor).

2.6. Variação da produtividade de processos produtivos em canteiro de obras de construção civil

Na prática da construção civil, observa-se uma grande variação no valor assumido pelos indicadores de produtividade de um serviço realizado em canteiro de obras. Em se tratando de indicadores provenientes de diferentes fontes de informação, é comum encontrar variações por conta de diferenças metodológicas ou de composição dos indicadores considerados em cada fonte.

No entanto, mesmo havendo uniformidade metodológica e de composição dos indicadores, ainda é bastante provável que se encontre variações nos indicadores de produtividade, seja na comparação de períodos de referência diferentes dentro de uma mesma obra, seja ao se comparar obras ou agrupamentos de obras

diferentes (comparação de conjunto de obras de empresas diferentes, regiões diferentes, países diferentes, etc.).

Essa alta variação encontrada explica-se pelas características intrínsecas aos processos produtivos em canteiro de obras (conforme comentado no item 2.1. Gestão da produção e a abordagem de processos que faz com que a produção esteja sujeita a ação de *fatores influenciadores*, que ao existirem e/ ou variarem, provocam também uma variação nos valores assumidos pelos indicadores de produtividade.

Os fatores que influenciam a produtividade dos processos produtivos em canteiro de obras (seja em termos de materiais, mão de obra ou equipamentos), em condições normais de trabalho, podem ser divididos em dois grupos (SOUZA, 1996)¹⁴:

- Fatores de CONTEÚDO: dizem respeito às características do produto sendo executado e dos recursos transformados (materiais) utilizados no processo produtivo.
- Fatores de CONTEXTO: associados às condições de contorno do serviço sendo executado e aos recursos de transformação (mão de obra/ equipamentos) utilizados no processo produtivo.

Além disso, a produtividade pode ser alterada quando *anormalidades* acontecem, isso é, quando ocorrem afastamentos acentuados quanto às características regulares de conteúdo e contexto citados.

Assim, pode-se dizer que a produtividade de um determinado serviço é uma função dos fatores de conteúdo e contexto ligados à execução do serviço, podendo ser expressa pela equação da Figura 21.

¹⁴ Existe ampla bibliografia tratando do levantamento e categorização de fatores influenciadores da produtividade na construção, em especial com relação à mão de obra, de forma que diferentes autores já propuseram diferentes formas de classificação. Nesse trabalho, opta-se pela categorização adotada por Souza (1996) – fatores de conteúdo e contexto - e que vem sendo utilizada nos diversos trabalhos do grupo de pesquisa TGP-POLI/USP, sendo essa uma classificação suficientemente abrangente para englobar todos os fatores influenciadores da produtividade que se deseje considerar. Ao leitor que deseje aprofundar-se no tema, sugere-se o trabalho de Lee (2007) e de Souza (1996), que apresentam amplo levantamento bibliográfico sobre o assunto.

$$\text{Produtividade} = f(\text{fatores de conteúdo; fatores de contexto})$$

Figura 21. Produtividade como função de fatores de conteúdo e contexto (elaboração do próprio autor).

Em se tratando dos indicadores, nota-se que os valores assumidos pelos indicadores de base diária costumam ser particularmente sensíveis as anormalidades, de forma que em geral se observam amplas variações nos valores assumidos por estes indicadores de um dia para outro de serviço, mesmo em se tratando de uma mesma obra. O gráfico da Figura 13 apresentado anteriormente permite que se observe essa variação nos valores de RUP_d mostrados.

Indicadores cumulativos, por sua vez, por representarem uma medida de tendência central das observações diárias, têm suas variações suavizadas ao longo do período de referência. No entanto, ao se comparar indicadores cumulativos de obras diferentes, nota-se que em geral também se encontra acentuada variação, por conta dos diferentes fatores de conteúdo e contexto presentes em cada obra. A Figura 22 mostra algumas faixas de variação para indicadores cumulativos de produtividade da mão de obra e de materiais no serviço de execução de parede de alvenaria de vedação com blocos de concreto, coletados em diferentes obras, conforme apresentado pelo TCPO (2008). Nota-se que todos os indicadores variam significativamente, destacando-s, por exemplo, o consumo unitário de argamassa, que apresenta variação de quase sete vezes entre os valores mínimo e máximo.

Figura 22. Faixas de variação para indicadores de produtividade da mão de obra e de materiais para execução de parede de alvenaria de vedação (TCPO, 2008).

Outra questão interessante de ser colocada é que um indicador de produtividade, na medida em que é definido matematicamente por meio de um quociente, tem sua variação condicionada à alteração no valor do seu numerador e/ou do seu denominador. O Quadro 6 mostra cinco possibilidades de melhoria ou piora na

produtividade, baseadas unicamente em sua definição matemática de entradas/saídas.

Quadro 6. Variação nos valores assumidos por um indicador de produtividade com base em sua definição matemática (elaborado com base em SINK e TUTTLE, 1989).

	Saída	Entrada	Melhoria na Produtividade
1	Cresce	Decresce	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$
2	Cresce	Permanece constante	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$
3	Cresce	Cresce, mas a uma taxa menor	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$
4	Permanece constante	Decresce	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$
5	Decresce	Decresce, mas a uma taxa maior	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$

	Saída	Entrada	Piora na Produtividade
1	Decresce	Cresce	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$
2	Permanece constante	Cresce	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$
3	Cresce	Cresce, mas a uma taxa maior	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$
4	Decresce	Permanece constante	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$
5	Decresce	Decresce, mas a uma taxa menor	$\frac{\text{Entrada}}{\text{Saída}}$

2.6.1. Fatores influenciadores da produtividade

Existe vasta bibliografia tratando do levantamento de fatores que influenciam na produtividade da mão de obra na construção civil. Já com relação à produtividade de materiais e equipamentos, a bibliografia que trata de elencar fatores influenciadores encontra-se mais restrita. Entretanto, pode-se dizer que, genericamente, os fatores podem ser adaptados e associados aos três recursos.

Os Quadros 7 e 8 apresentam um levantamento de fatores de conteúdo e contexto que potencialmente influenciam na produtividade dos processos produtivos em nível de canteiro de obras de construção civil. Foram propostos agrupamentos para fatores com origens em comum. Os fatores foram compilados com base no levantamento e análise bibliográfica apresentada por Lee (2007) e por Souza (1996), que juntos analisaram mais de trinta trabalhos sobre o tema¹⁵.

Observa-se que o grande número de potenciais fatores é uma das maiores dificuldades no estudo da produtividade em canteiro de obras. Cabe notar ainda que

¹⁵ Alguns dos trabalhos analisados sendo, eles mesmos, revisões bibliográficas de trabalhos mais antigos que tratavam do levantamento de fatores influenciadores da produtividade como, por exemplo, Thomas e Smith (1990).

os fatores não são necessariamente variáveis independentes entre si, ou seja, pode haver uma relação sinérgica (um fator ter influência ou ser influenciado pelos demais) ou mesmo de causa-efeito entre eles. Observa-se também que alguns desses fatores possuem natureza tal que permite que sejam expressos de maneira quantitativa, enquanto outros são de expressão intrinsecamente qualitativa.

Quadro 7. Levantamento de fatores de conteúdo influenciadores da produtividade de operações em nível de canteiro de obras de construção civil (elaboração do autor com base em LEE, 2007 e SOUZA, 1996)

CONTEÚDO	
Agrupamento	Fatores
Especificações do projeto de produto (materiais e componentes)	Tipos
	Pesos
	Dimensões
	Composição
Características do projeto de produto (construtibilidade)	Facilidade de execução
	Alturas e profundidades para realização do serviço
Caráter inovador/ tradicional do produto	Familiaridade da equipe com o produto
Características das tarefas impostas pelo produto	Repetitividade das tarefas
	Complexidade das tarefas

Quadro 8. Levantamento de fatores de contexto influenciadores da produtividade de operações em nível de canteiro de obras de construção civil (elaboração do autor com base em LEE, 2007 e SOUZA, 1996)

CONTEXTO	
Agrupamento	Fatores
Porte da obra	Tamanho
	Duração
Localização da obra	Condições geológicas
	Clima e condições atmosféricas (umidade, temperatura, chuvas e ventos)
	Logística de acesso à obra
	Disponibilidade de recursos
	Regulamentação governamental
	Características sociológicas e econômicas da região
Gestão da obra	Capacitação da equipe de gestão
	Programas e procedimentos internos (qualidade, segurança, treinamentos)
	Planejamento e sequência de serviços (e mudança das mesmas)
	Congestionamento de frentes de serviço
	Ações para motivação dos funcionários
	Presença, intensidade e forma de supervisão
	Características físicas do canteiro (espaço, acessos, distâncias, logística interna, etc.)

	Condições e salubridade do canteiro
	Tipos de equipamentos e ferramentas
	Tamanho e composição das equipes
	Segurança do trabalho e acidentes
	Disponibilidade de informação
	Disponibilidade de materiais
	Disponibilidade de ferramentas e equipamentos
	Jornada de trabalho
	Qualidade de materiais, componentes, ferramentas e equipamentos
	Esperas e atrasos por problemas de gestão
	Retrabalho causado por problemas de gestão
	Rotatividade de operários/ estabilidade
	Falhas no processo de projeto (modificações tardias e incompatibilidades)
	Remuneração da mão de obra (valor/ pagamento em dia/ prêmios, etc.)
Equipe de produção	Capacitação para execução do serviço
	Automotivação
	Relacionamento entre membros das equipes
	Ter trabalhado juntos anteriormente
	Retrabalhos por falha de execução
	Fadiga e problemas físicos
	Problemas pessoais
	Faltas

2.6.2. Indicadores de produtividade física potencial

Conforme mencionado no item 2.3., o conceito de produtividade possui como desvantagem em relação ao conceito de perda o fato de não ser necessário o estabelecimento um referencial explícito de perda zero para sua definição. No entanto, essa definição pode ser importante para a gestão da produção apoiada em indicadores de produtividade.

Indicadores de *produtividade potencial* (ou *teórica*) são aqueles que expressam uma relação considerada ótima entre as entradas e saídas de um determinado processo produtivo dentro de determinada obra. A definição da produtividade potencial de um processo esbarra nos desafios mencionados anteriormente para o conceito de perda zero, quanto ao grande número de possíveis referências e a dificuldade no estabelecimento de uma referência de consenso. Nesse trabalho, adotam-se os indicadores de produtividade potencial de materiais conforme sugeridos por Souza (2005):

- $CUM_{teórico}$ = quantidade de material teoricamente necessária com base no projeto do produto dividida pela quantidade de serviço produzida.

Com relação à produtividade potencial de mão de obra, chama-se atenção para a dificuldade em se estabelecer um valor de consumo “ótimo” de mão de obra para determinado processo produtivo em canteiro de obras. Nesse trabalho, adota-se o conceito estabelecido por Souza (2006)¹⁶:

- $RUP_{potencial}$ = mediana dos valores de RUP_d inferiores ao da RUP_{cum} ao final do período de estudo.

A $RUP_{potencial}$ representa uma produtividade de bom desempenho dentro de uma determinada obra, possível de ser alcançada, embora de difícil constância por vários dias seguidos. Considerando os dados do exemplo da Figura 13, calcula-se a $RUP_{potencial}$ conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Cálculo de $RUP_{potencial}$ (elaboração do próprio autor).

Dia	RUP_d (Hh/m ²)	RUP_{cum} (Hh/m ²)	$RUP_{cum\ final}$	$RUP_d <$ $RUP_{cum\ final}$	RUP_{pot} (mediana)
1	0,80	0,80	0,81	0,80	0,67
2	1,00	0,89		-	
3	0,67	0,80		0,67	
4	1,07	0,84		-	
5	1,03	0,87		-	
6	0,59	0,80		0,59	
7	0,73	0,79		0,73	
8	0,64	0,77		0,64	
9	1,03	0,79		-	
10	1,00	0,81		-	

Em relação à produtividade de equipamentos, adota-se uma definição semelhante à utilizada para mão de obra:

- $E_F E_{potencial}$ = mediana dos valores de $E_F E_d$ inferiores ao da $E_F E_{cum}$ ao final do período de estudo.

¹⁶ Thomas e Zavrski (1999) apresentam um conceito alternativo para a $RUP_{potencial}$.

2.6.3. Indicadores de produtividade x fatores influenciadores

Conforme visto, a produtividade de um determinado processo varia em função da presença e do comportamento de fatores influenciadores. Dessa forma, o entendimento de como se dá a variação da produtividade de um determinado processo passa pela determinação desses fatores, expressando-os de forma quantitativa ou qualitativa, e do estabelecimento de correlações entre eles e os valores assumidos pelos indicadores de produtividade. As ferramentas que podem ser utilizadas para se estabelecer essa correlação serão tratadas no item 2.7.

No entanto, é importante notar que muitas vezes os próprios indicadores de produtividade, da maneira como são constituídos, já trazem informações de caráter explicativo com relação à variação da produtividade de um processo produtivo. Isso ocorre principalmente quando os indicadores são decompostos em função de características de suas entradas e saídas, ou em função dos subprocessos que o constituem (conforme mostrado no item 2.5.4). A Figura 23 ilustra essa questão por meio de um exemplo retirado de TCPO (2008). Nela são mostradas duas abordagens para expressar a produtividade da mão de obra na execução de parede de alvenaria de vedação com blocos de concreto.

Figura 23. Exemplo de explicação da variação da produtividade de um processo por meio da correlação de fatores influenciadores e indicador (abordagem 1) e por meio da decomposição do indicador (abordagem 2) (elaboração do próprio autor com base em TCPO, 2008).

Na primeira abordagem, a produtividade da mão de obra é expressa por meio de um único indicador, apresentado com uma faixa de variação com valores mínimo, mediano e máximo, e com os fatores influenciadores relacionados aos extremos da

faixa, de forma a indicar se os mesmos influenciam os valores assumidos pelo indicador para próximo do mínimo ou do máximo. Nota-se que um dos fatores considerados é “espessura de parede”. Na segunda abordagem, os indicadores de produtividade da mão de obra estão calculados separadamente em função de diferentes fatores considerados. Um dos fatores é, justamente, “espessura de parede”.

Assim, na primeira abordagem optou-se por calcular uma RUP única, com a espessura dos blocos entrando como um fator influenciador que causa a variação no valor assumido pelo indicador. Na segunda abordagem, optou-se por quebrar a RUP em função da espessura dos blocos, como se a execução de paredes de alvenaria com espessuras de 6,7 cm, 9 cm, 11,5 cm, 14 cm e 19 cm fossem processos distintos e calcula-se a RUP separadamente para cada um desses processos. Ambas as abordagens transmitem a mensagem de que a produtividade da mão de obra na execução de paredes de alvenaria varia em função da espessura do bloco, só o fazem por caminhos diferentes.

2.6.4. Curvas de aprendizado

O efeito de aprendizado corresponde a uma melhoria na produtividade da mão de obra de uma determinada equipe por conta da execução de processos repetitivos na execução de um mesmo produto. Segundo Thomas et al. (1986), existem uma série de fatores que explicam o efeito aprendizado, em geral ligados a maior familiaridade dos operários com o serviço a ser realizado e a melhorias na gestão da produção por parte da equipe de administração.

Uma curva de aprendizado é formada ao se desenhar um gráfico com a quantidade de serviço no eixo horizontal e o indicador de performance (produtividade da mão de obra) no eixo vertical. A declividade da curva é denominada taxa de aprendizado. Ainda, a curva pode ser expressa em um gráfico com eixos (x, y) , $(\log x, y)$, $(x, \log y)$ ou $(\log x, \log y)$ (LEE, 2007).

Com relação ao tipo de indicador utilizado para compor as curvas, Lee (2007) afirma que se encontram curvas compostas tanto por indicadores de base diária (RUP_d)

quanto de base cumulativa (RUP_{cum})¹⁷. A autora afirma que o primeiro tipo de indicador apresenta maior variabilidade, o que dificulta a análise de tendências, enquanto que o segundo facilita a observação de tendências de longo prazo, mas suaviza tendências recentes e de curto prazo. Thomas (2009) nota que os dois tipos de indicadores podem ser utilizados de forma complementar, mas que se deve atentar para a correta interpretação de curvas com indicadores cumulativos, pois a maneira como são calculados a partir de dados diários faz com que, quanto mais antigo o dado, maior o seu impacto na forma assumida pela curva.

LEE (2007) apresenta alguns modelos encontrados na bibliografia para se exprimir curvas de aprendizado: Linear, Stanford B, DeJong, Exponencial, Cúbico, Piecewise e CIIN. A Figura 24 mostra quatro desses modelos matemáticos, conforme apresentado por Thomas et al. (1986) (modificado).

Figura 24. Modelos matemáticos para expressão de curvas de aprendizado (Thomas et al., 1986, modificado).

Segundo Thomas et al. (1986), em tese, as curvas de aprendizado na construção civil deveriam se apresentar com um formato de S, indicando uma taxa acelerada de aprendizado no início do serviço, que tende a diminuir e estabilizar e, por fim, se esgotar. O autor comprova essa afirmação na medida em que demonstra, por meio do coeficiente de correlação de Pearson, uma melhor aderência a uma série de

¹⁷ A autora afirma ainda que se podem utilizar indicadores compostos na forma de médias móveis ou médias ponderadas, de forma a expressar melhor tendências recentes e de curto prazo, que tendem a ser suavizada quando da utilização de indicadores cumulativos. Entretanto, essa questão não será aprofundada, pois foge ao escopo dessa dissertação.

dados de produtividade na construção civil a curvas com formato em S, como o modelo cúbico e o modelo Piecewise.

No entanto, em trabalho posterior, Thomas (2009) chama a atenção para a dificuldade em se isolar os fatores que contribuem para a melhoria na produtividade por aprendizado dos demais fatores influenciadores, de forma que muitas vezes a curva QS x indicador de produtividade não é, na prática, efetivamente obtida com formato de S e, mesmo que seja, pode-se dever também a ação de outros fatores. O autor afirma ainda que as curvas de aprendizado vêm sendo utilizadas sem o devido cuidado e critério por diversos autores para explicar variações na produtividade da mão de obra em serviços de construção civil

2.7. Métodos para o estudo da produtividade de processos produtivos em canteiro de obras de construção civil

A definição do método para o estudo da produtividade, isto é, a definição de como coletar, processar e analisar dados, passa pela definição de um período de estudo, do número de obras a serem consideradas, de um modelo de estudo e das técnicas de coleta, processamento e análise de dados a serem utilizadas.

2.7.1. Período do estudo e número de obras

Ao realizar um estudo de produtividade, além do período de referência ao qual se associam os indicadores de produtividade, deve-se considerar também o período de tempo total no qual serão coletados os dados para determinação desses indicadores.

Em primeiro lugar, é preciso considerar que quanto maior o número de dias coletados, mais robusto será o banco de dados formado e, portanto, maior será sua capacidade de embasar conclusões assertivas. Entretanto, a coleta de dados consome recursos (tempo, dinheiro, pessoas, disposição de terceiros, etc.) que nem sempre estão disponíveis, o que torna mais difícil a obtenção de um grande número de dias coletados.

Além disso, o período de tempo do estudo pode ser contínuo ou constituído de vários períodos menores intermitentes. Souza (2005) apresenta alguns pontos de comparação entre estudos por períodos longos e estudos expeditos:

- Em estudos por períodos longos têm-se menor ônus relativo à coleta de dados, na medida em que o trabalho relativo às verificações e acertos iniciais e ao entendimento do projeto é diluída por um período de tempo maior;
- Teoricamente geram-se indicadores mais precisos em estudos por períodos longos, já que eventuais erros de apropriação pontuais são diluídos ao longo do estudo;
- Dúvidas com relação à coleta são mais difíceis de sanar quando são discutidas muito tempo após sua efetivação. Em estudos expeditos, tem-se a informação a corrigir mais recente, o que gera maior probabilidade de ter-se na memória a eventual falha detectada e o caminho para sua correção;
- A eventual necessidade de se desprezarem indicadores gerados em um período expedito não significa uma perda de esforço de coleta significativa;
- Os indicadores são facilmente atreláveis à gestão orçamentária e à avaliação de custos do empreendimento.

Outro aspecto a ser considerado é com relação à época do ano em que se realiza o estudo, uma vez que pode haver fatores influenciadores da produtividade de caráter sazonal. Além disso, deve-se levar em conta que momentos diferentes ao longo de todo o período de execução de um serviço podem estar sujeito a fatores influenciadores diferentes.

Com relação ao número de obras a ser considerado, deve-se ter em mente que uma maior diversidade de obras provavelmente levará a uma maior diversidade de fatores de conteúdo e contexto atuando sobre a produtividade do serviço estudado. Assim, obtêm-se indicadores mais robustos e confiáveis. No entanto, deve-se levar em consideração que um maior número de obras torna o estudo mais difícil de ser operacionalizado, aumentando o ônus relativo a coleta de dados.

2.7.2. Modelos de estudo da produtividade da mão de obra

Modelos são representações simplificadas da realidade, que buscam reproduzir em sua essência um comportamento complexo que é alvo de estudo e entendimento. É fato que os processos produtivos em nível de canteiro de obras de construção civil, com suas diversas entradas, saídas, subprocessos e fatores influenciadores constituem uma realidade de grande complexidade. Dessa forma, para o estudo da produtividade desses processos faz-se necessário o uso de modelos que busquem reproduzir, da maneira mais adequada possível, essas condições.

Encontra-se na literatura diversos modelos para estudo da produtividade de processos produtivos em nível de canteiro de obras, em especial com relação à produtividade da mão de obra. Segundo Thomas et al. (1991) e Souza (1996), tendo em vista os diferentes estudos presentes na literatura, os modelos para estudo da produtividade da mão de obra podem ser divididos em três grupos: modelos teóricos, modelos baseados no estudo do trabalho e modelos entrada e saída. Apresenta-se a seguir cada um deles.

2.7.2.1. Modelos teóricos

Esse grupo compreende modelos explicativos da produtividade aplicada aos processos da construção civil, sem, no entanto, buscar estabelecer uma forma de mensuração dessa produtividade e do impacto dos fatores influenciadores.

Como exemplos de modelos teóricos pode-se citar: o “modelo hierárquico” proposto por Kellogg et al. (1981), e já mencionado anteriormente nesse capítulo; os modelos de “processo fechado de conversão” e “processo aberto de conversão” propostos por Drewin (1985); modelo “ação-resposta” proposto por Halligan et al. (1994).

2.7.2.2. Modelos baseados em estudo do trabalho

- Embasamento teórico – Estudo do trabalho

A aplicação do *estudo do trabalho* como ferramenta para a gestão da produção começou a surgir no final do século XIX, ligada aos princípios da Administração Científica postulados por Taylor no início do mesmo século. Slack et al. (2009)

define estudo do trabalho como sendo um “termo genérico para as técnicas, particularmente estudo do método e medição do trabalho, que são utilizadas no exame do trabalho humano em todo seu contexto, e que leva sistematicamente à investigação de todos os fatores que afetam a eficiência e a economia de situações, sendo analisado para obter melhorias”. Assim, dois campos de estudos ligados ao estudo do trabalho emergiram separadamente, porém relacionados: *o estudo do método* e *a medida do trabalho*.

As primeiras aplicações do estudo do método (também denominado estudo de movimentos) datam do início do século XX, por Gilbreth, que, curiosamente, aplicou o método para análise de tarefas executadas por operários da construção civil. Segundo Slack et al. (2009), o estudo do método pode ser definido como “o registro sistemático e o exame crítico dos métodos existentes e propostos de fazer o trabalho, como um meio de desenvolver e aplicar métodos mais fáceis e mais eficazes de reduzir custos”.

As primeiras aplicações da medição do trabalho datam do final do século XIX, pelo próprio Frederick Taylor, que utilizou a técnica de estudo do tempo para analisar operações na Midvale Steel Company. A medição do trabalho é definida por Slack et al. (2009) como “a aplicação de técnicas projetadas para estabelecer o tempo para um trabalhador qualificado realizar um trabalho especificado em um nível definido de desempenho (tempo esse denominado de *tempo básico* ou *tempo normal*)”. Existem diversas técnicas de medição do trabalho, que podem ser divididas em técnicas de observação direta – como o estudo do tempo e a amostragem do trabalho – e técnicas de observação indireta – como o sistema de tempos e movimentos predeterminados (PMTS) e a estimativa analítica e síntese de dados.

A Figura 25 apresenta um esquema genérico com as etapas envolvidas em um estudo do trabalho.

Figura 25. Estudo do trabalho (DREWING, 1985, modificado).

Não se desenvolverá aqui maiores considerações a respeito de estudo do método, por não fazer parte do escopo desse trabalho. No entanto, apresenta-se a seguir uma descrição das principais técnicas de medição do trabalho, que servirão de base para o desenvolvimento do método de estudo da produtividade utilizado nessa pesquisa.

➤ Estudo do tempo

O estudo do tempo é realizado com base na cronometragem do tempo que um operário leva para realizar cada elemento¹⁸ de um trabalho. Com base em Slack et al. (2007), Contador (2010), IST (2015) e RICCI (2015), pode-se resumir o procedimento nas seguintes etapas:

a) Observação e medição: um trabalho é observado ao longo de diversos ciclos e, cada vez que um elemento do trabalho é realizado, ele é cronometrado e seu tempo registrado (TO = Tempo Observado). O número de ciclos N a serem observados para cada elemento pode ser dado pela fórmula expressa na Figura 26, para um determinado erro relativo (em geral 5% a 10%) e confiança (em geral 90% a 95%), tomando como base um determinado número n de ciclos já observados, e admitindo que os TO seguem uma distribuição normal.

$$N = \frac{n \cdot Z^2 \cdot [n \cdot \sum t^2 - (\sum t)^2]}{(n-1) \cdot p^2 \cdot (\sum t)^2}$$

n é o número de cronometragens já realizadas
 N é o número total de cronometragens a realizar para a confiança e precisão pretendidas
 t é o tempo observado (TO) em cada uma das n cronometragens
 p é o erro relativo
 Z é o número de desvios padrões que define a amplitude do intervalo de confiança para o nível de confiança pretendido. O valor de Z pode ser determinado através de uma tabela de distribuição normal

Probabilidade (%)	90	91	92	93	94	95
Z	1,65	1,70	1,75	1,81	1,88	1,96

Figura 26. Cálculo do número de ciclos a serem observados para cada elemento (IST, 2015).

A leitura dos tempos no cronômetro pode ser feita de maneira contínua (calculando-se cada TO pela diferença entre duas medidas consecutivas) ou repetitiva (zerando-se o cronômetro a cada observação).

b) Cálculo dos Tempos Normais e Tempos Normais Médios: para cada ciclo, é feita uma avaliação de ritmo, isso é, registra-se uma avaliação do desempenho percebido da pessoa que está fazendo o trabalho. Essa avaliação é quantificada por meio de um fator de ritmo (FR), tal que:

- FR = 100% - ritmo normal
- FR > 100% - ritmo acima do normal
- FR < 100% - ritmo abaixo do normal

Nota-se que a atribuição de um FR a uma determinada observação não deixa de ser subjetiva por parte do observador, mesmo que feita de maneira criteriosa através de

¹⁸ O elemento do trabalho ao qual se refere um estudo do tempo seria o que nessa dissertação foi denominado subtarefa, isso é, um subprocesso em nível de agregação bem baixo.

comparação entre observações feitas com diferentes operadores ou critérios qualitativos pré-definidos. Com isso, calculam-se os Tempos Normais (TN) para cada ciclo observado de cada elemento do trabalho, multiplicando o TO pelo FR correspondente. Por fim, calcula-se o Tempo Normal Médio (TM) para cada elemento, através da média aritmética dos TN de todos os ciclos de determinado elemento. A Figura 27 expressa as fórmulas para cálculo de TN e TM.¹⁹

$$TN = TO \times FR \quad TM = \frac{\sum TN}{N}$$

TN = Tempo normal para determinado ciclo e determinado elemento
 TO = Tempo observado
 FR = Fator de Ritmo
 TM = Tempo normal médio para todos os ciclos de determinado elemento
 N = Número de ciclos observados

Figura 27. Cálculo de TN e TM (elaboração do próprio autor).

c) Cálculo dos Tempos Padrão: o Tempo Padrão (TP) é formado pelo acréscimo de Tolerâncias (concessões para alívio de fadiga e necessidades pessoais) ao Tempo Normal Médio de cada elemento. A fadiga é proveniente não só do trabalho realizado, mas também das condições ambientais do local de trabalho, como ruído, iluminação, temperatura, umidade, vibração, cores, ergonomia, etc. Em geral a tolerância para alívio de fadiga tem valores entre 10% e 50%, enquanto que a tolerância para satisfação de necessidades pessoais fica por volta dos 5%. A Figura 28 mostra a fórmula para o cálculo do TP.

$$TP = TM \times (1 + \% \text{ TOLERÂNCIA})$$

Figura 28. Cálculo do Tempo Padrão (elaboração do próprio autor).

d) Tempos para a tarefa: o tempo médio básico ou tempo padrão de uma tarefa corresponde à soma dos tempos de cada elemento que compõe a tarefa.

A Tabela 4 mostra um exemplo de aplicação de estudo do tempo para uma tarefa de empacotamento, com base em Slack et al. (2009).

¹⁹ Alguns autores adotam a postura de aplicar FR à média dos TO, obtendo um TM direto para o elemento. Nesse caso, faz-se necessário avaliar previamente se algum dos TO não foi afetado por alguma anomalia, o que poderia distorcer a média. Nesse caso, pode-se fazer uso de intervalos de validade para as médias e amplitudes das amostras coletadas, descartando amostras que contenham valores de TO fora do intervalo. Ao leitor que interessar, essa forma de abordagem é adotada por Ricci, 2015.

Tabela 4. Exemplo de aplicação de estudo do tempo (SLACK et al., 2009, modificado)

Elemento		Observação										Tempo normal médio	Tolerância	Tempo padrão do elemento
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Fazer a caixa	Tempo observado	0,71	0,71	0,71	0,69	0,75	0,68	0,7	0,72	0,7	0,68			
	FR	90%	90%	90%	90%	80%	90%	90%	90%	90%	90%			
	Tempo normal	0,64	0,64	0,64	0,62	0,60	0,61	0,63	0,65	0,63	0,61	0,627	10%	0,690
Pacote x 20	Tempo observado	1,30	1,32	1,25	1,33	1,33	1,28	1,32	1,32	1,30	1,30			
	FR	90%	90%	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%			
	Tempo normal	1,17	1,19	1,25	1,20	1,20	1,15	1,19	1,19	1,17	1,17	1,188	12%	1,331
Selar e fixar	Tempo observado	0,53	0,55	0,55	0,56	0,53	0,53	0,60	0,55	0,49	0,51			
	FR	90%	90%	90%	90%	90%	90%	85%	90%	100%	100%			
	Tempo normal	0,48	0,50	0,50	0,50	0,48	0,48	0,51	0,50	0,49	0,51	0,495	10%	0,545
Montagem externa, fixação e rotulagem	Tempo observado	1,12	1,21	1,20	1,25	1,41	1,27	1,11	1,15	1,20	1,23			
	FR	100%	90%	90%	90%	90%	90%	100%	100%	90%	90%			
	Tempo normal	1,12	1,09	1,08	1,13	1,27	1,14	1,11	1,15	1,08	1,11	1,128	10%	1,241

TM tarefa = 3,438 TP tarefa = 3,806

➤ Amostragem do trabalho.

Técnica que consistem em fazer um grande número de observações instantâneas, intermitentes e espaçadas ao acaso, durante um período de tempo em geral maior do que o utilizado em estudos de tempos, de forma a obter-se uma estimativa da proporção de tempos despendidos em um dado tipo de atividade. Em geral determina-se a proporção entre tempos produtivos e improdutivos (auxiliando, por exemplo, na determinação de tolerâncias para o estudo de tempos), mas pode-se também determinar a proporção de tempos gastos em diferentes elementos de uma atividade ou utilizar o método para determinação do tempo padrão. A Figura 29 mostra um exemplo de registro de observações para amostragem do trabalho.

Atividade: empacotamento

	Marcação	Total	%
Trabalhando	x x x ... x x x ... x x x	96	88,9%
Ocioso	... x x x ... x x x ...	12	11,1%
Total =		108	1

Figura 29. Exemplo de registro de observações para amostragem do trabalho (RICCI, 2015).

Para estimar o número N necessário de observações para um determinado erro relativo (em geral 5% a 10%) e confiança (em geral 90% a 95%) desejados, toma-se como base a uma proporção encontrada em um determinado número de observações já realizadas e utiliza-se a equação mostrada na Figura 30, com base em uma distribuição binomial.

$$N = \frac{Z^2 \times (1 - f)}{p^2 \times f}$$

f é a proporção de tempo despendida na atividade
 $(1 - f)$ é a proporção de tempo não despendida na atividade
 p é o erro relativo máximo admitido
 Z é o número de desvios padrões associados a uma determinada confiança

Figura 30. Cálculo do número de observações necessárias para obtenção de uma confiança e erro relativo desejados (IST, 2015).

Com base nas proporções obtidas por um estudo de amostragem de trabalho, pode-se estimar o TM de uma tarefa através da equação mostradas na Figura 31, e TP acrescentando as tolerâncias a TM.

$$TM = \frac{T_{total} \times f \times FR}{Q}$$

T_{total} é o tempo total de realização do estudo
 f é a proporção de tempo despendida na atividade
 FR é o fator de ritmo
 Q é o número de ciclos que ocorreram no período de realização do estudo

Figura 31. Estimativa de TM com base em um estudo de amostragem do trabalho (IST, 2015).

➤ Sistema de tempos e movimentos predeterminados (PMTS)

Técnica que consiste na determinação do TN de uma tarefa a partir da composição de tempos sintéticos, determinados pela natureza e condições de execução de movimentos elementares como: alcançar, movimentar, girar e aplicar pressão, agarrar, posicionar, soltar, desmontar, focalizar os olhos, etc.

➤ Estimativa analítica e síntese de dados

Técnica de medida do trabalho que desenvolve estimativas para TN da tarefa a partir do conhecimento e experiência das pessoas envolvidas no estudo ou a partir do TN de elementos obtidos previamente em estudos de outras tarefas que contenham os mesmos elementos da tarefa em análise.

- Modelos para estudo da produtividade baseados em estudo do trabalho

Apesar de terem surgido com o objetivo de buscar a melhoria da produtividade na indústria seriada, as técnicas de medida do trabalho não fornecem mensurações de produtividade propriamente dita (entradas e saídas), e sim de ritmo de produção.

Além disso, diversas críticas podem ser colocadas quanto ao uso de técnicas de estudo do trabalho para análise de processos da construção civil (THOMAS et al., 1990):

- Técnicas do estudo do trabalho foram originadas da indústria seriada, com grande número de processos repetitivos e que ocorrem em ambiente controlado (diferentemente de um canteiro de obras, conforme colocado no início do capítulo), de forma que o melhor modo de melhorar a produtividade é modificando a forma como o trabalho é executado, isso é o método do trabalho.
- Focam o indivíduo e não a equipe, sendo que na construção civil a maioria dos processos produtivos ocorre segundo essa forma de organização.
- Não investigam os fatores externos, de gerenciamento e de produto que afetam a produtividade, apenas o processo de trabalho.
- As técnicas de medição de trabalho envolvem inferências subjetivas por parte do observador.
- Coleta de dados exige gasto significativo de tempo.
- As medições de estudo do tempo ocorrem em pequenos intervalos de tempo (inferiores a um dia), o que pode não ser representativo por desprezarem tempos de preparação e finalização da atividade, além de estarem sujeitos a muita variabilidade.
- Consideram apenas as entradas dos processos (ritmo de produção) e não entradas e saídas (produtividade).

No entanto, alguns modelos para estudo da produtividade da mão de obra na construção civil foram propostos com base nos conceitos do estudo do trabalho. Thomas et al. (1990), apresenta alguns desses modelos, realizados com um misto de técnicas de estudo do tempo e de amostragem do trabalho, e aplicados ao nível das equipes. No entanto, para que se tornem válidos para o estudo da produtividade, o autor postula que esses modelos seguem três premissas:

- As horas trabalhadas são inversamente proporcionais às horas não trabalhadas, isto é, ao reduzir a quantidade de horas não trabalhadas, aumenta-se proporcionalmente a quantidade de horas trabalhadas;
- A produtividade é proporcional às horas trabalhadas;
- A produtividade é proporcional às horas não trabalhadas.

No entanto, o autor mostra que essas premissas, apesar de geralmente válidas para a indústria seriada, dificilmente se verificam em processos produtivos da construção civil, conforme indicado pelos gráficos das Figuras 32 e 33.

Figura 32. Relação entre horas trabalhadas e produtividade e horas trabalhadas e horas não trabalhadas, para atividades de construção civil (Thomas et al., 1990).

Figura 33. Relação entre horas não trabalhadas e produtividade, para serviços de alvenaria e pavimentação com formas deslizantes (Thomas et al., 1990).

Assim, observa-se que a redução de horas não trabalhadas aumenta a de horas trabalhadas – pode-se, por exemplo, simplesmente ocorrer uma redução das horas disponíveis. Da mesma forma, não há relação proporcional entre produtividade e horas trabalhadas/ não trabalhadas – ao aumentar o número de horas trabalhadas, pode-se aumentar também a parcela referente às horas improdutivas, por exemplo.

2.7.2.3. Modelos entrada e saída

Esse grupo compreende os modelos que efetivamente possuem um caráter explicativo e de mensuração da produtividade de processos produtivos em nível de canteiro de obras de construção civil, levando em consideração as entradas e saídas dos processos, bem como a ação de fatores influenciadores da produtividade.

Segundo Lee (2007), em termos da mensuração do efeito dos fatores influenciadores na produtividade, os modelos entrada e saída podem ser divididos em dois grupos:

- Modelos que consideram o efeito dos diversos fatores influenciadores sobre a produtividade de forma isolada, isto é, cada fator é tratado como uma variável independente.
- Modelos que levam em conta o efeito potencialmente sinérgico entre os diferentes fatores influenciadores sobre a produtividade, isto é, os fatores não são necessariamente tomados como variáveis independentes entre si.

Observa-se na literatura que diferentes modelos entrada e saída para o estudo da produtividade já foram propostos. Muitas vezes, diferentes estudos se desenvolvem a partir das premissas de um mesmo modelo²⁰, que é adaptado segundo a visão de cada autor, em geral visando se adequar ao escopo e objetivos de cada estudo em particular. Os diferentes estudos de produtividade da mão de obra utilizando-se de modelos entrada-saída encontrados na literatura costumam diferenciar-se com relação aos serviços estudados, a análise da ação de diferentes fatores influenciadores, ou ao específico modelo em que se baseiam.

Como exemplos de modelos entrada e saída pode-se citar: o Modelo dos Fatores, proposto por Thomas e Yiakoumis (1987); o Modelo da Expectativa, proposto por Maloney e McFillen (1985); Modelos baseados em inteligência artificial, como o uso

²⁰ Em especial quando se tem diversos trabalhos de um mesmo grupo de pesquisa dentro do qual foi desenvolvido um modelo específico.

de redes neurais (MOSELHI et al, 1991), árvores de decisão (LEE et al., 2004) e sistemas especialistas (HENDRICKSON et al., 1987) .

Apresentam-se a seguir as principais características do Modelo dos Fatores, que será adotado como referência para o desenvolvimento dessa pesquisa.

- Modelo dos Fatores

O Modelo dos Fatores, desenvolvido por Thomas e Yiakoumis (1987), fundamenta-se na premissa de que a produtividade real de uma equipe é afetada por certa quantidade de fatores, que podem ser identificados e cuja influencia pode ser quantificada. Esses fatores podem ser de conteúdo ou de contexto e expressos de forma quantitativa ou qualitativa.

O modelo assume ainda a existência de uma condição padrão de trabalho, sob a qual a produtividade seria “ideal”. Assim, os fatores influenciadores, ao distanciarem-se da condição padrão, fazem com que a produtividade real varie em relação à produtividade ideal. Segundo o modelo, a curva de produtividade ideal varia apenas em função do efeito de aprendizado.

A Figura 34 mostra uma representação gráfica do modelo. O gráfico mostra a variação da RUP_{cum} em função da QS_{cum} para um serviço genérico. Ao extrair-se matematicamente o efeito (Δ) de cada um dos fatores influenciadores da curva de produtividade real, aproxima-se da curva de produtividade ideal²¹.

²¹ Chama-se a atenção para a diferença entre o conceito de produtividade potencial, conforme apresentado no item 2.6.2., e o de produtividade ideal colocada pelo Modelo dos Fatores. A produtividade potencial é um valor ótimo de produtividade calculado para um conjunto de dados de uma obra específica, enquanto que a produtividade ideal do Modelo dos Fatores representa uma condição padrão de trabalho para um dado serviço, independente da obra na qual for executado. A RUP_{cum} real varia com relação a RUP_{pot} por conta da ação de anormalidades ou fatores de conteúdo e contexto que sofram variações diárias por natureza. A RUP_{cum} real varia com relação a $RUP_{cum ideal}$ por conta de alterações na natureza dos fatores de conteúdo e contexto de uma determinada obra.

Figura 34. Representação gráfica do Modelo dos Fatores (Thomas e Yiakoumis, 1987, modificado).

A Figura 35 apresenta uma representação matemática do Modelo dos Fatores. Nela, a RUP_d para um serviço genérico é mostrada como sendo função do aprendizado e de fatores influenciadores representados por meio de variáveis qualitativas e de variáveis quantitativas.

$$RUP_{diária, t} = f(t) + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{j=1}^n f(y)_j$$

$RUP_{diária, t}$ = RUP diária relativa ao dia t

$f(t)$ = curva de aprendizado sob condições ideais

a_i = constante representando aumento ou decréscimo de produtividade causada pelo fator qualitativo i

x_i = variável que denota a presença do fator qualitativo i (ausência = 0; presença = 1)

$f(y)_j$ = função que representa variação da produtividade em função de fator quantitativo j

y_j = variável que assume o valor do fator quantitativo j

Figura 35. Representação matemática do Modelo dos Fatores (Thomas et al., 1990, modificado).

A equação expressa na Figura 34 mostra que o Modelo dos Fatores foi originalmente concebido de forma a considerar os fatores como variáveis independentes entre si. No entanto, estudos posteriores baseados nesse modelo foram realizados considerando o potencial efeito sinérgico entre as variáveis²².

O modelo propõe ainda o uso de um índice denominado Fator de Conversão para expressar a relação entre a RUP para uma determinada condição de trabalho e a RUP para uma condição padrão. A Figura 36 expressa esse índice.

$$FC_j = \frac{RUP_j}{RUP_{padrão}}$$

FC_j = Fator de conversão para a condição j
 RUP_j = RUP para a condição j
 $RUP_{padrão}$ = RUP para a condição padrão

Figura 36. Fator de conversão (Souza, 1996).

Em síntese, dentre as características básicas do Modelo dos Fatores, destacam-se: o foco na produtividade da mão de obra ao nível da equipe, a possibilidade de consideração dos efeitos de aprendizagem, a possibilidade de inclusão e quantificação de fatores influenciadores da produtividade e o forte viés de modelagem matemática utilizada pelo modelo.

2.7.3. Técnicas de coleta, processamento e análise de dados

As técnicas de coleta, processamento e análise de dados utilizadas em um estudo de produtividade são bastante particulares de cada estudo, em geral estando associadas ao modelo de estudo adotado, aos objetivos do estudo e à disponibilidade de dados e ferramentas encontradas pelo pesquisador. No Capítulo 4 dessa dissertação, explica-se em detalhes as escolhas feitas para essa pesquisa.

²² Por exemplo, o estudo de Souza (1996).

3. ASPECTOS TECNOLÓGICOS E CONSTRUTIVOS DAS ESTRUTURAS DE AÇO PARA EDIFÍCIOS

O objetivo deste capítulo é apresentar uma revisão bibliográfica com conceitos relativos aos aspectos tecnológicos e construtivos dos edifícios estruturados em aço. Não se pretende aqui esgotar esse assunto, que é bastante extenso, e sim apresentá-lo de maneira abrangente e resumida, de forma a embasar as discussões posteriores relativas à produtividade na execução das estruturas de aço para edifícios.

3.1. Componentes das estruturas de aço

A Figura 37 indica os principais componentes das estruturas em aço para edifícios, cuja caracterização será feita nos itens subsequentes.

Figura 37. Esquema síntese dos componentes das estruturas de aço para edifícios (elaboração do próprio autor).

3.1.1. Chapas

Chapas²³ são produtos planos laminados de aço com largura, podendo ser classificadas como chapas grossas (espessura maior ou igual a 6,3mm), chapas finas a quente (espessura entre 1,8mm e 5mm) e chapas finas a frio (espessuras entre 0,6mm e 3mm). Silva e Pannoni (2010) afirmam que as chapas costumam apresentar as seguintes dimensões:

- Chapas Grossas

Espessuras-padrão: 6,3 mm a 100 mm

Larguras-padrão: 1,0 m a 3,8 m

Comprimentos-padrão: 6,0 m a 12,0 m

Dimensões preferenciais: 2,44 de largura por 12 m de comprimento

- Chapas Finas

Espessuras-padrão: 0,6 mm a 5 mm

Larguras-padrão: 1,0 m a 1,5 m

Comprimentos-padrão: 2,0 m a 6,0 m (chapas a quente) e 1,0 m a 1,5 m (chapas a frio)

Dimensões preferenciais: 1,2 de largura por 2 m comprimento (chapas a quente) e 1,2 de largura por 3 m de comprimento (chapas a frio).

Comprimentos na forma plana podem ser maiores e mais econômicos se fornecidos na forma de bobina.

As dimensões padrão são aquelas comercializadas pelas indústrias siderúrgicas. As dimensões preferenciais são aquelas de produção mais econômica. A especificação de chapas é feita utilizando-se a sigla CH (PL – *plate* – na denominação americana) seguida da espessura da chapa e tipo de aço. Exemplo. CH 25 – ASTM A36.

²³ Em inglês, *rolled structural steel plates*. Os principais termos técnicos associados às estruturas de aço e mencionados neste texto terão sua tradução para o inglês em nota de rodapé, de forma a auxiliar na sua busca e identificação nas bibliografias internacionais.

3.1.2. Perfis

Os perfis²⁴ são os componentes mais importantes num projeto em estrutura de aço. Com relação à forma, os perfis de utilização corrente são aqueles cuja seção transversal se assemelha às formas das letras I, H, U, T, L e Z. No Brasil, costumam receber denominação análoga a essas letras, com exceção dos perfis L, comumente denominados cantoneiras. Os perfis podem ser simétricos com relação a um ou dois eixos ou apresentar assimetria.

A norma ABNT NBR 6362:1982 - Perfis de aço laminado a quente soldados e formados a frio – Terminologia, estabelece alguns termos técnicos aplicados aos perfis de aço. Segundo essa norma, os perfis podem ser classificados em perfis leves (maior dimensão nominal da seção transversal reta inferior a 80 mm), médios (maior dimensão nominal da seção transversal reta varia de 80 a 200 mm) ou pesados (maior dimensão nominal da seção transversal reta superior a 200 mm).

Com relação ao processo de fabricação, os perfis podem ser obtidos diretamente por laminação ou a partir de operações de conformação a frio ou soldagem de chapas, sendo denominados, respectivamente, de perfis: laminados, formados a frio e soldados (SILVA, 2012). Podem ainda ser obtidos pela composição de vários perfis ou perfis e chapas, por meio de soldagem ou aparafusamento, sendo denominados perfis compostos. A Figura 38 indica as principais terminologias relacionadas a um perfil genérico.

²⁴ Em inglês, encontram-se as denominações structural steel shapes, structural shaped sections e structural flanged sections.

Figura 38. Perfil genérico mostrando partes constituintes (mesa, aba e alma²⁵) e principais dimensões e notações adotadas nesse trabalho (elaboração do próprio autor).

3.1.2.1. Perfis laminados

Perfis laminados²⁶ são aqueles fabricados por processo de laminação a quente nas usinas siderúrgicas, sendo os mais econômicos para utilização em edificações de estruturas de aço, pois dispensam o processo posterior de conformação fora da indústria. Por se tratar de um perfil fabricado diretamente na siderúrgica, há dimensões padronizadas, as quais o projetista fica restrito (SILVA, 2012).

Os perfis laminados podem apresentar abas inclinadas (faces internas das abas não são paralelas às faces externas) ou paralelas (faces internas das abas praticamente paralelas às das faces externas, admitindo-se uma determinada tolerância de inclinação).

Os perfis laminados podem ser fabricados em diferentes formatos e tamanhos. A Norma ABNT NBR 15980:2011 – Perfis Laminados de Aço para Uso Estrutural – Dimensões e Tolerâncias, regula o fornecimento desse material, estabelecendo, dentre outras coisas, os possíveis tipos de perfis laminados, suas dimensões padrão, as tolerâncias para desvios de altura, espessura, massa e esquadro das extremidades, assimetria da alma, empeno do perfil e defeitos superficiais.

Entretanto, deve-se notar que existem diferenças na oferta de produtos produzidos pela indústria de cada país. O mercado de estruturas de aço europeu e americano,

²⁵ Em inglês, *flange*, *leg* e *web*, respectivamente.

²⁶ Em inglês, rolled structural steel shapes.

por exemplo, por ser maior e mais desenvolvido que o brasileiro, acaba por oferecer uma maior gama de tipos de perfis laminados.

A NBR 15980 estabelece os seguintes tipos de perfis laminados:

- Perfis L = cantoneiras de abas iguais, com ângulo de 90° entre as abas.
- Perfis U = perfis monossimétricos, de face de abas não paralelas.
- Perfis I = perfis duplamente simétricos, de face de abas não paralelas²⁷.
- Perfis W = perfis I e H duplamente simétricos, de faces de abas paralelas e com espessura da alma menor que a espessura das abas.
- Perfis HP = perfis duplamente simétricos, de faces de abas paralelas e com mesma espessura para as abas e a alma.
- Perfis T = perfis monossimétricos, tendo a alma e a mesa de mesmas dimensões.
- Perfis WT = perfis T obtidos do corte dos perfis W na linha média da alma.

A Figura 39 ilustra alguns destes perfis.

A norma afirma ainda que perfis com dimensões especiais podem ser fornecidos, desde que previamente acordado entre fabricante e comprador. Os comprimentos usuais de fornecimento são de 6m e 12m, mas também pode haver comprimentos distintos dependendo de acordo entre fabricante e comprador.

²⁷ Segundo Dias (2004), os perfis I de abas paralelas são mais econômicos, sendo mais comumente utilizados. Os perfis I de abas inclinadas costumam ser utilizados em estruturas de pequeno porte, tais como travessas de tapamento, barras de treliças e na composição de perfis.

Figura 39. Seção transversal de perfis laminados genéricos especificados na NBR15980: Perfil L (a), Perfil I (b), Perfil W (c), Perfil HP (d), Perfil T (e) e Perfil U (f) (ABNT, 2011).

O padrão de designação dos perfis é específico para cada país. No Brasil, a designação comercial do perfil laminado em geral é dada na forma: código literal do tipo de perfil, altura (mm) x massa linear (kg/m). Por exemplo, pode-se ter um perfil W 310x44,5 ou HP 360x122. Excepcionalmente, os perfis L e T são designados diferentemente (código, comprimento da aba 1 (mm), comprimento da aba 2 (mm) para perfil L e código, altura (mm) x espessura da alma (mm) para perfil T).

A especificação utilizada depende do fabricante, sendo o mais comum encontrá-la segundo o padrão da norma brasileira, americana ou europeia.

A norma americana ASTM A6/ A6m – Standard Specification for General Requirements for Rolled Steel Bars, Plates, Shapes and Sheet Piling²⁸, define os seguintes tipos de perfis:

²⁸ Tradução livre para o português: especificação padrão e requisitos gerais para barras, chapas, perfis e pranchões de aço laminado.

- Perfis W = perfis duplamente simétricos (I ou H), de mesa larga e de faces de abas paralelas;
- Perfis HP = perfis duplamente simétricos, de mesa larga, de faces de abas paralelas, com mesma espessura para mesa e alma e com altura e largura bastante próximas.
- Perfis S = perfis duplamente simétricos, de face de abas não paralelas.
- Perfis M = perfis duplamente simétricos que não podem ser classificados como W, S ou HP.
- Perfis C = perfil U²⁹ de face de abas não paralelas.
- Perfis MC = perfil U que não pode ser classificado como C.
- Perfis L = cantoneiras³⁰ de abas iguais ou desiguais.

A Figura 40 mostra os perfis segundo a normalização americana.

W	S	HP	C	MC	L	L
Wide flange beams	Standard Beams	Wide flange bearing piles	Standard channels	MC channels	Equal leg angles	Unequal leg angles

Figura 40. Perfis padrão americano (ARCELOR MITTAL, 2014).

As normas europeias também estabelecem padronização própria para os perfis laminados. De forma simplificada, podem ser encontradas as designações IPE, IPN, HE, HL, HD, HP para perfis I e H, UPE e UPN para perfis U, L para cantoneiras e T para perfis T. A Figura 41 mostra os perfis segundo a normatização europeia.

IPE	IPN	HE	HL	HD	HP	UPE	UPN	U	L	L
Parallel flange I sections	Taper flange I sections	Wide flange beams	Extra wide flange beams	Wide flange columns	Wide flange bearing piles	Parallel flange channels	European standard channels	Taper flange channels	Equal leg angles	Unequal leg angles

Figura 41. Perfis padrão europeu (ARCELOR MITTAL, 2014)

²⁹ Em inglês, *channel*.

³⁰ Em inglês, *angles*.

3.1.2.2. Perfis formados a frio ou dobrados

Perfis formados a frio³¹ são aqueles obtidos por dobramento a frio de chapas de aço. A ABNT NBR 6355:2012 – Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio – Padronização, estabelece padrões para a produção e fornecimento deste tipo de perfil. A nomenclatura segue o padrão: tipo de perfil x dimensões dos lados x espessura, todas em mm. A Figura 42 indica os padrões de perfis e respectivas nomenclaturas estabelecidos por esta norma.

Figura 42. Padrões de perfis dobrados estabelecidos por norma (adaptado de ABNT, 2012).

No entanto, embora possuam dimensões padronizadas, os perfis dobrados podem ser produzidos pelos fabricantes de acordo com a forma e o tamanho solicitados, guardadas as limitações dimensionais de suas linhas e processos (DIAS, 1997). Este tipo de perfil pode ser produzido por processo contínuo (perfiladeiras) ou descontínuo (dobradeiras). As dobradeiras conseguem trabalhar com perfis de até 6m de comprimento e 12,5 mm de espessura. Já as perfiladeiras não possuem limitação de comprimento, mas costuma operar com espessuras de até 3 mm (SILVA E PANNONI, 2010).

³¹ Em inglês, *cold-formed steel sections*.

Assim, tendo a vantagem de maior flexibilidade dimensional, os perfis dobrados costumam ser utilizados para elementos estruturais leves, pouco solicitados, como terças, montantes, diagonais de treliças, travamentos, sistema *light steel framing*, etc.

3.1.2.3. Perfis soldados

Perfil soldado³² é o perfil constituído por chapas de aço estrutural, unidas entre si por soldagem a arco elétrico. São largamente empregados na construção de estruturas de aço, em face da grande versatilidade de combinações possíveis de espessuras, alturas e larguras, levando a redução do peso da estrutura, em comparação com o uso de perfis laminados disponíveis no mercado brasileiro. No entanto, possuem um maior custo de fabricação do que os perfis laminados, sendo produzidos pelos fabricantes de estruturas de aço, a partir do corte e soldagem de chapas fabricadas pelas usinas siderúrgicas (SILVA, 2012).

No Brasil, os perfis soldados normatizados apresentam seção transversal em forma de I ou H, sendo especificados pela norma ABNT NBR 5884:2013 – Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – Requisitos Gerais.

A NBR 5884 classifica os perfis em séries simétrica e assimétrica. A série simétrica é composta por perfis que apresentam simetria na sua seção transversal com relação aos eixos X-X e Y-Y, sendo dividida em:

- Série CS = perfis soldados tipo pilar, com relação $d/b_f = 1,0$;
- Série CVS = perfis soldados tipo viga-pilar, com relação $1 < d/b_f \leq 1,5$;
- Série VS = perfis soldados tipo viga, com relação $1,5 < d/b_f \leq 4,0$;
- Série PS = perfis soldados simétricos cujas dimensões não estão indicadas na NBR5884.

A série monossimétrica é composta por perfis soldados que não apresentam simetria na sua seção transversal com relação ao eixo X-X e apresentam simetria em relação ao eixo Y-Y, sendo dividida em:

³² Em inglês, *welded section*.

- Série VSM = perfis soldados tipo viga, com relação $1,0 < d/b_f \leq 4,0$ cujas mesas apresentam larguras idênticas e espessuras diferentes.
- Série PSM = perfis soldados monossimétricos, inclusive perfis com larguras de mesas diferentes entre si, cujas dimensões não estão indicadas na NBR5884.

Segundo a norma, os perfis soldados são especificados na forma: código literal da série do perfil, altura (mm) x massa linear (kg/m). Assim, pode-se ter, por exemplo, um perfil CS 300x62 ou VSM 450x49.

Apesar da importância das séries padronizadas, é importante notar que a grande vantagem dos perfis soldados é sua versatilidade, podendo ser executados perfis de qualquer altura e largura, com chapa de diferentes espessuras, e com características especiais: perfis assimétricos (inclusive com diferentes espessuras e larguras de mesas), curvos, com contra-flecha, com altura variável ou com alma dupla (CARDOSO, 1988). A Figura 43 mostra dois exemplos de perfis soldados com formatos não normatizados.

Figura 43. Perfis soldados não normatizados: perfil caixão (a) e perfil delta (b).

Uma alternativa tecnológica é o uso de perfis soldados com alma corrugada em forma trapezoidal ou senoidal, composta por chapa extremamente fina (de 2 a 3 mm), proporcionando aumento da capacidade resistente aliado à redução de peso da estrutura. A Figura 44 mostra alguns exemplos deste tipo de perfil.

Figura 44. Perfil soldado de alma trapezoidal (a) e senoidal (b). Viga de alma senoidal em cobertura de galpão (c) (UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, 20--).

Outra solução para buscar maior eficiência estrutural do perfil é a utilização de perfis alveolares³³, obtidos a partir do recorte de perfis I laminados, posteriormente soldados, de forma a obterem-se alvéolos circulares ou hexagonais. É possível ainda a obtenção de alvéolos octogonais, com a adição de uma chapa na alma, obtendo-se ainda maior altura para o perfil. Mais recentemente, desenvolveram-se também perfis com alvéolos senoidais. Perfis alveolares apresentam não só maior eficiência estrutural, como também efeito estético e constituição de alternativa para passagem de dutos. A Figura 45 indica alguns exemplos de perfis alveolares.

Figura 45. Perfis soldado alveolares, com alvéolos circulares (a), octogonais (b), hexagonais (c) e senoidais (d). (ARCELOR MITTAL, 2014).

Outro tipo de perfil soldado, apesar de encontrar-se atualmente em desuso no país, são os perfis eletrossoldados. Estes perfis são constituídos por chapas de aço estrutural, unidas entre si pela fusão devido ao calor gerado pela resistência à passagem de uma corrente elétrica de alta frequência, e pela aplicação simultânea de pressão, formando sua seção transversal um I, H ou T (SILVA, 2012).

³³ Em inglês, denominados *cellular beams* ou *castellated beams*.

No Brasil, os perfis eletrossoldados são normatizados pela norma ABNT NBR 15279:2005 – Perfis estruturais de aço soldados por alta frequência (eletrofusão) – Perfis I, H e T - Requisitos.

3.1.2.4. Perfis compostos

São perfis obtidos pela composição, por meio de soldagem ou aparafusamento de outros perfis ou perfis e chapas. A Figura 46 mostra alguns exemplos.

Figura 46. Exemplos de perfis compostos para uso como vigas (a - l) e pilares (m - p). Exemplos de perfis compostos por perfis dobrados (q - s). (Adaptado de SILVA, 2012).

3.1.3. Barras

Barras de aço podem ser produzidas por processo de laminação, trefilação ou endireitamento de fio-máquina. Podem possuir diferentes seções transversais, sendo as mais comuns na construção de aço as de seção redonda, quadrada, chata e hexagonal (sextavada). As barras laminadas são normatizadas por meio da ABNT NBR 11294:1990 – Barras de aço ao carbono e ligado, redondas, quadradas e sextavadas, laminadas a quente.

3.1.4. Tubos estruturais

Os tubos estruturais ou perfis tubulares podem ser produzidos com ou sem costura. Segundo Dias (1997), os perfis com costura podem ser obtidos por dois processos: calandragem e prensagem de chapas com soldagem por arco submerso ou conformação contínua com soldagem por eletrofusão ou com soldagem helicoidal por arco submerso. Já os tubos sem costura são produzidos por processo de extrusão, isto é, a laminação a quente de tarugos de aço de seção circular pelo qual ocorre a passagem forçada de um mandril de expansão.

Os tubos são inicialmente produzidos com seção circular, mas podem ter sua seção transversal alterada para quadrada ou retangular mediante ao pressionamento de suas paredes, transformando-as em superfícies planas de cantos arredondados.

3.1.5. Perfis, tubos e barras calandrados

Determinadas soluções estruturais podem exigir o uso de elementos (perfis, tubos, barras) com raios de curvatura. Segundo Dias (1997), a operação de curvamento de perfis, denominada calandragem, pode se dar por processo a frio (passagem por cilindros deformadores) ou a quente (por indução de alta frequência). A curvatura pode ser dar segundo um ou dois eixos.

3.1.6. Componentes para ligações

Segundo o Instituto Aço Brasil (2011), as ligações em estruturas de aço são compostas pelos elementos de ligação e pelos meios de ligação. Os elementos de ligação são todos os componentes incluídos para permitir ou facilitar a transmissão de esforços: enrijecedores, chapas de ligação, placas de base, cantoneiras, consolos, talas de emenda, parte das peças ligadas envolvidas localmente. Os meios de ligação são os componentes que promovem a união entre as partes da estrutura para formar a ligação, principalmente soldas e parafusos. Também podem ser encontradas ligações através de outros fixadores mecânicos, como rebites, barras roscadas e pinos. Nas ligações entre peças de aço e de concreto, aparecem ainda outras soluções, como os conectores de cisalhamento e chumbadores

químicos e mecânicos. Trata-se destes componentes com maiores detalhes no item 3.3. Ligações.

3.2. Sistemas Estruturais em aço para edifícios

Uma estrutura é um conjunto de elementos construtivos concebidos para suportar esforços. Uma estrutura funciona como um sistema, constituído de partes interdependentes, que podem ser analisadas sobre diferentes graus de agregação. Assim, pode-se afirmar que uma estrutura é formada por um conjunto de subestruturas, que são formadas por um conjunto de elementos ou peças estruturais, que por sua vez são constituídos por diferentes componentes, que por sua vez são formados por diferentes materiais. As partes que constituem o sistema estrutural se relacionam por meio de vínculos ou ligações. A Figura 47 ilustra essa relação entre constituintes de um sistema estrutural.

ESTRUTURA → SUBESTRUTURAS → ELEMENTOS → COMPONENTES → MATERIAIS

Figura 47. Relação hierárquica entre constituintes de um sistema estrutural (Elaboração do próprio autor).

Trata-se neste item de aspectos construtivos dos diferentes sistemas estruturais que usualmente constituem edifícios estruturados em aço. Os vários componentes que podem constituir os elementos das estruturas de aço foram tratados no item 3.1. Componentes das estruturas de aço. As vinculações entre os elementos estruturais são tratadas em maiores detalhes no item 3.3. Ligações.

Os elementos estruturais podem ser classificados segundo suas dimensões em (DIAS, 1997):

- Blocos – possuem as três dimensões com valores da mesma ordem de grandeza.
- Folhas – possuem uma das dimensões com valor muito inferior ao das outras duas.
- Barras – possuem uma das dimensões com valor muito superior ao das outras duas. Podem ser sólidas ou de paredes delgadas.

Elementos estruturais podem ainda ser classificados segundo o modo de aplicação das cargas a que estão submetidos em (SILVA e PANONNI, 2010 e DIAS, 1997):

- Lajes ou placas: folhas sujeitas a forças que atuam perpendicularmente à face formada pelas duas maiores dimensões. Em edifícios de múltiplos andares em aço, podem ser compostas de diferentes maneiras, conforme detalhado no item 3.2.2.2. Sistemas de laje
- Chapas ou paredes estruturais: folhas sujeitas a forças que atuam paralelamente à face formada pelas duas maiores dimensões. Em edifícios de múltiplos andares em aço, costumam aparecer em sistemas estruturais híbridos, como os formados por núcleo central em concreto.
- Vigas: elementos estruturais sujeitos basicamente a esforços de flexão. Podem ser constituídas como vigas com perfis de alma cheia, vigas com perfis alveolares, vigas treliçadas (com diversas formas possíveis), vigas Vierendeel (formadas por quadros resistentes unidos entre si por meio de ligações rígidas), vigas vagonadas (compostas por barra no banzo superior, tirantes no inferior e montantes verticais) e vigas mistas. A Figura 48 mostra algumas soluções para constituição de vigas em aço.
- Pilares³⁴: elementos estruturais sujeitos basicamente a esforços axiais de compressão ou flexocompressão. Podem ser internos ou externos. Em edifícios de múltiplos andares em aço costumam ser constituídos por perfis metálicos I, H, tubulares, compostos ou mistos, mas dependendo da estrutura podem assumir configurações geométricas complexas (pétalas, cilíndricas, Vierendeel, cruciforme, em forma de braços, etc.).
- Tirantes: elementos estruturais sujeitos basicamente a esforços axiais de tração.

³⁴ Em inglês, *slabs*, *walls*, *beams* e *columns* para lajes, paredes, vigas e pilares, respectivamente.

Figura 48. Exemplos de vigas (adaptado de DIAS, 2004 e CABRAL et al., 2012).

Conforme mencionado anteriormente, um conjunto de elementos pode formar subestruturas. Em geral, edifícios estruturados em aço são concebidos como estruturas reticuladas, isto é, formadas por elementos estruturais na forma de barras. Segundo Silva e Pannoni (2010) e Dias (1997), as principais subestruturas formadas por barras são:

- Treliças³⁵ planas – subestrutura formada por barras coplanares articuladas entre si e submetidas apenas a cargas nodais (Figura 49a).
- Treliças tridimensionais – subestrutura formada por barras não coplanares articuladas entre si e submetidas apenas a cargas nodais (Figura 49b).
- Grelhas – estrutura formada por barras coplanares e submetida a cargas pertencentes a planos ortogonais ao da estrutura (Figura 49c).
- Pórticos³⁶ planos – subestrutura formada por barras coplanares e submetida a cargas pertencentes a esse mesmo plano (Figura 49d). Dependendo da forma como é constituído, os pórticos podem ser mais ou menos deslocáveis, isto é, seus nós podem sofrer maiores ou menores deslocamentos quando submetido a carregamento. Em geral, quando se deseja diminuir a deslocabilidade de um pórtico, pode-se pensar em algumas possibilidades:
 - Apoio direto no plano: liga-se o pórtico, no seu plano, a uma estrutura estável e relativamente indeslocável (Figura 50f). Este tipo de pórtico é denominado contraventado, e a estrutura que o apoia é denominada contraventamento.
 - Travamento no plano: acrescenta-se um ou mais elementos (travamentos) no plano do pórtico. Em geral, este travamento é constituído em X (Figura

³⁵ Em inglês, *trusses*.

³⁶ Em inglês, *frames*.

50a), Y (Figura 50b), K com barras à tração (Figura 50c) e K com barras à compressão (Figura 50d).

- Travamento fora do plano: liga-se o pórtico, por meio de travamentos pertencentes a um plano ortogonal a ele, a uma estrutura estável e relativamente indeslocável (Figuras 50e e 50g). Este tipo de pórtico também é denominado contraventado, e a estrutura que o apoia denominada contraventamento. Estes travamentos podem ser verticais ou horizontais.
- Modificações na constituição do próprio pórtico, como o uso de ligações mais rígidas entre as barras que o constituem, o uso de elementos mais robustos, o uso de elementos treliçados ao invés de barras, entre outros.
- Pórticos tridimensionais - subestrutura formada por barras em pórticos não coplanares (Figura 49e). A maioria das estruturas de edifícios estruturados em aço são pórticos tridimensionais.

Figura 49. Subestruturas formadas por barras (adaptado de SILVA e PANNONI, 2010 e DIAS, 1997).

Figura 50. Exemplos de pórticos com deslocabilidade restringida (SILVA e PANNONI, 2010).

A Figura 51 apresenta um esquema síntese sobre os elementos e subestruturas reticuladas comumente encontradas em estruturas de aço para edifícios.

Figura 51. Esquema síntese dos elementos e subestruturas reticuladas das estruturas de aço para edifícios (elaboração do próprio autor).

3.2.1. Sistemas estruturais

Segundo Bellei et al (2008), a escolha do sistema estrutural que vai dar sustentação ao edifício é determinante no que diz respeito aos aspectos de peso das estruturas, facilidade de fabricação, rapidez de montagem e custo final. Também possui fundamental importância na arquitetura do edifício.

Apresentam-se a seguir os principais sistemas estruturais utilizados para edifícios de múltiplos andares em aço³⁷. Os sistemas estruturais foram divididos em dois grupos, quer possuam ou não uma geometria em pórtico tridimensional, por ser este o principal tipo de sistema estrutural utilizado para edifícios em aço e, portanto, foco deste trabalho. Dentre os sistemas estruturais em pórtico tridimensional, a diferença entre um sistema e outro se dá por conta da forma com que a estrutura é contraventada, isto é, resiste a esforços horizontais. Não foram consideradas as estruturas em tecnologia *Light Steel Framing*, por considerá-las fora do escopo desta dissertação.

Estruturas em pórtico tridimensional:

- Contraventado por pórticos com travamentos: a estabilidade a esforços horizontais da estrutura é garantida por meio de uma ou mais sequências verticais de pórticos com travamentos, em geral locados nas periferias do edifício ou em paredes permanentes. Pode haver ainda sequências horizontais de pórticos com travamentos. O uso dos travamentos pode trazer problemas em termos de arquitetura, por dificultar aberturas em paredes que contenham o pórtico com travamento. Em geral utilizado para edifícios com até 60 andares.
- Contraventado por pórticos com nós rígidos: a estabilidade a esforços horizontais da estrutura é garantida por meio de uma ou mais sequências verticais de pórticos formados por barras ligadas rigidamente entre si. Pode haver ainda sequências horizontais de pórticos com nós rígidos. Em geral utilizado para edifícios com até 30 andares.
- Contraventado por travamentos e nós rígidos: sistema composto por uma combinação dos dois anteriores, sendo em geral cada um para um plano diferente da estrutura.
- Contraventado por núcleo rígido: a estabilidade a esforços horizontais da estrutura é garantida por meio de um núcleo rígido, de aço (pórticos com travamentos ou com nós rígidos ou estrutura tubular) ou em paredes de concreto, que resiste aos esforços horizontais. Em geral, locam-se os shafts,

³⁷ A concepção estrutural permite certa criatividade no estabelecimento de um sistema estrutural. Assim, pode haver diversas possibilidades para constituição de sistemas estruturais para edifícios em aço, não necessariamente contempladas neste texto. Aqui, buscou-se sistematizar as principais soluções comumente encontradas.

elevadores e caixas de escada dentro desse núcleo. Em geral, constitui uma alternativa interessante para edifícios com até 60 andares.

- Contraventado por paredes de concreto: a estabilidade da estrutura em pórtico tridimensional é garantida por meio de paredes de concreto (paredes de cisalhamento), sem a formação de um núcleo, sendo em geral locadas no perímetro do edifício.

Estruturas não compostas na forma de pórtico tridimensional:

- Trelças interpavimentos: sistema composto por um núcleo rígido no qual se conectam vigas trelçadas, de tal modo que os pisos se apoiam alternadamente no banzo superior ou inferior das mesmas.
- Pisos suspensos: sistema composto por um núcleo rígido e que emprega tirantes ao invés de pilares para suportar as cargas dos pisos. Os tirantes na periferia levam as cargas até vigas em balanço fixadas no topo do núcleo central, geralmente uma trelça.
- Vigas em balanço: sistema composto por um núcleo rígido, no qual se conectam vigas em balanço ou contínuas, que sustentam os pisos, permitindo que a área da periferia do prédio fique livre, sem colunas.
- Estruturas tubulares: sistema estrutural caracterizado pela disposição de seus elementos de forma a criar um tubo vertical em balanço, engastado na fundação³⁸. Em geral, são compostos por pilares pouco espaçados entre si e conectados rigidamente por vigas intermediárias, formando quadros rígidos (Vierendeel) ou por meio de sistema trelçado. Além disso, pode ser concebido de diferentes formas como, por exemplo, tubos enrijecidos por travamentos diagonais, tubo interno e externo ou sistema celular. Sistemas tubulares costumam ser utilizados para edifícios de grandes alturas (superiores a 60 andares).

As Figuras 52, 53 e 54 exemplificam alguns dos sistemas estruturais mencionados. A Figura 55 apresenta uma síntese dos sistemas estruturais usuais para edifícios em aço.

³⁸ Não se deve confundir com uma estrutura composta por perfis tubulares. Aqui, o sistema estrutural como um todo se comporta como um tubo engastado, independente do tipo de perfil que constitui seus elementos.

Figura 52. Estrutura contraventada por pórticos com travamentos em um sentido (A-A) e por pórticos com nós rígidos no outro (B-B) (BELLEI et al., 2008).

Figura 53. Exemplos de sistemas estruturais. Pórtico tridimensional com núcleo rígido em concreto (a); pórtico tridimensional com paredes periféricas em concreto; Pisos suspensos (c); Treliças interpavimentos (d) (adaptado de BELLEI et al., 2008 e ALLEN e IANO, 2009).

Figura 54. Exemplos de estruturas tubulares (FRUCHTENGARTEN, 19--).

Figura 55. Esquema síntese dos sistemas estruturais usuais para edifícios em aço (elaboração do próprio autor).

3.2.2. Estruturas de pisos

3.2.2.1. Vigamento principal e secundário

As estruturas de pisos podem ser compostas de laje e vigas ou somente laje. As vigas podem ser principais ou secundárias³⁹. As vigas principais são mais robustas, recebem esforços das vigas secundárias (ou diretamente das lajes, caso não haja vigas secundárias) e os transmitem aos pilares. As vigas secundárias podem ser menos robustas, recebem esforços apenas das lajes e os transmitem as vigas principais. Segundo Bellei et al (2008), a disposição do vigamento depende do sistema estrutural do edifício, e deve considerar a altura do pé-direito da construção, bem como a passagem de sistemas prediais.

3.2.2.2. Sistemas de laje

Existem diversos sistemas de laje comumente utilizados em edifícios estruturados em aço. Apresentam-se a seguir as principais soluções, de acordo com Dias (1997) e Lima e Souza (2010).

- Lajes de concreto moldadas *in loco*.

Possui como vantagem a simplicidade em proporcionar rigidez a estrutura, bem como a possibilidade de dimensionamento das vigas como sendo mistas. Como desvantagens, deve-se considerar a necessidade de formas e escoramentos e o baixo nível de industrialização desta solução.

- Lajes com elementos de concreto pré-moldados ou pré-fabricados.

³⁹ Em inglês, *girders* e *joists* para vigas principais e secundárias, respectivamente.

De maneira geral, possuem as vantagens inerentes da industrialização de métodos construtivos, a redução de peso próprio e a redução ou eliminação da necessidade de formas e escoramentos. Como desvantagem, em geral podem-se mencionar as dificuldades para consideração de comportamento misto aço-concreto e a necessidade de cuidado na consideração de rigidez ao projetar. Existem diversas soluções construtivas, a saber:

- Laje com vigotas treliçadas de concreto, enchimento com material inerte e capa de concreto executada *in loco*. O material de enchimento pode ser concreto, concreto celular, isopor ou blocos cerâmicos. As Figuras 56 e 57 ilustram essa solução.

Figura 56. Laje com vigotas treliçadas de concreto (DIAS, 1997).

Figura 57. Laje com vigotas maciças de concreto (DIAS, 1997).

- Lajes de painéis de concreto celular autoclavado. É um sistema composto de material de baixa densidade, possibilitando fácil manuseio e aplicação na obra, sem a necessidade de escoramentos ou fôrmas. Ao final, os painéis precisam receber um recobrimento de argamassa para maior solidarização e preenchimento das juntas, podendo servir também como contrapiso. A Figura 58 ilustra essa solução.

Figura 58. Laje com painéis de concreto celular (DIAS, 1997).

- Lajes de painéis alveolares de concreto protendido. Os painéis de concreto são protendidos por pré-tensão, e possuem vazios ou alvéolos responsáveis pela redução do peso, facilitando a aplicação na obra e sem a necessidade de escoramentos ou fôrmas. Ao final, esses painéis também necessitam receber um recobrimento de argamassa para maior solidarização e preenchimento das juntas, podendo servir também como contrapiso. A Figura 59 ilustra essa solução.

Figura 59. Laje de painéis alveolares de concreto protendido (DIAS, 1997).

- Pré-lajes de concreto. São constituídas por placas de concreto armado, protendido ou treliçado. Requer a execução de capa de concreto moldado *in loco*. As Figuras 60 e 61 ilustram essa solução.

Figura 60. Pré-laje com painéis de concreto treliçados (DIAS, 1997).

Figura 61. Pré-laje com painéis de concreto protendido (DIAS, 1997).

- Lajes com placas pré-fabricadas de argamassa armada. A Figura 62 ilustra essa solução.

Figura 62. Laje com placas pré-fabricadas de argamassa armada (DIAS, 1997).

- Lajes com chapas de madeira
 - Lajes com chapas de madeira prensada OSB.
 - Lajes de madeira maciça, laminada ou sarrafeada revestida com placas cimentícias.
- Lajes mistas (forma de aço incorporada/ pisos mistos de pequena altura). A serem mais bem detalhados no item 3.2.3. Estruturas híbridas e mistas.

A Figura 63 apresenta uma síntese dos sistemas estruturais usuais para pisos de edifícios em aço.

Figura 63. Esquema síntese dos sistemas estruturais usuais para pisos de edifícios em aço (elaboração do próprio autor).

3.2.3. Estruturas híbridas e mistas

Estruturas híbridas aço-concreto são aquelas constituídas por elementos estruturais distintos compostos por materiais diferentes (aço ou concreto), que resistem aos

esforços solicitantes separadamente, e transmitem estes esforços entre si por meio de ligações. Por exemplo, pode-se ter uma estrutura híbrida constituída de vigas de concreto pré-moldado, pilares de aço e lajes em concreto moldado *in loco* ou um edifício com estrutura de aço e núcleo rígido em concreto.

Estruturas mistas aço-concreto, por sua vez, são àquelas na qual um mesmo elemento estrutural é composto por aço e concreto, solidarizados, de forma a resistir conjuntamente aos esforços solicitantes e tirar partido das propriedades mecânicas de cada material. Pode-se ter um pilar misto, viga mista, laje mista ou ligação mista.

Dentre as vantagens no uso de estruturas mistas, destaca-se, em relação às estruturas em concreto armado: a possibilidade de dispensa de formas e escoramentos, a redução no prazo de execução da obra, a redução no peso próprio e no volume da estrutura, com conseqüente redução das cargas nas fundações e o aumento da precisão dimensional da construção. Em relação às estruturas em aço, pode-se citar: a redução no consumo de aço estrutural, das proteções contra incêndio e corrosão e o aumento da rigidez da estrutura (QUEIROZ et al., 2012).

Apresentam-se a seguir aspectos construtivos referentes a estes elementos. Especificamente as ligações mistas, serão tratadas no item 3.3. Ligações.

- Vigas mistas

O modelo mais comum de viga mista é aquele composto por um perfil I conectado a uma laje de concreto ou mista de forma que um trecho da laje pode ser considerado colaborante à viga (Figura 64a). Existem, no entanto, outras soluções, como as vigas parcialmente revestidas (Figura 64b), revestidas (Figura 64e), preenchidas (Figura 64c) e as vigas treliçadas mistas (Figura 64d).

Figura 64. Exemplos de vigas mistas (adaptado de NARDIN et al., 2005).

- Pilares mistos

Segundo Nardin et al. (2005), o concreto associado ao aço compondo elementos mistos surgiu como uma alternativa simples e pouco onerosa de proteção contra o fogo e a corrosão e, até então, sem função estrutural. A partir desta ideia, surgiram os primeiros pilares mistos que, desde então, evoluíram e hoje apresentam várias configurações, diferindo entre si em termos da posição que o concreto ocupa na seção transversal. Assim, têm-se os pilares parcialmente revestidos (concreto apenas entre as mesas), revestidos e preenchidos. A Figura 65 ilustra algumas destas soluções.

Figura 65. Exemplos de pilares mistos (SILVA e PANONNI, 2010).

- Lajes mistas

- Lajes em sistema com forma de aço incorporada

Lajes em sistema com forma de aço incorporada⁴⁰ são aquelas cuja armadura inferior para resistir aos esforços de tração é substituída por um perfil de aço especial, que passa a exercer simultaneamente a função de armadura e fôrma para o concreto, ficando incorporado após a concretagem. O uso desse sistema dispensa o uso de escoramentos e formas de madeira, elimina a etapa de desforma, reduz significativamente as etapas de corte, dobramento e montagem de armadura, confere rapidez à montagem da laje e proporciona maior limpeza no processo como um todo.

Pode ser necessária a colocação de armadura na parte superior da laje, junto a pontos de apoio, visando evitar o aparecimento de fissuras. Também é usual colocar telas de aço na face superior da laje, de forma a evitar fissuras por retração e variação térmica. A forma incorporada propriamente dita é perfilada a partir de chapas de aço galvanizado. A espessura da capa de concreto costuma variar de 6,5 a 15 cm acima das cristas da forma (DIAS, 2004). Os mecanismos de aderência entre a forma e o concreto como, por exemplo, o uso de conectores de cisalhamento, serão tratados no item 3.3. Ligações. A Figura 66 ilustra o sistema.

Figura 66. Sistema de laje com forma de aço incorporada (NARDIN et al., 2005).

➤ Pisos mistos de pequena altura

Segundo Nardin et al. (2005), a nomenclatura “pisos mistos de pequena altura” é utilizada para descrever um tipo de sistema estrutural misto no qual as vigas são embutidas na altura da laje de concreto. Estes pisos mistos são em geral formados

⁴⁰ No mercado brasileiro, destaca-se atualmente o sistema da empresa Codeme, que recebe nome comercial de sistema *Steel Deck*.

por vigas I de abas desiguais e lajes de concreto ou mistas, apoiadas sobre a mesa inferior da viga. Alternativamente, podem-se utilizar outros tipos de viga de aço, desde que a mesa inferior permita o apoio da laje. A Figura 67 ilustra as vigas denominadas *Integrated Floor Beams* (IFB) e *Slim Floor Beams* (SFB), comercializadas pela empresa Arcelor Mittal, para uso em sistemas de piso misto de pequenas alturas. A Figura 68 mostra uma viga CoSFB (*Composite SFB*), também produto da Arcelor Mittal, que consistem em perfis tipo SFB com barras de reforço presas em buracos perfurados na alma do perfil, de modo a maximizar a solidarização entre aço e concreto. A Figura 69 mostra um desenho esquemático do sistema, utilizando-se de painéis de concreto alveolar como laje.

Figura 67. Perfis soldados do tipo IFB (a) e SFB (b) (adaptado de ARCELOR MITTAL, 2014).

Figura 68. Viga tipo CoSFB (adaptado de ARCELOR MITTAL, 2014).

Figura 69. Sistema de piso misto de pequena altura (adaptado de ARCELOR MITTAL, 2014).

3.2.4. Juntas de dilatação

Por conta do efeito térmico na estrutura do edifício, se faz necessário a previsão de juntas de dilatação. A distância entre juntas é de difícil avaliação, mas fundamental no desempenho da estrutura do edifício. Segundo Bellei et al. (2008), pode-se considerar uma distância entre 32 m e 138 m para edifícios retangulares de rigidez simétrica e entre 16 m e 69 m para outros tipos de edificações, dependendo de condições como o sistema de refrigeração e a rigidez da estrutura. Em termos construtivos, o tipo de junta mais efetivo é uma linha dupla de colunas, garantindo separação completa. No entanto, outros tipos de junta podem ser utilizados, mas devendo-se considerar que, por mais flexível que seja o material utilizado, serão induzidas pequenas restrições de movimento (BELLEI et al., 2008). A Figura 70 indica detalhes de juntas de dilatação para estruturas de aço.

Figura 70. Exemplos de soluções construtivas para vigas de dilatação. (BELLEI et al., 2008)

3.3. Ligações

Segundo o Instituto Aço Brasil (2011), o termo ligação é aplicado a todos os detalhes construtivos que promovam a união de partes da estrutura entre si ou a sua união com elementos externos a ela (fundações, por exemplo). Conforme tratado no item 3.1.6. Componentes para ligações, as ligações são compostas pelos elementos de ligação e pelos meios de ligação.

Segundo Dias (1997), o tipo de conexão deve ser escolhido levando-se em conta o comportamento da conexão (rígida/ flexível, por contato/ atrito, etc.), limitações construtivas, facilidade de fabricação (acesso para soldagem, uso de equipamentos automáticos, padronização de detalhes) e montagem (acesso para parafusamento,

suportes provisórios, simplicidade, repetição). Além destes aspectos técnicos, o custo também representa um fator importante na definição das ligações.

De maneira geral, os pontos de união mais usados em edifícios de múltiplos pavimentos são: viga-viga, viga-pilar, pilar-pilar e pilar-fundação (BELLEI et al., 2008). No caso de estruturas híbridas ou mistas, devem-se considerar também outras ligações aço-concreto. Atualmente as duas maneiras mais utilizadas para executar essas ligações são por meio de soldas e parafusos.

3.3.1. Ligações Soldadas

Trata-se da união de componentes metálicos por meio da fusão de eletrodos metálicos, devido à alta temperatura produzida pela passagem de corrente elétrica e formação de um arco voltaico. Devido à alta temperatura, processa-se também a fusão parcial dos componentes a serem ligados (poça de fusão/ solda), de forma que, após o resfriamento, metal base e metal do eletrodo passam a constituir um corpo único, conservando a continuidade do material e suas propriedades mecânicas e químicas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011).

Segundo Bellei et al (2008), as principais vantagens do uso de ligações soldadas são: a economia de material, pois o uso de solda permite o aproveitamento total da capacidade resistente dos elementos, eliminando grande parte das chapas de ligação e reforços que seriam utilizados em ligações parafusadas; facilidade de se realizar modificações nos desenhos das peças e de se corrigir erros durante a montagem a um custo menor do que as parafusadas; uso de uma quantidade menor de peças e, conseqüentemente, menor tempo de detalhe e fabricação. Como desvantagens, o autor cita: a redução de comprimento em soldas de grande extensão por conta da retração; energia elétrica insuficiente no local da montagem, que pode requerer geradores para acionar as máquinas de solda; pior comportamento à fadiga; maior tempo de montagem.

Em se tratando da execução de ligações soldadas, uma das mais importantes referências normativas é o Structural Welding Code da American Welding Society

(AWS). O Quadro 9 mostra as principais normas AWS aplicáveis na execução de ligações soldadas para estruturas de aço.

Quadro 9. Principais normas da AWS aplicáveis na execução de ligações soldadas para estruturas de aço (elaboração do próprio autor).

Norma	Título
AWS A02.4	Standard symbols for welding, brazing, and non-destructive examination
AWS A03.0	Standard welding terms and definitions
AWS A05.1	Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding
AWS A05.18	Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding
AWS B01.10	Guide for the nondestructive examination of welds
AWS B02.1	Specification for Welding Procedure and Performance Qualification
AWS D01.1 - 9	Structural welding (diversos)

As soldas podem ser classificadas segundo sua posição em relação ao soldador, tipo e processo de execução.

Com referência a posição, as soldas podem ser: planas, horizontais, verticais e sobre cabeça. A dificuldade da soldagem e, conseqüentemente, a qualidade da solda, são relacionadas à posição de soldagem. O movimento lateral a ser feito com o eletrodo durante a soldagem também está associado a esta posição. Quanto ao tipo, as soldas podem ser: de filete, de entalhe (penetração total ou parcial) e de tampão. A Figura 71 ilustra as possibilidades de solda em termos de posição e tipo.

Figura 71. Posições para soldagem (DIAS, 1997) e tipos de solda (MARGARIDO, 20--).

Existem ainda diversos processos de soldagem. O fabricante de estruturas de aço pode usar o processo que julgue mais apropriado, mas em geral para estruturas de aço são utilizados o processo manual, quando em obra, e o processo a arco submerso ou em atmosfera gasosa, quando em fábrica. Apresenta-se a seguir uma

breve descrição destes processos com base em Instituto Aço Brasil (2011), Silva e Pannoni (2010), Dias (1997) e Pinho (2005).

- Processo manual com eletrodo revestido (SMAW = Shielded Metal Arc Welding);

Processo constituído de um eletrodo de alma de aço e revestimento não metálico, que ao fundir deposita-se sobre o metal base. A decomposição do revestimento gera gases (que protegem o processo da ação atmosférica) e escória (que migra para a superfície devido a sua menor densidade). É o processo mais simples e flexível, sendo bastante utilizado para ligações executadas em campo, mas são mais lentos do que os demais processos e requerem maior treinamento dos soldadores. Dentre as ferramentas necessárias para sua realização, destaca-se a máquina de solda (fonte de energia e transformador ou inversor ou retificador de corrente⁴¹), o porta-eletrodo, o grampo terra, o cabo de solda (ligação da fonte ao porta-eletrodo e do grampo terra à fonte), o martelo picador e a escova de aço (limpeza, remoção de escória e respingos). Os tipos de revestimentos mais comuns são o celulósico, o rutilico (TiO_2) e o básico. Dependendo do tipo de eletrodo, é preciso tomar cuidado com a presença de umidade, utilizando-se de estufas para sua ressecagem e armazenamento.

- Processo a arco submerso (SAW = Submerged Arc Welding);

Realizado por meio de um equipamento composto de um arame de aço nu associado a um dispositivo insuflador de material mineral granular denominado “fluxo”, que recobre a ponta do arame, o arco elétrico e a peça de trabalho, servindo de proteção ao processo. Parte do fluxo se funde, servindo para constituição da escória e recobrindo a superfície da solda, protegendo-a. Após a soldagem parte do fluxo é recuperado. Comumente utilizado em fábrica, para soldas planas e em processo total ou parcialmente automatizado, de alta produtividade. Não gera fagulhas, respingos e fumos.

⁴¹ Máquinas de solda possuem um fator de trabalho, que indica o período de tempo no qual uma máquina pode fornecer sua corrente de soldagem máxima, sem que a temperatura dos componentes internos ultrapasse determinado limite, devendo ser seguida de certo período de descanso. Um fator de 40% significa um período de 4 minutos de trabalho seguido de 6 minutos de pausa.

- Processo de soldagem em atmosfera gasosa (GMAW = Gas Metal Arc Welding), em especial os processos MIG (Metal Inert Gas) e MAG (Metal Active Gas)

Processo constituído de um eletrodo nu (arame de aço) alimentado com uma velocidade constante a partir do aperto de um gatilho. A proteção do arco e da poça de solda fundida se dá através de um gás alimentado externamente, que pode ser inerte (MIG), ativo (MAG/ promovendo alterações químicas ou metalúrgicas no metal de solda) ou uma mistura destes. É um processo com alta velocidade de soldagem, com mínima geração de respingos e fumos, muito utilizado para a soldagem de chapas finas. Em geral usado em fábrica (proteção gasosa complicada de trabalhar em ambiente aberto e sujeito a ventos).

- Processo por arame tubular (FCAW = Flux-Cored Arc Welding)

Este processo utiliza-se de um eletrodo tubular contínuo preenchido internamente por fluxo. A proteção do arco pode ser proporcionada apenas pelo fluxo interno ou por uma combinação desse com um gás de proteção. O processo pode ser automático ou semiautomático. No caso de arames protegidos apenas pelo fluxo interno, podem ser utilizados sob ventos moderados, o que permite seu uso no processo de montagem, com a vantagem de ser um processo de maior produtividade quando comparado ao eletrodo revestido (arame é contínuo e processo desenvolve maiores amperagens, o que aumenta a taxa de deposição).

Existem ainda outros processos, dos quais cabe mencionar o processo por eletrossoldagem e por arco gasoso com tungstênio (TIG = Tungsten Inert Gas). Entretanto, um maior desenvolvimento de cada um destes processos fugiria ao escopo deste trabalho. A Figura 72 ilustra os processos SMAW, GMAW e SAW.

Figura 72. Representação esquemática dos processos de soldagem SMAW, GMAW e SAW. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011)

Dependendo do processo empregado, varia a espessura máxima do cordão de solda e a possibilidade de serem realizados diferentes passes de solda para constituir espessuras maiores. Em geral, cada passe possui cerca de 3 mm de espessura por 6 mm de largura.

A especificação dos eletrodos para soldagem, bem como de outros materiais envolvidos nos diferentes processos (revestimento, gás de proteção, fluxo) é feito visando sua influência nas propriedades mecânicas⁴² e químicas do metal de solda. As normas AWS A05 indicam as designações alfanuméricas empregadas na especificação de eletrodos, para os diferentes processos de soldagem e tipos de aço⁴³.

As juntas entre as peças a serem soldadas também podem ser classificadas como sendo de topo, sobrepostas, em T (ou em ângulo) ou de quina. Todos os tipos de junta podem ser ou não chanfrados (as juntas chanfradas conseguem melhor penetração da solda). Existem ainda diferentes tipos de chanfro (V, $\frac{1}{2}V$, duplo V ou X, K, J, duplo J, U, duplo U), a serem especificados dependendo do processo de soldagem, espessura da peça, esforços, etc. A Figura 73 indica os diferentes tipos de junta. A Figura 74 mostra diferentes formatos de chanfro.

⁴² A resistência a tração do aço de solda varia numa faixa de 415 a 485 MPa para eletrodos de aço carbono e de 485 a 830 MPa para eletrodos de aço de alta resistência e baixa liga.

⁴³ Por exemplo, a especificação de um eletrodo de aço-carbono para soldagem manual segue a denominação E XX Y Z, onde E representa “eletrodo”, XX indica a resistência à tração em ksi, Y indica a posição de soldagem e Z indica o grau de utilização do eletrodo. Assim, pode-se ter, por exemplo, um eletrodo E6027. A consulta à norma permite compreender quais as características associadas ao uso deste tipo específico de eletrodo. Para outros processos de soldagem e outros tipos de aço, a forma de designação alfanumérica também se altera.

Figura 73. Tipos de junta. (SENAI, 1998)

Figura 74. Tipos de chanfro. (SENAI, 1998)

Outro aspecto importante com relação às ligações soldadas é sua simbologia de representação em projeto. Esta simbologia é estabelecida pela norma AWS A02, e consiste, simplificada, no uso de símbolos padronizados indicativos da localização da solda, detalhes do chanfro, entre outras informações para a correta execução da solda. Segundo o Instituto Aço Brasil (2011), um símbolo completo consiste dos seguintes elementos: linha horizontal de referência, seta, símbolo básico da solda, dimensões em mm, símbolos suplementares e de acabamento, cauda e especificação do procedimento, processo ou outra referência. A Figura 75 mostra alguns símbolos básicos de solda. A Figura 76 76 mostra um exemplo de indicação de ligação soldada em projeto.

Rebordo	Filete	Tampão	Ranhura ou Chanfro						Filetes convexos	
			Reto	V	Meio V	U	J		Duplo	Simples

LADO OPOSTO A SETA
LADO DA SETA

Figura 75. Simbologia básica para indicação de soldas. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011)

Significado	Representação em projeto

Figura 76. Exemplo de indicação de solda em projeto. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011)

Diversos problemas de qualidade podem ocorrer na execução de ligações soldadas, comprometendo sua segurança estrutural, durabilidade ou aspecto estético. Pode-se destacar como principais descontinuidades comumente encontradas (SANCHES, 2010 e NOVAIS, 2010):

- Distorções e/ou tensões residuais: mudança de forma da peça devido à deformações térmicas do material durante a soldagem ou no resfriamento da solda.
- Preparo incorreto da junta: falha na produção de chanfro com as dimensões ou forma adequadas ou falha no alinhamento de juntas de topo.
- Dimensão incorreta da solda: trata-se das variações no perfil do cordão de solda, que pode ter por consequência a concentração de tensões, com o aparecimento de trincas, ou facilitar o aprisionamento de escória.
- Falta de fusão ou penetração: descontinuidade caracterizada pela falta de fusão localizada/ falta de continuidade entre o metal base e a solda ou entre dois cordões de solda. Costuma aparecer na raiz da solda, na lateral do chanfro ou entre cordões na soldagem com múltiplos passes. Costuma ser causada por velocidade de soldagem muito alta, corrente de soldagem muito baixa, abertura excessiva da junta, bitola inadequada do eletrodo, espessura muito elevada da peça a ser soldada, ângulo ou movimento do eletrodo inadequados ou distância excessiva entre eletrodo e a peça.

- Excesso de respingos: partículas metálicas expelidas durante a soldagem por fusão e que não fazem parte da solda. Podem ficar aderidas nas adjacências da solda ou não. Costuma ser causada por corrente muito elevada da máquina de solda, distância excessiva entre eletrodo e a peça, sopro magnético (desvio do arco elétrico sem o movimento do eletrodo), peça suja, com ferrugem ou úmida ou uso de eletrodo úmido.
- Mordeduras: é a fusão da superfície da chapa do metal de base próxima a margem do cordão de solda. Costuma ser causada por corrente de soldagem muito alta, velocidade de soldagem muito alta, bitola do eletrodo muito grande para o chanfro, ângulo do eletrodo ou movimento de eletrodo inadequado, distância muito alta do eletrodo para a peça ou uso de eletrodo úmido.
- Trincas: consideradas as descontinuidades mais graves em soldagem, por serem fortes concentradoras de tensão, podendo favorecer a fratura da solda. Podem ser causadas pelo fechamento muito rápido do arco elétrico ao final da soldagem (trinca de cratera), metal base de má soldabilidade, resfriamento muito rápido, tensões residuais nos conjuntos soldados, peça muito espessa ou junta muito rígida, cordão de solda muito côncavo ou muito convexo ou uso de eletrodo úmido.
- Inclusão de escória: ocorre pela não separação adequada da escória formada no processo de soldagem, que fica misturada ao metal de solda ou aderida entre passes subsequentes. Pode ser causada pela limpeza inadequada entre dois passes de solda ou na troca de eletrodo, ângulo do eletrodo ou movimento inadequado, bitola do eletrodo muito grossa ou chanfro muito apertado, de forma a não permitir que a escória se destaque com facilidade.
- Porosidade: espaço vazio formado pelo aprisionamento de gás durante a solidificação da solda. Pode ser causada pela peça base estar suja, enferrujada ou úmida, pelo uso de corrente de soldagem incorreta, velocidade de soldagem muito alta, distância muito alta entre eletrodo e peça ou uso de eletrodo úmido.

Cabe ressaltar também a importância do material de solda ser compatível com o metal-base, para evitar a corrosão galvânica. A Figura 77 ilustra os principais tipos de descontinuidades em ligações soldadas.

Figura 77. Principais descontinuidades em ligações soldadas (adaptado de SANCHES, 2010).

Para verificar a ocorrência destes problemas, isto é, controlar a qualidade das soldas, podem ser utilizados métodos não-destrutivos (SILVA E PANNONI, 2010 e CBCA, 2011):

- Verificação de defeitos superficiais
 - Inspeção visual: verificação de defeitos superficiais grosseiros (trincas superficiais, excessos e faltas de solda, imperfeições) por meio da averiguação visual executada por profissional habilitado.

- Líquido penetrante: consiste na aplicação local de um líquido de cor avermelhada, que penetra em possíveis fissuras, trincas, porosidades e mordeduras na solda. Após a limpeza e aplicação de pó revelador, os defeitos são ressaltados. Deve-se tomar cuidado com ondulações de soldas reentrantes e ranhuras, que podem dar falsas indicações.
- Magnetização (magnaflux): consiste no espalhamento de partículas magnéticas sobre a região soldada, as quais, por magnetização, se dispõem de tal forma a indicar os defeitos superficiais.
- Verificação de defeitos internos
 - Ultrassom: inspeção do interior da solda por meio da emissão e recepção de ondas sonoras. Detecta defeitos internos como porosidade, escória, vazios, fissuras, irregularidades e falta de fusão.
 - Controle radiográfico: inspeção do interior das solda por meio de raio-X, também utilizado para detecção de defeitos internos, mas de custo mais elevado que o ultrassom.

No caso de estruturas de aço para edifícios, os métodos mais comumente utilizados são o líquido penetrante e o ultrassom (BELLEI et al., 2008).

3.3.2. Ligações Parafusadas

As ligações parafusadas são compostas de parafusos, porcas e arruelas, instalados através de furos executados nas peças a serem ligadas. Segundo Dias (1997), os parafusos são formados por três partes - cabeça, fuste e rosca - sendo identificados pelo seu diâmetro nominal (do fuste), mas com sua resistência à tração em função do diâmetro efetivo (da rosca), sendo a área efetiva cerca de 75% da área nominal. Por conta da necessidade de aperto nos parafusos, os aços empregados na sua fabricação não possuem patamar de escoamento. Os parafusos dividem-se em parafusos comuns e parafusos de alta resistência.

Os parafusos comuns ou de baixo carbono têm baixa resistência mecânica, sendo em geral especificados pela norma ASTM A307, com 41,5 kN/m² (415 Mpa) de resistência à ruptura por tração. Quando utilizados em estruturas de aço, estes

parafusos costumam apresentar cabeça e porca sextavada, com rosca parcial ou ao longo de todo o corpo do parafuso. São utilizados apenas em peças secundárias, como guarda-corpos, corrimãos, terças e elementos pouco solicitados. A instalação desse tipo de parafuso é feita com chave manual comum, sem especificação de torque de montagem, de forma que se permite o deslizamento entre as partes conectadas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011).

Os parafusos de alta resistência costumam ser fabricados segundo as normas ASTM A325 ou ASTM A490, e são empregados nas ligações de maior responsabilidade. Pela ASTM A325, os parafusos devem possuir resistência à ruptura de 825 MPa para diâmetros inferiores ou iguais a 25,4 mm e 725 MPa para diâmetros maiores. Pela ASTM A490 a mínima resistência à ruptura deve ser de 1.035 MPa. Esse tipo de parafuso deve ser instalado com controle de protensão (proveniente do torque). Este controle pode se dar, após o aperto inicial com chave comum, via controle de força através do uso de torquímetro/ chave pneumática calibrados, via controle de deformação (rotação da porca) através do uso de chaves de braço longo, via utilização de parafuso com controle de torque ou via uso de arruelas com protuberâncias que forneçam indicação direta de tração (BELLEI et al., 2008). O controle de aperto proporciona maior rigidez à ligação, impedindo a movimentação das partes conectadas.

Segundo Dias (1997), as conexões parafusadas podem ser classificadas pela forma de transmissão dos esforços aos parafusos, apresentando três possibilidades: ligação à tração, ligação à força cortante e ligação sujeita a esforços combinados de tração e força cortante. As ligações à força cortante dividem-se em ligações por atrito (no qual não ocorre o contato entre as peças e o parafuso) e ligações por contato (no qual ocorre). A Figura 78 mostra exemplos destes tipos de ligação. A instalação destes diferentes tipos de conexões parafusadas é feita pelo mesmo processo, diferindo apenas para efeito de dimensionamento (BELLEI et al., 2008).

Figura 78. Exemplos de ligações parafusadas à tração e à força cortante (SILVA e PANNONI, 2010).

Segundo Bellei et al. (2008), as principais vantagens do uso de ligações parafusadas são: rapidez na fabricação das peças e nas ligações de campo; economia de consumo de energia, podendo ser utilizadas em locais com pouca disponibilidade energética; uso de menor quantidade de mão de obra e de menor qualificação; melhor resposta às tensões de fadiga. Dentre as desvantagens, pode-se mencionar: verificação de áreas líquidas e esmagamento de peças, que muitas vezes exigem reforços (gasto de material); necessidade de previsão antecipada para evitar falta de parafusos na obra; necessidade, em alguns casos, de se realizar pré-montagem de fábrica para o casamento perfeito dos furos; maior dificuldade para modificações e correções durante a montagem.

É importante ainda diferenciarmos os diferentes tipos de fixadores mecânicos existentes no mercado, nem todos sendo usualmente utilizados na montagem de estruturas de aço. A Figura 79 mostra os parafusos roscados, os mais usuais na execução de ligações em aço, e exemplos de outros elementos como os parafusos auto brocantes⁴⁴, parafusos auto atarraxantes⁴⁵, barras roscadas, rebites⁴⁶, studs e pinos de aço.

⁴⁴ Parafuso com uma broca na ponta, que realiza o trabalho de furar o material, dispensando a execução de um pré-furo.

⁴⁵ Parafuso com rosca fina e cortante, que permite melhor ancoragem ao substrato, dispensando o uso de porca na extremidade.

⁴⁶ Os rebites já foram muito utilizados para ligações em estruturas de aço, mas deixaram de ser usados atualmente por conta da necessidade de mão de obra especializada, instalação lenta, pequena capacidade resistente e grande variabilidade e dificuldade para inspeção (DIAS, 1997).

Figura 79. Exemplos de elementos conectores em aço (elaboração do próprio autor com base nos catálogos de fabricantes CISER, 2014, WALSYWA, 2014 e ANCORA, 2014).

3.3.3 Ligações com combinação de soldas e parafusos

Segundo Bellei et al. (2008), esta solução pode ser interessante para ligações engastadas, de forma a se adotar ligação parafusada na alma para combater o cisalhamento e dar boa estabilidade durante a montagem e solda nas mesas para combater o momento. Também se pode pensar em soluções combinadas para chapas e cantoneiras de ligação (por exemplo, estas peças podem vir soldadas de fábrica na peça a ser ligada e parafusadas no elemento suporte em campo). Dentre as vantagens, destacam-se: rapidez na montagem de campo, por permitir que se faça primeiro a parte parafusada e em seguida a solda com maior segurança; menor custo da solda, que é utilizada apenas nas mesas. Como desvantagens, menciona-se a necessidade de maior preparação das peças na fabricação, pois parte deve ser preparada para solda de campo e parte deve sair com furo.

3.3.4. Ligações Flexíveis e Rígidas

A concepção estrutural do edifício deve prever se as ligações entre os elementos constituintes da estrutura devem ser rígidas ou flexíveis. Em teoria, ligação rígida ou engastada é aquela que transmite esforços de momento fletor, normal e cortante, e na qual não ocorre rotação relativa entre as peças conectadas. Já uma ligação flexível ou articulada seria aquela que transmite apenas esforços de normal e cortante, permitindo a rotação relativa entre as peças conectadas. Entretanto, na realidade não existem ligações totalmente rígidas ou totalmente flexíveis, e sim

ligações que variam para um maior ou menor grau de rigidez, dependendo da maneira que são constituídas, da rigidez de seus elementos e dos materiais que são empregados. A Figura 80 mostra um gráfico que ilustra a diferença entre uma ligação flexível e uma ligação rígida, em termos do comportamento momento x rotação.

Figura 80. Comportamento rotação x momento de ligações rígidas e flexíveis (SILVA e PANONNI, 2010).

Ligações rígidas e flexíveis podem ser concebidas utilizando-se tanto parafusos quanto solda, ou combinações destes. Em geral, pode ser interessante realizar a maior quantidade possível de soldas em fábrica, por conta do maior controle de qualidade, e deixar as ligações parafusadas para obra. Apresentam-se a seguir um levantamento de soluções rígidas e flexíveis comumente utilizadas para ligações entre elementos metálicos de estruturas de edifícios, com base nos trabalhos de Bellei et al. (2008), Instituto Aço Brasil (2011), Silva e Panonni (2010), Dias (1997) e Filho e Silva (2005).

- Ligação Viga-Viga: em geral utilizam-se ligações flexíveis e a viga suporte recebe a ligação da outra viga em sua alma. No caso de interferência entre as mesas das vigas, existe a possibilidade de corte da mesa da viga suporte.
- Ligação Viga-Pilar: são comumente encontradas ligações flexíveis e rígidas. O pilar pode receber a ligação da viga em sua alma (direção de menor inércia) ou em sua mesa (maior inércia). No caso de interferência entre as mesas da viga e do pilar, existe a possibilidade de corte da mesa da viga no caso de ligação flexível. Caso a ligação seja rígida, pode-se pensar em uma solução de deslocar a ligação para fora do pilar por meio de chapas de ligação (SILVA e PANONNI, 2010). Ainda em se tratando das ligações

rígidas, em geral instalam-se nervuras internas no pilar no sentido de continuidade das mesas da viga, de forma a conferir maior enrijecimento à ligação.

Soluções para ligações flexíveis comumente utilizadas nestes casos:

1. Ligação com cantoneiras na alma da peça ligada
 - a. Parafusadas nas duas peças;
 - b. Soldada na peça a ser ligada e parafusada no elemento suporte⁴⁷;
 - c. Soldada nas duas peças;
2. Ligação com cantoneiras/ perfil T nas mesas da peça ligada
 - a. Parafusadas nas duas peças;
 - b. Soldada na peça a ser ligada e parafusada no elemento suporte;
 - c. Soldada nas duas peças⁴⁸;
3. Ligação com soldagem direta da alma da peça ligada
4. Ligação com chapa de extremidade
 - a. Soldada na peça suporte e soldada na peça a ser ligada;
 - b. Parafusada na peça suporte e soldada na peça a ser ligada;
5. Ligação com chapa de alma
 - a. Soldada na peça a ser ligada e soldada na peça suporte;
 - b. Parafusada na peça a ser ligada e soldada na peça suporte;

Figura 81. Soluções de ligações flexíveis viga-viga e viga-pilar (adaptado de DIAS, 1997, SILVA e PANONNI, 2010 e BELLEI et al., 2008).

⁴⁷ Esta solução é interessante pois permite que a cantoneira já venha soldada de fábrica (onde o processo é feito com maior controle de qualidade), sendo apenas acoplada por parafusamento ao elemento suporte, ganhando agilidade em campo. Deixar a cantoneira previamente soldada ou parafusada na peça suporte pode dificultar a execução da ligação. Parafusar na peça ligada e soldar no suporte também parece não ser uma solução vantajosa.

⁴⁸ Sendo solda horizontal na cantoneira de cima (para permitir a rotação) e vertical na de baixo (para minimizar a transmissão de esforços transversais).

Soluções para ligações rígidas comumente utilizadas nestes casos:

1. Ligação com soldagem direta da alma e mesas da peça ligada
2. Ligação com chapas de extremidade
 - a. Soldada na peça suporte e soldada na peça a ser ligada;
 - b. Parafusada na peça suporte e soldada na peça a ser ligada;
3. Ligação com chapas de alma e mesas
 - a. Soldada na peça a ser ligada e soldada na peça suporte;
 - b. Parafusada na peça a ser ligada e soldada na peça suporte;

Figura 82. Soluções para ligações rígidas viga-pilar (adaptado de SILVA e PANONNI, 2010).

- Ligação pilar-pilar: também chamada emenda de pilar, em geral constituídas como ligações rígidas. Podem-se dar:
 - Por contato direto entre as superfícies dos perfis, com reforço de chapas e cantoneiras soldadas ou parafusadas.
 - Sem contato direto, através de uma chapa transversal de contato entre os perfis, que são a ela soldados ou parafusados. Também pode contar com o reforço de chapas e cantoneiras, soldadas ou parafusadas.

Figura 83. Soluções para ligações rígidas pilar-pilar (adaptado de BELLEI et al., 2008).

- Ligação nó de treliça: apesar de pouco usuais em estruturas de edifícios de múltiplos pavimentos, cabe mencionar as ligações de barras de treliça, por

definição articuladas, que podem compor estruturas de aço. Todas as barras são ligadas por chapas de conexão (chapas de gousset), e concorrem em um único ponto, para impedir o aparecimento de momentos resistentes.

Figura 84. Soluções para ligações de treliças (adaptado de DIAS, 1997).

3.3.5. Ligações concreto-aço

Existem diferentes tipos de ligações que aparecem em estruturas mistas ou híbridas de concreto e aço de forma a solidarizar ou vincular as partes constituídas por estes materiais distintos. Em estruturas de edifícios, ligações concreto-aço costumam surgir nas seguintes interfaces: ligações entre pilares e elementos de fundação; ligação em estruturas híbridas; ligações mistas. Apresentam-se a seguir as principais soluções para cada um destes tipos de ligação.

- Ligações entre pilares e elementos de fundação

Este tipo de ligação é em geral constituído pelos seguintes elementos:

➤ Chumbadores

São barras rosqueadas com a finalidade de fixar as placas de base dos pilares às fundações, geralmente constituídas de aço ASTM A36 ou SAE-1020. Trabalham a cisalhamento, a tração ou a combinação de cisalhamento e tração. Os chumbadores sujeitos apenas a cisalhamento podem ter comprimentos de ancoragem menores, ao contrário dos sujeitos a tração. Segundo Bellei (2009), podem-se definir seis tipos de chumbadores mais usualmente empregados: chumbadores simples

apenas para cisalhamento (CC), chumbador de ancoragem com a parte inferior formando um L (CAL), idem com uma chapa na parte inferior (CAC), idem tendo uma porca na parte inferior (CAP), idem tendo uma chapa com reforço na parte inferior (CAR), chumbador em gancho com nicho para ancoragem em outra barra (CAG). A Figura 85 ilustra estes diferentes tipos de chumbadores.

Figura 85. Diferentes tipos de chumbadores (adaptado de BELLEI, 2009).

Os chumbadores tipo CC, CAL, CAC, CAP e CAR são fixados durante a concretagem por meio de gabaritos e conferidos com precisão milimétrica por topografia. O tipo CAG é utilizado quando não existe boa precisão dos blocos ou quando se deseja maior flexibilidade na montagem, embora sejam mais caros que os demais (BELLEI, 2009).

➤ Placas de base

São placas de aço com a finalidade de distribuir os esforços advindos dos pilares em uma determinada área de bloco de fundação, e fixadas através de chumbadores aos blocos (BELLEI, 2009).

➤ Barras de cisalhamento

Quando as cargas horizontais são muito elevadas e não se quer transferir essas cargas por meio de chumbadores, pode-se utilizar da colocação de chapas ou perfis soldados na face inferior da chapa de base para transmiti-las às fundações, denominadas barras de cisalhamento.

As ligações entre pilares e elementos de fundação podem ser flexíveis ou rígidas. É possível ainda engastar em um plano e articular em outro. A ligação flexível mais simples e usual consiste numa chapa soldada no pé do pilar e pela colocação de dois chumbadores no centro, o mais próximo de seu eixo de rotação (de forma a

reduzir o braço do binário). Para pilares largos, é possível a criação de uma articulação pela redução da largura próximo a base (BELLEI et al., 2008). Existe ainda a possibilidade de se constituir uma articulação verdadeira por meio de elementos metálicos específicos, mas é uma solução cara, desnecessária e de baixa construtibilidade. A Figura 86 mostra exemplos destes três tipos de ligação pilar-fundação flexível.

Figura 86. Exemplos de ligações pilar-fundação articuladas (adaptado de BELLEI et al., 2009 e DIAS, 1997).

As ligações engastadas proporcionam maior rigidez à estrutura, tornando-a mais econômica, mas oneram as fundações, que se tornam mais solicitadas. A ligação rígida mais simples e usual é aquela constituída por uma chapa soldada no pé do pilar com chumbadores o mais afastados possível da linha de centro (de forma a maximizar o braço do binário). Pode-se enrijecer a ligação através de nervuras entre o perfil e a chapa base ou utilizando-se de uma segunda chapa a uma altura de 30 a 50 cm da base, fixada por chumbadores (BELLEI et al., 2008). Uma solução interessante, mas pouco utilizada (em geral usada para fixação de postes e estruturas pouco solicitadas ou provisórias), é o embutimento do pilar nas fundações, que pode ou não ser reforçado por meio de chapas, chumbadores e barras de cisalhamento (BELLEI, 2009). A Figura 87 mostra exemplos destes quatro tipos de ligação pilar-fundação rígida.

Figura 87. Exemplos de ligações pilar-fundação engastada. (Adaptado de BELLEI et al, 2009 e CBCA, 2009)

- Ligação em estruturas híbridas

Para ligação de elementos metálicos com elementos de concreto em estruturas híbridas tem-se como principais soluções:

- Uso de chapas de apoio (Figura 88a);
- Uso de chapas e pinos previamente deixados no concreto (Figura 88b);
- Consoles feitos no concreto (Figura 88c);
- Nichos previamente feitos no concreto (Figura 88d);
- Chumbadores mecânicos, em geral de expansão (Figura 88e) ou protendido (Figura 88f);
- Chumbadores químicos (Figura 88g).

Figura 88. Soluções para ligações aço-concreto em estruturas híbridas (BELLEI, 2009).

- Ligações mistas

Ligações mistas são ligações que promovem a solidarização do aço e do concreto armado em termos de comportamento estrutural, levando a um melhor desempenho da ligação, uma vez que estes dois materiais passam a resistir conjuntamente aos esforços solicitantes. Apresentam-se a seguir as principais ligações mistas encontradas em estruturas de edifícios.

- Ligação por meio de conectores de cisalhamento, em vigas mistas formadas por perfil metálico associado à laje de concreto ou laje mista.

O conector de cisalhamento é um dispositivo mecânico utilizado para resistir ao cisalhamento decorrente da interação entre o aço e o concreto de uma estrutura mista, solidarizando as partes. Existem diferentes tipos de conectores de cisalhamento, sendo o mais utilizado o chamado Stud Bolt, um conector tipo pino com cabeça, soldado sobre o perfil de aço. A Figura 89 mostra alguns tipos de conectores de cisalhamento utilizados. A Figura 90 indica o processo executivo de instalação de um Stud Bolt.

Figura 89. Exemplos de conectores de cisalhamento: Stud Bolt e anel cerâmico usado em sua instalação (a); Perfil tipo perfobond (b); Perfil tipo CRbond (c); Perfil tipo U (d); Perfil tipo T (e); Conector em L (f) (adaptado de NARDIN et al., 2008 e CISER, 2014).

Figura 90. Processo executivo de instalação de Stud Bolt (CISER, 2014).

As ligações de vigas mistas podem se dar entre a viga de aço e a laje de concreto (Figura 91a) ou entre a viga de aço e a laje mista (Figura 91b). Além disso, pode-se considerar como ligação mista um encontra viga-pilar (Figura 91c) ou viga-viga (Figura 91d), nos quais os elementos metálicos encontram-se adequadamente solidarizados com o concreto. A Figura 91e faz uma ilustração do comportamento de uma ligação viga-pilar mista, onde observa-se que de fato ocorre o trabalho solidário da viga de aço e da laje mista.

Figura 91. Ligações em vigas mistas (STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE, 1998).

Outra forma possível de se solidarizar a viga de aço a uma laje de concreto é através de vergalhões que constituem a própria armação da laje. Este conceito foi explorado, por exemplo, nas vigas tipo CoSFB mostradas no item 3.2.3. Estruturas híbridas e mistas.

- Ligação por meio de conectores de cisalhamento, mossas e reentrâncias em lajes mistas com forma de aço aderida, entre a capa de concreto e a forma.

Conectores de cisalhamento também contribuem para a solidarização entre o concreto e as formas de aço aderidas em lajes mistas, conforme indicado na Figura 92. No entanto, deve-se notar que neste caso a solidarização entre aço e concreto se deve também à ligação mecânica por meio de mossas na superfície das formas e à ligação por atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço com cantos reentrantes.

Figura 92. Laje mista com conectores de cisalhamento (QUEIROZ et al., 2012).

- Ligação entre pilares mistos de seção preenchida e vigas de aço.

Neste tipo de ligação, parte do esforço na viga é transferida diretamente para o núcleo de concreto do pilar. Podem ser utilizados parafusos passantes, chapas de extremidade, conectores de cisalhamento, entre outros elementos, que se ancoram diretamente no concreto no interior do pilar. Exemplos são mostrados na Figura 93.

Figura 93. Ligações de vigas de aço e pilares mistos preenchidos (www.metalica.com.br, acesso em 23/11/2014 23h).

- Solidarização entre concreto e aço de pilares mistos.

A solidarização entre aço e concreto de pilares mistos costuma-se dar por simples aderência e repartição de carga, em geral sem o uso de conectores.

A Figura 94 apresenta um esquema síntese dos conceitos tratados nesta seção.

Figura 94. Esquema síntese dos conceitos de ligações para estruturas de aço de edifícios (elaboração do próprio autor).

3.4. Processo de produção de estruturas de aço para edifícios

O processo de produção de estruturas de aço para edifícios pode ser sintetizado em três momentos principais: 1) a fabricação da estrutura, envolvendo uma sequência de operações para produção dos componentes da estrutura; 2) o transporte da fábrica até o canteiro de obras; 3) as operações em obra, que culminam na montagem propriamente dita da estrutura. A Figura 95 ilustra este processo.

Figura 95. Processo de produção de estruturas de aço. (Elaboração do próprio autor)

Detalham-se a seguir as operações envolvidas em cada um destes momentos.

3.4.1. Fábrica

Os componentes das estruturas de aço são produzidos em fábricas, que compram e trabalham os produtos comercializados pela indústria siderúrgica, em especial as chapas e perfis laminados.

As fábricas de estruturas de aço podem ser de maior ou menor porte, sendo em geral organizadas de maneira setorizada e servidas por sistemas de elevação de cargas, tais como pontes rolantes, monovias, talhas, etc. O processo produtivo tradicional dentro dessas fábricas costuma ocorrer segundo uma sequência de dez atividades, conforme mostrado a seguir, tendo por base os textos de Dias (1997) e Vasconcellos (2014). No entanto, faz-se a ressalva de que, com o advento da automatização das fábricas, este processo vem sendo simplificado, com parte do processo sendo realizados por máquinas pré-programadas.

1. Compra dos insumos.

Em geral feita com antecedência, com base na programação de trabalhos contratados. É interessante ainda que a fábrica possua um estoque regulador, a fim de absorver demandas com prazo inferior àqueles disponibilizados pelas usinas siderúrgicas ou para atender pequenos trabalhos, que não justifiquem um pedido às usinas.

2. Recebimento e estocagem de material.

3. Manuseio e corte de materiais.

Os produtos laminados planos são comercializados em dimensões padronizadas e normalmente adquiridos pelas fábricas sem extras de qualidade como, por exemplo, sem as bordas aparadas. Assim, em geral o material recebido deve passar por operações prévias de corte a fim de deixá-lo no formato e qualidade correta para o processo de produção dos componentes estruturais.

4. Execução de gabaritos

Gabaritos são modelos ou guias em tamanho natural, feitos de chapa fina, utilizados para localizar furos, cortes e dobramentos a serem realizados nas peças.

5. Traçagem

Com o uso dos gabaritos, as informações necessárias para a confecção das peças são transferidas diretamente sobre a superfície das mesmas, através de marcações feitas com riscadores de giz ou pedra sabão, e os centros dos furos são assinalados por meio de puncionamento.

6. Execução dos componentes

A execução dos componentes consiste basicamente de uma série de operações de corte, furacão, desempenho, dobramento, soldagem e calandragem das chapas e perfis de aço.

O corte do aço pode ser feito por guilhotinas (tesouras), serras, unidades de corte a maçarico ou, mais raramente, corte a plasma ou laser. A operação de corte com maçarico a gás (chama oxiacetilênica) é denominada oxicorte ou corte a chama, e é uma técnica utilizada tanto em fábrica quanto em campo.

A furação pode em geral é feita por puncionamento. Mas também pode ser feita através de broqueamento, no caso de materiais com maior espessura.

O desempenho do material empenado no transporte e manuseio pode ser feito por meio de prensas ou da aplicação de calor.

As operações de dobramento e soldagem podem ser utilizadas nesta fase para a produção de perfis dobrados e soldados, respectivamente.

A operação de calandragem, já mencionada no item 3.1.5. Perfis, tubos e barras calandrados, pode ser necessária caso o projeto preveja peças com raios de curvatura.

7. Pré-montagem

Também denominada montagem de fábrica ou assemblagem. Nesse momento, alguns componentes são unidos por meio de soldagem ou aparafusamento, gerando subconjuntos, de forma a adiantar e facilitar a montagem de campo.

8. Acabamento

Trata-se de operações de endireitamento e ajuste de peças que eventualmente tenham sofrido empenamento durante o processo de fabricação e o esmerilhamento das bordas das peças cortadas, com a retirada de eventuais rebarbas.

9. Preparação da superfície e pintura

Limpeza e aplicação de proteção anticorrosão nas peças da estrutura. Maiores detalhes destes processos são apresentados no ANEXO A deste trabalho.

10. Expedição

3.4.2. Transporte

O trajeto entre a fábrica e a obra pode ocorrer de diferentes maneiras, dependendo da distância entre os mesmos. Em geral, opta-se pelo uso de transporte rodoviário, mas havendo uma distância muito grande entre fábrica e obra pode-se pensar no uso de transporte ferroviário, marítimo ou fluvial.

O transporte dos componentes das estruturas de aço deve ser cuidadosamente pensado, de forma a evitar problemas em termos de limitação de largura, altura e peso máximo permitido, seja por restrições legais, seja pela capacidade de carga dos próprios modais de transporte.

3.4.3. Obra

A produção da estrutura de aço de um edifício envolve diferentes serviços, que variam em termos das soluções tecnológicas e construtivas adotadas. Assim, a execução da estrutura pode envolver não apenas a montagem de um reticulado metálico, mas também de elementos de concreto, no caso de se adotarem sistemas estruturais mistos ou híbridos, a execução dos sistemas de laje e a aplicação de pintura anticorrosiva e proteção passiva. A Figura 96 esquematiza esta questão.

O serviço de execução do reticulado metálico é, em geral, o serviço mais importante e que confere o ritmo de execução da estrutura. No entanto, é importante ter em mente que os demais serviços interferem diretamente na execução do reticulado, devendo ocorrer em sinergia com este. Assim, é fundamental atentar para o planejamento conjunto de todos os serviços, de forma a evitar perturbações.

Figura 96. Serviços envolvidos na execução da estrutura de aço de um edifício (elaboração do próprio autor).

3.4.3.1. Serviço de execução do reticulado metálico

Pode-se pensar em um processo genérico para o serviço de execução do reticulado metálico de um edifício estruturado em aço como sendo composto de quatro etapas principais, conforme ilustrado na Figura 97:

1. O descarregamento das peças oriundas da fábrica;
2. A estocagem de peças;
3. Operações de processamento intermediário, tais como a realização de pré-montagens de campo, a aplicação de tinta de acabamento anticorrosiva, o corte ou furacão de peças que porventura vieram com erros de fabricação, entre outros;
4. O processamento final das peças, isto é, a montagem propriamente dita, com o acoplamento das peças à estrutura.

Figura 97. Processo genérico do serviço de execução do reticulado metálico de um edifício com estrutura em aço (elaboração do próprio autor).

Dependendo do arranjo espacial do canteiro de obras, essas diferentes etapas podem ocorrer em locais distintos, necessitando, portanto, do transporte interno das peças. Do ponto de vista da eficiência, o processo “ideal” para execução do reticulado metálico seria aquele que ocorre com o menor número de etapas entre o

descarregamento e a montagem, e com o mínimo possível de transporte das peças internamente no canteiro de obras. No entanto, a forma como se dá esse processo depende fortemente de como está constituído o canteiro de obras, podendo ainda sofrer variações ao longo da obra.

3.5. Montagem

Por montagem de uma peça do reticulado metálico, entende-se o processo que se inicia pela amarração da peça para ser içada e termina com a execução das ligações definitivas que unem essa peça ao restante da estrutura, sendo composto pelas tarefas genéricas indicadas no Quadro 10.

Quadro 10. Tarefas genéricas envolvidas na montagem de uma peça de uma estrutura de aço de um edifício (elaboração do próprio autor).

1	Amarração da peça;
2	Içamento até local de instalação;
3	Posicionamento;
4	Ligação incompleta ou provisória;
5	Conferência de alinhamento, prumo, nível e esquadro e ajuste do posicionamento (verticalização);
6	Ligação completa e definitiva;

Nota-se que não é necessário completar as seis tarefas de uma peça antes de dar início à montagem de outra. Em geral, a amarração é desfeita e o equipamento de içamento parte em busca de uma nova peça após a quarta tarefa, na qual a peça é fixada provisoriamente à estrutura. No entanto, essa questão depende do plano adotado para a montagem.

Por plano de montagem entende-se o conjunto de aspectos que devem ser planejados para a montagem da estrutura de aço de um edifício, tais como: sequência das peças a serem montadas, trajetória das peças, tipos e quantidades de equipamentos, em especial os de içamento, tamanho e divisão da equipe, forma como são desenvolvidas as diferentes tarefas, interfaces com as demais etapas da execução do reticulado metálico e com os demais serviços da obra, entre outros.

Diferentes sistemas estruturais podem demandar diferentes planos de montagem. Mais do que isso, diferentes projetos, mesmo que adotando um mesmo sistema estrutural, podem ser planejados diferentemente, uma vez que fatores como, por exemplo, a geometria, o porte, e a localização do edifício, o arranjo do canteiro de obras, o prazo da montagem e a disponibilidade de equipamentos e mão de obra podem suscitar diferenças no plano de montagem. Outra questão importante de ser mencionada é que, mesmo dentro de uma mesma obra, podem surgir diferenças em função do tipo de pavimento: saída da fundação, subsolos, pavimentos atípicos ou pavimentos tipo.

As estruturas dos edifícios de múltiplos andares costumam ser constituídas pavimento por pavimento, através da união de vigas e pilares em níveis sucessivos. Em geral, seguem-se as seguintes premissas para sequência de montagem:

- As peças são montadas em função do apoio: primeiro os pilares, seguido das vigas principais e depois das vigas secundárias.
- Deve-se observar o trajeto das peças: peças anteriormente montadas não devem obstruir o acesso das seguintes, seja por interceptar o equipamento de içamento, seja por impedir a passagem da próxima peça no trajeto entre o solo e a posição final.
- A equipe de montagem deve ter um caminho seguro para alcançar o ponto de ligação da peça ao restante da estrutura.
- Deve-se pensar na estabilidade da estrutura em processo de montagem. Em geral, os cálculos estruturais são feitos levando-se em conta a estrutura completa. Durante a montagem, no entanto, a estrutura pode-se encontrar em situações de instabilidade. Assim, é sempre interessante iniciar a estrutura pelos pórticos de maior rigidez (pórticos de contraventamento ou ligados ao núcleo ou paredes de concreto), e pode-se fazer uso de estruturas de contraventamento provisórias.

Uma sequência de montagem genérica para o pavimento tipo n de um edifício estruturado em aço pode ser representada pelas seguintes etapas:

1. Montar pilares dos pavimentos n , ..., $n+k$ (pilares podem ter comprimentos superiores a um único pavimento, sendo denominados “arranques”)

2. Montar vigas principais (ente pilares, formando pórticos) do pavimento n.
3. Montar travamentos do pavimento n;
4. Montar vigas secundárias (entre vigas principais) do pavimento n;
5. Repetir os itens 2 a 4 até que se atinja o pavimento n+k.
6. Repetir o item 1.

O momento de ocorrência da etapa de conferência e execução das ligações definitivas também pode variar, sendo essas etapas em geral executadas após a conclusão de um pavimento ou após a conclusão dos pavimentos referentes a um arranque de pilar.

A montagem pavimento por pavimento apresenta a vantagem de permitir que os demais serviços da obra (vedações, revestimentos, instalações, etc.) sejam executados de modo mais racional. Entretanto, deve-se notar que outras sequências para montagem de edifícios são possíveis. Pode-se, por exemplo, pensar em executar a montagem em mais de uma frente simultânea, até mesmo trabalhando em alturas diferentes. Cardoso (1989) menciona a montagem em baias verticais como uma alternativa interessante para edifícios com uma dimensão preponderante, no qual cada conjunto de módulos de colunas e vigas de uma dada prumada vertical do edifício é montado por completo, avançando na sequência para a prumada seguinte. O autor menciona ainda outras técnicas, como a *Port de Lilas*⁴⁹ e a *Lift Slab*⁵⁰, cuja utilização não é usual no país, mas serve para ilustrar a diversidade de possibilidades na determinação da sequência de montagem da estrutura de aço de um edifício.

3.5.1. Equipamentos para montagem

De forma geral, podem-se dividir os equipamentos utilizados na montagem de estruturas de aço para edifícios em cinco grupos principais:

⁴⁹ No qual cada conjunto de vigas e pilares transversais do edifício é montado no terreno e depois içado à sua posição definitiva, segundo uma técnica que prevê articulações provisórias nas bases das colunas (CARDOSO, 1989).

⁵⁰ No qual as lajes de concreto armado são concretadas no terreno umas sobre as outras, seguidas da montagem das colunas de aço passantes e posterior ascensão das lajes através de macacos hidráulicos, guiadas pelas colunas (CARDOSO, 1989).

1. Equipamentos para transporte horizontal de cargas: veículos utilizados no transporte dos componentes até o canteiro (caminhão, carreta, etc.) e dentro do canteiro (carro de mão, empilhadeira, pá carregadeira, etc.).
2. Equipamentos de içamento de cargas: em geral são utilizados guias ou guindastes, tratados em maiores detalhes no item 3.5.1.1. Equipamentos de içamento No entanto, deve-se mencionar que existem ainda outros equipamentos de grande porte, como os *derricks*, apesar de serem menos utilizados neste tipo de montagem. Equipamentos de menor porte para içamento de poucas peças podem ser utilizados de forma complementar (polia, talha, sarilho, guincho, elevador de obra, pórtico, etc.).
3. Dispositivos de amarração de cargas: lingada, elementos no próprio equipamento de içamento ou na própria carga, a serem tratados em maiores detalhes no item 3.5.1.2. Dispositivos de amarração
4. Equipamentos de segurança: equipamentos de proteção individual (EPI) e coletiva (EPC).
3. Equipamentos e ferramentas gerais: compressor, gerador, conjunto de corte, máquina de solda e seus componentes, reservatório de combustível, martelo pneumático, equipamento topográfico, equipamento para comunicação, estufa para eletrodos, macaco mecânico ou hidráulico, furadeira, broca, esmerilhadeira, serra, serrote, escova de aço, lima, tesoura, talhadeira, martelo, prumo, nível, lanterna, chaves de boca, de fenda ou tipo *Philips*, parafusadeira, alicates, espina, torquímetro, pé de cabra, porta ferramentas, porta eletrodos, porta parafusos, lubrificante, corda, pincel, talhas para aproximação de peças, escoramentos, plataformas de trabalho, escadas, andaimes, entre outros.

3.5.1.1. Equipamentos de içamento – guias e guindastes

Guias e guindastes são os equipamentos de içamento mais comumente utilizados na montagem de estruturas de aço para edifícios.

As guias se caracterizam por possuírem uma torre vertical no topo da qual se apoia uma lança horizontal. O fato da lança nascer acima do nível do solo reduz o número de interferências quando comparado aos guindastes. A torre pode ser formada por diferentes módulos, que são instalados à medida das necessidades da montagem,

variando sua altura. São encontradas diferentes modelos, podendo ser classificados (SCIGLIANO, 2008; CARDOSO, 1989; BELLEI et al., 2008; PINHO, 2005):

Segundo a condição de apoio da torre:

- Fixa ou estacionária;
- Móvel;
 - Sobre trilho;
 - Sobre pórtico;
 - Sobre caminhão;
 - Sobre esteira;
 - Automontante.
- Ascensional.

Figura 98. Exemplos de guias fixa, ascensional e móvel
 (http://www.pingon.com.br/produtos_grua.htm#gruas, acesso em 31/01/2015 às 17h).

Segundo o tipo de giro;

- Com giro superior (giro da lança sobre a torre)
- Com giro inferior (giro do conjunto torre + lança sobre a base)

Segundo o tipo de lança:

- Horizontal;
- Basculante;
- Retrátil;
- Topless (sem ponta da torre e com lança mais robusta)

Segundo o modo de equilíbrio da lança:

- Com contralança;
- Sem contralança.

Os possíveis movimentos operacionais realizados pelas guias são:

- Translação horizontal da guia, no caso de ser móvel;
- Telescopagem (inclusão de módulos), ascensão (montagem dos módulos por içamento) ou descida (desmontagem dos módulos) da guia;
- Ascensão da torre, caso seja ascensional.
- Movimento de giro superior da lança, caso seja de giro superior.
- Movimento de giro inferior do conjunto torre e lança, caso seja de giro inferior.
- Translação horizontal do carro da lança, no caso dele ser móvel;
- Rotação da lança segundo eixo horizontal, no caso de ser basculante;
- Retração da lança, no caso de ser retrátil;
- Levantamento ou descida do moitão de carga, independente do tipo.

Para cada movimento operacional de uma guia está associada uma velocidade nominal, que pode variar em função da carga sendo içada, da potência do motor envolvido no movimento e até mesmo do número de passadas de cabo no dispositivo de içamento.

A Figura 99 indica os elementos básicos que compõe uma guia fixa genérica. Para as demais tipologias de guia, os elementos são os mesmos, eventualmente apresentando variações quanto à presença ou posição de alguns elementos.

Figura 99. Elementos genéricos que compõe uma grua (adaptado de SCIGLIANO, 2008 e www.rgloc.com.br/equipamento/produto/grua_0507/60, acesso em 01/02/2015 às 14h).

Guindastes são equipamentos de içamento montados sobre um veículo e cuja lança está conectada à base do veículo e se projeta para adiante do mesmo. São encontradas diferentes modelos, podendo ser classificados em (SERTECH, 2013; CARDOSO, 1989; BELLEI et al., 2008; PINHO, 2005):

- Guindastes Trelaçados: possuem lança trelaçada que não varia de comprimento. Em geral possuem maior capacidade que os hidráulicos, e apresentam a vantagem de poder levantar e segurar a carga por um longo período de tempo sem perda de altura.
 - Sobre caminhão
 - Sobre esteiras
 - Com mastro
 - Sem mastro
- Guindastes Hidráulicos ou Telescópicos: permitem a mudança do comprimento e ângulo com a horizontal da lança, feito através de cilindros hidráulicos acionados por uma central.

- Autopropelidos: montados sobre um chassi exclusivo, possuindo apenas uma cabine.
- Industriais: montados sobre um chassi especial, têm a capacidade de se deslocarem com a carga içada.
- Sobre caminhão: montados sobre o chassi de um caminhão, em geral com cabines independentes para o caminhão e para operação do guindaste.
- Guindautos ou Caminhão Munck: montados sobre o chassi de um caminhão, em geral com cabine única, braço articulado e com carroceria de madeira ocupando a maior parte do chassi.

Os possíveis movimentos operacionais realizados pelos guindastes são (CARDOSO, 1989):

- Translação na horizontal do conjunto;
- Rotação da cabine e lança em torno de eixo vertical;
- Rotação da lança em torno de eixo horizontal;
- Içamento vertical dos dispositivos de içamento.
- Rotação espacial da lança, caso seja articulada.

Da mesma forma que para as gruas, para cada movimento operacional de um guindaste está associada uma velocidade nominal, que pode variar em função de uma série de fatores.

A Figura 100 exemplifica um guindaste hidráulico e um guindaste treliçada, além de indicar os elementos constitutivos básicos de cada um deles.

Figura 100. Exemplos de guindastes hidráulico e treliçado, e elementos constitutivos básicos de cada um deles (baseado em SERTECH, 2013 e BELLEI et al., 2008).

Sendo parte do plano de montagem, a escolha de um equipamento de içamento para a montagem é influenciada por diversos fatores. Bellei et al. (2008) apresenta um raciocínio genérico para escolha do equipamento, com base na geometria dos edifícios:

- Edifícios pequenos: em geral opta-se por pequenas guias ou pequenos guindastes telescópicos, considerando-se um período de montagem curto e o baixo peso dos componentes.
- Edifícios longos e baixos: estrutura típica de pavilhões de escola e galpões, o perfil alongado exigiria um grande número de guias fixas, portanto costuma ser uma boa opção o uso de guindastes ou guisa sobre trilhos.
- Edifícios baixos e com grande área em planta: estrutura típica de supermercados e shoppings, a montagem costuma ser pouco adequada para guias, sendo em geral utilizados guindastes.
- Edifício alto com pequena área de projeção: estrutura típica de edifícios de múltiplos pavimentos, a montagem costuma ser realizada por guias fixas ou ascensionais. No caso de vizinhanças densamente povoadas, é interessante o uso de guias com lança basculante.

No entanto, faz-se a ressalva de que outros fatores, tais como o espaço e arranjo do canteiro de obras, a disponibilidade de equipamentos e o uso destes para os demais

serviços da obra também devem ser considerados na escolha do equipamento de içamento a ser adotado para um determinado projeto.

3.5.1.2. Dispositivos de amarração de cargas

Os dispositivos de amarração de cargas são compostos por:

- Elementos do próprio equipamento de içamento: moitão ou bola-peso.
- Lingada = eslinga + acessórios de ligação + estruturas auxiliares.
- Elementos na própria carga: olhais de suspensão.

O moitão é um elemento composto por um bloco de polias (cadernal), ligado ao equipamento de içamento por meio de cabos de aço e com um gancho na extremidade, ao qual se conecta a lingada. O cadernal permite aumentar a capacidade de carga dos cabos de aço, mas o aumento no número de passadas de cabo diminui a velocidade de subida do moitão. A bola-peso é composta por um peso ligado ao equipamento de içamento por meio de uma única perna de cabo de aço e com um gancho na extremidade, ao qual se conecta a lingada, sendo geralmente utilizado no jib (extensão da lança).

A lingada corresponde ao conjunto utilizado para ligação entre a carga e o equipamento de içamento, sendo constituída pelas eslingas, pelos acessórios de ligação e, eventualmente, por estruturas auxiliares. As eslingas (ou estropos) são os laços, podendo ser constituídos de cabos de aço, cintas sintéticas, correntes, cordas de sisal, cordas sintéticas ou combinações de cabo e corrente. Existem diversos arranjos possíveis para as eslingas, dependendo do material e componentes com as quais são constituídas. No entanto, podem-se considerar três arranjos gerais, conforme indicado na Figura 101.

Figura 101. Arranjos típicos para eslingas (SERTECH, 2013).

Os laços de cabo de aço são um dos tipos de eslinga mais comumente utilizados e possuem olhais nas extremidades que podem ser constituídos de diferentes maneiras, em geral utilizando-se de sapatilho protetor, presilha (luva) ou grampos (clipes).

Os acessórios de ligação unem a eslinga aos elementos do equipamento de içamento ou as cargas. Os acessórios mais usuais são as manilhas, mas também são utilizados ganchos, anéis pera, petescas e catarinas (roldanas dotadas de ganchos), entre outros.

As estruturas auxiliares são utilizadas para distribuir as cargas em pontos determinados, modificar o ângulo de pega ou determinar o valor da carga em cada linha de içamento (PINHO, 2005). Como exemplo pode-se citar as vigas espaçadoras, vigas equalizadoras (em especial os balancins) e as contenções laterais.

Por fim, os elementos na própria carga são os denominados olhais de suspensão, que podem ou não existir, e que são olhais deixados junto às peças a serem içadas para o acoplamento da lingada. Vale mencionar ainda os cabos-guia, cordas amarradas à carga para permitir sua condução manual, evitando balanços e reações imprevisíveis.

3.5.2. Interfaces da montagem com os demais serviços e etapas

Para o planejamento e bom desenvolvimento do processo de montagem é fundamental compreender como essa etapa da execução do reticulado metálico interage com as demais etapas e com os demais serviços da execução da estrutura em aço do edifício. A seguir, discorre-se brevemente sobre cada caso.

- Outras etapas: descarregamento, estocagem, processamento intermediário e transporte interno.

O tempo gasto em outras etapas pode atrapalhar o ritmo da montagem, dependendo da forma como essas estão organizadas. Assim, se a mesma equipe responsável pela montagem é responsável por executar as demais etapas, provavelmente uma atividade terá de ser interrompida enquanto a outra estiver ocorrendo. Sendo este o caso, quanto mais tempo for gasto com a outra atividade, mais tempo ficará paralisada a montagem. Ainda, no caso das demais etapas ocorrerem de forma desorganizada, pode ocorrer a paralisação da frente de montagem por falta de peças.

- Serviços de execução de elementos em concreto de estrutura híbrida e de estruturas mistas

As estruturas em concreto podem ser executadas antes ou depois do reticulado metálico, trazendo implicações para a montagem, uma vez que a estabilidade da estrutura é obtida pelo conjunto. Assim, por exemplo, provavelmente não é possível executar um núcleo de concreto de um edifício inteiro para apenas depois iniciar o reticulado metálico, e nem o contrário. Dessa forma, pode haver limitações quanto à distância entre o pavimento no qual as peças em concreto estão sendo executadas para o pavimento no qual está sendo montado o reticulado metálico, e um atraso em um serviço pode implicar na paralisação do outro.

- Serviço de execução de lajes

É válido o mesmo raciocínio apresentado no item anterior. Além disso, deve-se considerar a possibilidade da laje servir de plataforma de trabalho para os operários, podendo assim auxiliar em certos momentos da montagem.

- Serviço de execução de proteção anticorrosiva e proteção contra incêndio

Estes serviços podem ocorrer em diferentes momentos. A aplicação de pintura de acabamento anticorrosiva pode ocorrer na fábrica ou na obra. Na obra, pode ocorrer antes da montagem, após a montagem e durante as obras civis ou apenas após as obras civis. Nesse caso, a maior possibilidade de interferência no serviço de montagem ocorre caso a pintura de acabamento seja aplicada na obra e antes da montagem, pois se adiciona uma operação de processamento intermediário das peças. No caso da aplicação de proteção contra incêndio, essa pode acompanhar a subida da estrutura ou apresentar certo atraso com relação aos pavimentos sendo montados, e não apresenta possibilidade de impactar no ritmo da montagem, mas pode ser impactada por ela.

3.6. Fatores influenciadores da produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios

O tema da produtividade na execução de edifícios estruturados em aço é tratado na bibliografia científica em geral sob uma abordagem qualitativa, e comumente observa-se falta de rigor e uniformidade metodológica no tratamento do mesmo. No Capítulo 5 dessa dissertação, apresentam-se os dados quantitativos coletados em fontes bibliográficas e que foram utilizados para compor as análises dessa pesquisa. Neste item, apresentam-se os fatores influenciadores da produtividade da mão de obra e equipamentos na montagem das estruturas em aço para edifícios, conforme encontrados em referências bibliográficas. Tais fatores serão levados em consideração no desenvolvimento do método proposto no Capítulo 4 dessa dissertação.

Pinho (2005) indica a “repetição de peças em situações virtualmente idênticas” como um fator que acarreta a diminuição progressiva do tempo de montagem de cada peça pela equipe, isto é, um aumento da produtividade da mão de obra. Da mesma forma, o autor menciona um ganho de tempo quando as ligações são feitas “com rapidez”, em oposição às ligações “difíceis e trabalhosas”. Além disso, o autor afirma que “erros cometidos nas fases de projeto e fabricação ocasionam grandes perdas de produtividade [na montagem]”, pois podem exigir ajustes no canteiro de obras, bem como erros cometidos durante a própria montagem. Também são colocadas algumas diferenças de produtividade na execução de ligações soldadas

em função do tipo de processo de soldagem utilizado. O autor chama a atenção para o uso do indicador Hh/t , que por levar em conta o peso das peças, pode resultar em valores maiores para peças mais leves e menores para peças mais pesadas, sem que haja realmente uma piora ou melhora na produtividade em termos do número de peças.

O autor menciona ainda que o consumo relativo de Hh/t “varia enormemente entre os diversos tipos de estrutura, condições locais, tipo de equipamento, etc.” e que “durante uma mesma obra a produtividade varia entre as diversas atividades”. Menciona ainda que a montagem de subestruturas mais leves, como as terças de cobertura de um galpão, levam a menores produtividades em Hh/t , em comparação com estruturas mais pesadas, como as colunas do galpão. Em outro trabalho (PINHO, 2008), o autor traz a escolaridade como um fator que afeta a produtividade da mão de obra de montagem de estruturas de aço.

Mrozowski et al. (1999) comenta que se a necessidade de mover materiais pelo canteiro é reduzida por meio de um layout eficiente haverá uma redução do tempo gasto com movimentação e um aumento na produtividade da mão de obra. Ainda, o autor afirma que a correção em canteiro de pequenos erros de fabricação (como buracos de parafusos faltando ou deslocados ou componentes soldados de fábrica em local incorreto) ou mesmo a necessidade de retornar peças para a fábrica para correções maiores, é um fator que pode impactar na produtividade da equipe de montagem.

Cardoso (1998) apresenta dados de origem italiana, que sugerem que edifícios altos geram produtividades de mão de obra na montagem de estruturas de aço inferiores as de edifícios baixos.

Bellei et al. (2008) apresenta dados de produtividade da mão de obra que indicam que a montagem de pilares é menos produtiva que a montagem de vigas, que é menos produtiva que a montagem dos contraventamentos. Os dados apresentados pelo autor sugerem ainda que ligações parafusadas são mais produtivas do que as ligações soldadas.

Thomas et al. (1999) apresenta um estudo no qual analisa o impacto de diferentes métodos de entrega e recebimento de aço estrutural no canteiro de obras na produtividade da mão de obra na montagem da estrutura. Foram analisados três projetos: no primeiro, as peças eram içadas para montagem diretamente a partir do caminhão; no segundo, as peças eram descarregadas, separadas e depois içadas; no terceiro, as peças eram descarregadas e estocadas em três locais distintos, e separadas no momento do içamento para montagem. O estudo conclui que a montagem das peças diretamente a partir do caminhão apresenta maiores ganhos em termos de produtividade, seguido do descarregamento e separação imediato e, por último, do estoque das peças e separação no momento da montagem. Além disso, o estudo analisa também a influência de ventos fortes, neve e baixas temperaturas, concluindo que as duas últimas impactaram negativamente na produtividade do serviço. Erros de fabricação também são apontados como um fator que prejudicou a produtividade. Além disso, os dias em que houve descarregamento de material e relocação do guindaste também tiveram a produtividade impactada por conta da paralisação da equipe na montagem propriamente dita.

Thomas e Yiakoumis (1987) analisam o impacto da temperatura e umidade relativa do ar na produtividade da mão de obra na montagem da estrutura de aço de um edifício. Os autores concluem que a temperatura de produtividade ótima situou-se na faixa dos 12°C, e que extremos de temperatura impactaram negativamente na produtividade da mão de obra (o estudo considera uma faixa de -11°C a 29°C). Os dados não permitiram uma conclusão acerca da umidade relativa.

Thomas e Zavrski (1999) apresentam um estudo que busca estabelecer uma relação entre a produtividade da mão de obra e o conteúdo do trabalho na montagem de estruturas de aço de edifícios. Aspectos considerados como caracterizadores de uma maior complexidade em termos de conteúdo do trabalho foram: maior número de andares (devido à necessidade de alinhamento vertical e horizontal mais meticuloso), grandes áreas de interface entre vedações horizontais e estrutura de aço, detalhes arquitetônicos que necessitassem de peças de tamanhos únicos, conexões rígidas e soldadas e maiores travamentos diagonais. Os autores concluíram que projetos de maior complexidade conduzem a menores produtividades.

Manuais de orçamento, ao apresentarem diferentes subdivisões em seus indicadores de produtividade da mão de obra na montagem de estruturas de aço, acabam por evidenciar fatores que estão associados à variação dos mesmos:

- Page (1997) apresenta valores de produtividade da mão de obra que variam segundo peso, tipo de mão de obra, tarefa considerada e, para o caso de perfis de seção tubular, segundo o diâmetro e tipo de seção (circular ou quadrada).
- Sarviel (2014) apresenta valores de produtividade da mão de obra que variam segundo a tarefa realizada, o tipo de elemento sendo montada (colunas, vigas, vigas treliçadas etc.) e o tipo de ligação entre peças (parafusada, rebitada ou soldada).
- Ogershok e Pray (2005) apresentam dados de produtividade da mão de obra que variam segundo tipo de elemento (coluna/ viga), tipo de perfil, peso das peças e, para o caso de perfis de seção tubular, segundo o diâmetro.
- RSMEANS (2008) apresenta um amplo banco de dados de produtividade da mão de obra para o serviço de montagem de estruturas de aço. Seus indicadores variam: segundo o tipo de ligação entre as peças (solda, parafusada, rebitada, chumbadores, etc.); para ligações soldadas, segundo o tipo de processo, número de passadas, espessura e comprimento de cada passada; para ligações parafusadas, segundo o diâmetro e comprimento do parafuso; para montagem da estrutura, segundo o tipo de elemento, tipo de perfil, dimensões e peso das peças e tamanho do edifício.

Por fim, Pinho (2005) e Bellei et al. (2008) trazem uma questão importante sobre a relação entre a velocidade do movimento de içamento de um equipamento e a utilização de blocos de polias para se obter redução da carga aplicada no equipamento. Segundo Pinho (2005), “além da redução da carga, na utilização de blocos de polias ocorre uma redução da velocidade de içamento proporcional à vantagem mecânica. Esta característica será sempre positiva, pois quanto mais pesada for a carga, maior o número de polias e menor a velocidade de deslocamento (...)”. Assim, tem-se um fator a ser considerado no estudo da produtividade de equipamentos de içamento.

4. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE COLETA, PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Este capítulo desenvolve o método para coleta, processamento e análise de dados que será utilizado para a realização dessa pesquisa.

Nos Capítulos 2 e 3 foi apresentada uma ampla revisão dos conceitos relacionados ao assunto tratado por esta dissertação. Diversos tópicos e alternativas foram abordados, tanto sobre estudos de produtividade como sobre a construção de estruturas em aço para edifícios, de forma a compor um painel geral sobre o assunto e embasar as discussões posteriores. Ao longo deste e dos próximos capítulos, no entanto, é fundamental ter em mente o escopo dessa pesquisa, conforme delimitado pelo seu tema, apresentado no capítulo de Introdução. A Figura 102 retoma esse escopo, de forma a guiar uma correta interpretação e desenvolvimento desse estudo de produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios.

Figura 102. Escopo da pesquisa (elaboração do próprio autor).

Para o estudo da produtividade da mão de obra e de equipamentos na montagem da estrutura de aço de edifícios, foi desenvolvido um método baseado no Modelo dos Fatores, conforme proposto por Thomas e Yakoumis (1987). De forma complementar, utilizam-se também algumas técnicas de Medição do Trabalho, clássicas do campo da gestão da produção, e dados obtidos de fontes bibliográficas.

Apesar de o Modelo dos Fatores ter sido desenvolvido como uma alternativa ao Estudo do Trabalho, considerado limitado para o estudo de produtividade na construção civil (conforme explanado no Capítulo 2), este autor acredita que os dois métodos não são incompatíveis ou excludentes, podendo ser aplicados de maneira complementar para a obtenção de dados, de forma a fornecer maiores subsídios para a análise da produtividade do serviço em estudo e, conseqüentemente, enriquecer os resultados desta pesquisa.

Encontram-se na literatura diversos estudos sobre produtividade da mão de obra na construção civil baseados no Modelo dos Fatores. Especialmente dentro do grupo de pesquisa TGP-EPUSP, no qual este trabalho está inserido, estudos baseados nesse modelo vêm sendo desenvolvidos há quase vinte anos, podendo-se citar como exemplos as pesquisas de Souza (1996), aplicadas ao serviço de fôrmas para estruturas e concreto armado, Carraro (1998) voltada para o serviço de alvenaria, Araújo (2000) para execução de formas, armaduras, concretagem e alvenaria, Obata (2000) para estruturas de concreto armado, Librais (2001) sobre revestimentos internos com placas cerâmicas, Maeda (2002) versando sobre revestimentos internos em gesso e argamassa, Silva (2002) sobre revestimentos de argamassa para fachadas, Araújo (2005) voltada para o serviço de armação, Reis (2005) tratando sobre o serviço de montagem de coberturas com telhado e Paliari (2007) aplicada aos sistemas prediais hidráulicos. De certo modo, todos estes trabalhos contribuíram para o desenvolvimento do método aqui apresentado e que foca, por sua vez, no serviço de montagem de estruturas de aço para edifícios.

Já o estudo da produtividade dos equipamentos na construção civil encontra-se menos desenvolvido na literatura quando comparado aos estudos de produtividade da mão de obra. No entanto, faz parte deste trabalho o estudo da produtividade dos

equipamentos, especificamente os equipamentos de içamento, utilizados na montagem das estruturas de aço, por conta das justificativas apontadas no capítulo de Introdução.

O desenvolvimento do método de coleta, processamento e análise de dados consiste em uma parte fundamental do desenvolvimento do estudo de casos múltiplos que configura o método de pesquisa deste trabalho. Suas etapas apresentam-se esquematizadas na Figura 103 e serão detalhadamente desenvolvidas ao longo deste capítulo.

Figura 103. Desenvolvimento do método de coleta, processamento e análise de dados (elaboração do próprio autor).

4.1. Definição dos indicadores a serem utilizados no estudo

Uma etapa fundamental para o desenvolvimento do método de coleta, processamento e análise de dados consiste na definição dos indicadores de produtividade a serem utilizados no estudo. O Quadro 11 define como serão medidos os indicadores de produtividade da mão de obra e de equipamentos dessa pesquisa.

Quadro 11. Definição de como serão medidos os indicadores de produtividade dessa pesquisa (elaboração do próprio autor).

ENTRADA		SAÍDA		INDICADORES		
TIPO	UNIDADE	TIPO	UNIDADE	SIGLA	NOME	REL. MATEMÁTICA
INDICADORES DE PRODUTIVIDADE FÍSICA						
MÃO DE OBRA	H.h	QS	toneladas, unidades	RUP	Razão Unitária de Produção	H.h/QS
EQUIPAMENTO	h.Eq	QS	toneladas, unidades	E _f E	Eficiência de Equipamento	h.Eq/ QS
INDICADORES POR ÁREA DE PRODUTIVIDADE FÍSICA						
MÃO DE OBRA	H.h	ÁREA	m ²	MO _{área}	Consumo de mão de obra por área	H.h/ m ²
EQUIPAMENTO	h.Eq	ÁREA	m ²	Eq _{área}	Consumo de equipamento por área	h.Eq/ m ²

Como se pode observar, quatro tipos de indicadores de produtividade serão determinados nesse estudo. Os dois indicadores principais serão a RUP, para a produtividade da mão de obra, e a E_fE, para produtividade dos equipamentos. Esses indicadores balizarão as análises de dados a serem feitas posteriormente. Os dois indicadores com base em área – MO_{área} e Eq_{área} – serão apresentados de forma complementar.

No Capítulo 3, apresentaram-se os diversos subprocessos envolvidos no serviço de montagem da estrutura de aço de um edifício. A Figura 104 resgata esses conceitos, apresentando, de forma sistematizada, as interfaces entre as diferentes etapas desse serviço e as diferentes tarefas envolvidas no processo final das peças.

Figura 104. Subprocessos envolvidos no serviço de execução de estruturas de aço para edifícios (elaboração do próprio autor).

Os diferentes subprocessos podem ser divididos em três grupos:

- O grupo 1 reúne as etapas de descarregamento, estocagem, processamento intermediário e transporte. Essas etapas precedem o processamento final

das peças, isto é, a montagem de fato da estrutura. A mão de obra de produção envolvida nas atividades desse grupo pode ser considerada como sendo uma mão de obra de apoio.

- O grupo 2 envolve as quatro primeiras tarefas da etapa de processamento final das peças da estrutura, isto é, da montagem propriamente dita: amarração, içamento, posicionamento e ligação provisória. Constitui o grupo de atividades mais representativas da montagem da estrutura, sendo as principais envolvidas no estabelecimento do ritmo do serviço. Praticamente sempre necessitam do equipamento de içamento para serem realizadas, e são as atividades que mais consomem o tempo produtivo desses equipamentos. A mão de obra de produção envolvida nessas atividades pode ser denominada como mão de obra direta, e é em geral constituída apenas por montadores.
- O grupo 3 reúne as duas últimas tarefas da etapa de montagem: conferência e ligação definitiva. Notam-se algumas diferenças dessas atividades para as atividades do grupo 2. Primeiramente, essas tarefas não necessitam do uso de equipamento de içamento para serem realizadas. Além disso, essas tarefas em geral são realizadas ao mesmo tempo em que as tarefas do grupo 2 estão sendo executadas em outra área do edifício, sem prejuízo ao ritmo de produção da estrutura. Assim, apesar de a mão de obra envolvida nessas atividades também estar atuando diretamente na montagem da estrutura, opta-se por denominá-la de mão de obra direta complementar.

Para mensuração da produtividade no estudo aqui desenvolvido considera-se o segundo grupo de subprocessos como representativo da montagem da estrutura de aço para edifícios. Dessa forma, as saídas do processo de montagem em um determinado dia serão sempre a totalidade das peças da estrutura ligadas provisoriamente ao conjunto nesse dia (que serão denominadas “peças montadas”).

Essa consideração é conveniente pois reúne no grupo representativo um conjunto de subprocessos que ocorrem necessariamente todos no mesmo dia e peça a peça da estrutura, ou seja, a cada dia cada subprocesso gera necessariamente o mesmo numero de saídas intermediárias. Dessa forma, não há dificuldades em agregá-los

em um indicador único, e não se faz necessário o uso de regras de crédito para ponderação das saídas. Com relação às entradas, serão considerados os homens-hora e equipamentos-hora utilizados no serviço como um todo.

A RUP será calculada em base diária e cumulativa considerando-se como entrada as horas disponíveis dos montadores (oficiais/ meio-oficiais/ líderes). Os líderes ou encarregados de equipe, por participarem ativamente na execução das tarefas, não fazendo apenas papel de supervisão, serão considerados no cômputo do indicador. Além disso, a RUP também será descrita em função da quantidade de serviço considerada, qual seja: peso das peças montadas por dia (toneladas) ou quantidade de peças (vigas+pilares+outros) montadas por dia. Dessa forma, vão-se obter os indicadores: $RUP_{d,of,peso}$, $RUP_{d,of,peça}$, $RUP_{cum,of,peso}$ e $RUP_{cum,of,peça}$.

O cálculo da RUP para outras agregações de mão de obra será feita apenas a partir da $RUP_{cum,of,peso}$ e $RUP_{cum,of,peça}$, e por meio de *relações auxiliares* que mostrem a proporção entre as horas-homem computadas para um determinado agrupamento de mão de obra e os homens-hora dos montadores, sendo calculadas para a totalidade de um período de estudo. Dessa forma, vão-se calcular a $RUP_{cum,glob}$, para a mão de obra global de produção⁵¹, a $RUP_{cum,aj}$, para a mão de obra de ajudantes (assistentes/ auxiliares de montagem), a $RUP_{cum,sold}$, para mão de obra de soldadores e a $RUP_{cum,adm}$, para mão de obra administrativa⁵².

A E_fE será calculada em base diária e cumulativa considerando-se como entrada as horas disponíveis do equipamento de içamento. Além disso, a E_fE também será descrita em função da quantidade de serviço considerada, qual seja: peso das peças montadas por dia (toneladas) ou quantidade de peças (vigas+pilares+outros) montadas por dia. Dessa forma, vão-se obter os indicadores: $E_fE_{d,peso}$, $E_fE_{d,peça}$, $E_fE_{cum,peso}$ e $E_fE_{cum,peça}$.

⁵¹ Por mão de obra global entendem-se todos os funcionários de produção envolvidos na montagem da estrutura, em geral englobando todos os montadores, ajudantes e soldadores.

⁵² Por mão de obra administrativa entendem-se todos os funcionários da empresa de execução da montagem da estrutura de aço presentes no canteiro de obras com exceção dos montadores, ajudantes e soldadores. Assim, podem-se considerar os engenheiros de obra, estagiários, topógrafos, mestres, encarregados gerais, almoxarifes, técnicos de segurança de campo, técnicos de qualidade de campo, assistentes administrativos de obra etc.

Serão ainda calculados os indicadores de produtividade potencial para $RUP_{of,peça}$, $RUP_{of,peso}$, $E_fE_{peça}$ e E_fE_{peso} .

Os indicadores $MO_{área}$ e $Eq_{área}$ serão calculados a partir de $RUP_{cum,of,peso}$, $RUP_{cum,of,peça}$, $E_fE_{cum,peso}$ e $E_fE_{cum,peça}$ e por meio de relações auxiliares que mostrem a proporção entre o peso ou quantidade média de peças em um pavimento tipo e a área de projeção desse pavimento.

Com base no exposto, o Quadro 12 resume as definições apresentadas com relação ao que deverá ser considerado no cômputo de entradas e saídas para a composição dos indicadores de produtividade.

Quadro 12. Definição do que considerar no cômputo das entradas e saídas do serviço em estudo (elaboração do próprio autor).

INDICADOR	ENTRADA		O QUE CONSIDERA	INDICADORES DIÁRIOS	INDICADORES CUMULATIVOS	INDICADORES POTENCIAIS
RUP	MO	Homem	Número de montadores	$RUP_{d,of,peso}$	$RUP_{cum,of,peso}$	$RUP_{pot,of,peso}$
		Hora	Horas disponíveis			
	QS	kg	Peso da peças montadas	$RUP_{d,of,peça}$	$RUP_{cum,of,peça}$	$RUP_{pot,of,peça}$
		peça	Quantidade de peças (vigas ou pilares) montadas			
E _f E	EQUIP	Equipamento	Número de Gruas/ Guindastes	$E_fE_{d,peso}$	$E_fE_{cum,peso}$	$E_fE_{pot,peso}$
		Hora	Horas disponíveis			
	QS	kg	Peso da peças montadas	$E_fE_{d,peça}$	$E_fE_{cum,peça}$	$E_fE_{pot,peça}$
		peça	Quantidade de peças (vigas ou pilares) montadas			

O Quadro 13 apresenta as relações auxiliares a serem computadas para efeito de cálculo das RUP para diferentes agregações de mão de obra e dos indicadores $MO_{área}$ e $Eq_{área}$.

Quadro 13. Relações auxiliares entre diferentes agregações da mão de obra para transformação do indicador $RUP_{of,cum}$ (elaboração do próprio autor).

Sigla	Relação		Transformação	
glob:of	global: oficial	$\frac{\text{mão de obra global}}{\text{mão de obra de oficiais}}$	$RUP_{cum,of}$	$RUP_{cum,glob}$
aj:of	ajudante: oficial	$\frac{\text{quantidade de ajudantes}}{\text{mão de obra de oficiais}}$	$RUP_{cum,of}$	$RUP_{cum,aj}$
sold:of	soldador: oficial	$\frac{\text{quantidade de soldadores}}{\text{mão de obra de oficiais}}$	$RUP_{cum,of}$	$RUP_{cum,sold}$
adm:of	administração: oficial	$\frac{\text{mão de obra de administração}}{\text{mão de obra de oficiais}}$	$RUP_{cum,of}$	$RUP_{cum,adm}$
ton/m ²	tonelada/ metro quadrado	$\frac{\text{peso médio de estrutura do pav tipo}}{\text{área de projeção do pavimento tipo}}$	$RUP_{cum,of,peso}$ $E_f E_{cum,peso}$	$MO_{\text{área}}$ $Eq_{\text{área}}$
peças/m ²	peças/ metro quadrado	$\frac{\text{número médio de peças (pilares+vigas) do pavimento tipo}}{\text{área de projeção do pavimento tipo}}$	$RUP_{cum,of,peça}$ $E_f E_{cum,peça}$	$MO_{\text{área}}$ $Eq_{\text{área}}$

Além do cálculo de indicadores de produtividade, serão medidos também indicadores de ritmo de produção, de forma complementar ao estudo de produtividade. Os indicadores de ritmo de produção utilizados nesse trabalho estão indicados no Quadro 14.

Quadro 14. Indicadores de ritmo de produção adotados no estudo (elaboração do próprio autor).

Indicador	Descrição
kg/dia _{médio}	média do peso de peças montadas por dia durante todo período de estudo
kg/dia _{máximo}	peso de peças montadas no melhor dia de produção
peças/dia _{médio}	média da quantidade de peças montadas por dia durante todo período de estudo
peças/dia _{máximo}	número de peças montadas no melhor dia de produção
min/peça _{médio}	tempo em minutos para montagem de uma peça, considerando a média calculada para todo o período de estudo

4.2. Determinação dos fatores que potencialmente influenciam na produtividade do serviço

Uma segunda etapa para o desenvolvimento do método de coleta, processamento e análise de dados consiste em compreender quais são os fatores que podem potencialmente influenciar na produtividade do serviço em estudo. Assim, elaborou-

se uma listagem ampla de fatores que poderiam apresentar este tipo de influência, tomando como base:

- Entrevistas semi-estruturadas com especialistas (cujo roteiro e resultados são apresentados no APÊNDICE B deste trabalho);
- Pesquisa bibliográfica em trabalhos correlacionados e manuais de orçamentação (resultados apresentados nos itens 2.5. Variação da produtividade e 3.5. Fatores influenciadores da produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios);
- Considerações feitas pelo próprio autor com base em sua experiência e conhecimento a respeito do serviço (em especial com base nos diversos aspectos tecnológicos e construtivos das estruturas de aço apontados na revisão bibliográfica dessa dissertação).

Em seguida, faz-se necessária a seleção de alguns fatores considerados como sendo mais relevantes dentro da listagem ampla para que, efetivamente, sejam considerados na coleta, processamento e análise de dados. Esta seleção se faz necessária pois o grande número de fatores da listagem ampla tornaria a coleta, processamento e análise impraticáveis. A seleção também foi feita com base na análise técnica e criteriosa do autor.

4.2.1. Listagem ampla de fatores potencialmente influenciadores da produtividade do serviço

Apresenta-se nos Quadros 15 e 16 a listagem ampla de fatores potencialmente influenciadores na produtividade da montagem de estruturas de aço para edifícios, sendo que o Quadro 15 indica os fatores de conteúdo e o Quadro 16 os fatores de contexto.

Quadro 15. Listagem ampla de fatores de conteúdo potencialmente influenciadores da produtividade da montagem de estruturas de aço para edifícios (elaboração do próprio autor).

Listagem Ampla - Fatores de Conteúdo	
1	Tipos de componentes presentes na estrutura (chapas, perfis, barras, tubos, calandrados etc.)
2	Processo de fabricação dos componentes (perfis laminados, formados a frio, soldados ou compostos, tubos com ou sem costura etc.)
3	Geometria da seção (L, U, I, W, HP, seção redonda, quadrada etc.)
4	Peso dos componentes

5	Geometria do componente: altura, largura e comprimento
6	Tipos de elementos: pilares, vigas, travamentos, mistos, híbridos
7	Ligações soldada: tipo, posição, processo, espessura do cordão, numero de passes, comprimento do cordão, tipo de junta, tipo de chanfro
8	Ligações parafusadas: parafusos comuns/ alta resistência, à cortante/ à tração, numero de parafusos, diâmetro e comprimento do parafuso
9	Ligações com combinação solda + parafuso
10	Ligações flexíveis/ rígidas
11	Ligação viga-viga/ viga-pilar/ pilar-pilar/ nó de treliça/ concreto-aço. Solução específica utilizada
12	Facilidade/ dificuldade de execução dos elementos: vigas de partida/ vigas de bordo, pilares de periferia/ centro
13	Altura do edifício
14	Geometria do edifício
15	Detalhes construtivos que permitam maiores tolerâncias e ajustes
16	Alta/ baixa repetitividade de tarefas (peças similares, posições similares, ligações similares, andares tipo etc.)

Quadro 16. Listagem ampla de fatores de contexto potencialmente influenciadores na produtividade da montagem de estruturas de aço para edifícios (elaboração do próprio autor).

Listagem Ampla - Fatores de Contexto	
1	Tipo de equipamento de içamento utilizado
2	Gruas: condição de apoio, tipo de giro, tipo de lança, modo de equilíbrio da lança, potencias e velocidades do equipamento
3	Guindastes: tipos, potencias e velocidades do equipamento
4	Movimentos operacionais necessários para transporte das peças: tipos de movimento, distâncias de transporte de peças.
5	Dispositivos de amarração de cargas. Uso de blocos de polias. Formas de amarração.
6	Disponibilidade dos equipamentos
7	Frequencia de descargas de componentes
8	Necessidade de estocagem, local de estocagem, organização do estoque
9	Sequencia de entrega das peças
10	Sequencia de carregamento das peças no caminhão
11	Existencia de buffer nas proximidades do canteiro
12	Necessidade de processamentos intermediários
13	Necessidade de transporte interno, distâncias a serem percorridas e facilidade de deslocamento
14	Equipe de mão de obra direta envolvida em atividades de apoio
15	Reticulado metálico antes ou depois do núcleo de concreto
16	Distância mínima/ máxima entre reticulado e nucleo de concreto
17	Distância mínima/ máxima entre reticulado e execução das lajes/ peças mistas
18	Erros de fabricação dos componentes da estrutura
19	Qualidade na fabricação dos componentes da estrutura
20	Tamanho da obra
21	Duração da obra
22	Condições do solo
23	Clima e condições atmosféricas (umidade, temperatura, chuvas e ventos)

24	Logística de acesso à obra
25	Disponibilidade de recursos na região da obra
26	Regulamentação governamental da região
27	Características sociológicas e econômicas da região
28	Capacitação da equipe de gestão
29	Programas e procedimentos internos (qualidade, segurança, treinamentos)
30	Planejamento e sequência de serviços (e mudança das mesmas)
31	Congestionamento de frentes de serviço
32	Ações para motivação dos funcionários
33	Presença, intensidade e forma de supervisão
34	Características físicas do canteiro (espaço, acessos, distâncias, logística interna, etc.)
35	Condições e salubridade do canteiro
36	Tamanho e composição das equipes
37	Segurança do trabalho e acidentes
38	Disponibilidade de informação
39	Disponibilidade de materiais
40	Disponibilidade de ferramentas e equipamentos
41	Jornada de trabalho
42	Esperas e atrasos por problemas de gestão
43	Retrabalho causado por problemas de gestão
44	Rotatividade de operários/ estabilidade
45	Falhas no processo de projeto (modificações tardias e incompatibilidades)
46	Remuneração da mão de obra (valor/ pagamento em dia/ prêmios, etc.)
47	Capacitação para execução do serviço
48	Automotivação
49	Relacionamento entre membros das equipes
50	Ter trabalhado juntos anteriormente
51	Retrabalhos por falha de execução
52	Fadiga e problemas físicos
53	Problemas pessoais
54	Faltas

4.2.2. Seleção dos fatores potencialmente influenciadores da produtividade do serviço a serem estudados

Apresentam-se a seguir vinte fatores potencialmente influenciadores da produtividade do serviço que foram selecionados para serem estudados. Optou-se por dividi-los em fatores quantitativos e qualitativos, de forma a facilitar a posterior análise de dados. O Quadro 17 indica os fatores de caráter quantitativo selecionados, bem como sua forma de medição. O Quadro 18 indica os fatores de

caráter qualitativo, bem como as possíveis situações que podem ser encontradas para cada um.

Quadro 17. Fatores quantitativos selecionados para o estudo de produtividade (elaboração do próprio autor).

Fatores Quantitativos Selecionados		
Fator	Indicador	Forma de cálculo
Peso do componente	ton/pç	Soma dos pesos de vigas + pilares/ (número de pilares + número de vigas) no pavimento tipo
Tipo de elemento	%Pilar	Número de pilares/ (número de pilares + número de vigas) no pavimento tipo
Ligações	NParaf/lig	Número de parafusos em ligações viga-viga e viga-pilar/ (número de ligações viga-viga + viga-pilar) no pavimento tipo
	%LigVP	Número de ligações viga-pilar/ (número de ligações viga-viga + viga-pilar + viga-concreto) no pavimento tipo
	%LigVC	Número de ligações viga-concreto/ (número de ligações viga-viga + viga-pilar + viga-concreto) no pavimento tipo
Altura	PD	Pé direito do pavimento tipo
	Pav	Altura máxima do pavimento onde se realiza a montagem, medido a partir do nível da rua
Geometria do edifício	A	Área do pavimento tipo
	Per/A	Perímetro do pavimento tipo dividido pela área correspondente
	l1/l2	Maior lado do pavimento tipo/ lado perpendicular a ele
	%VigasBord	Número de vigas de bordo/ número total de vigas no pavimento tipo
	%PilarPerif	Número de pilares de periferia/ número total de pilares no pavimento tipo
Quantidade de equipamentos	QuantEquip	Número de equipamentos por torre
Disponibilidade de equipamento	DispEquip	%tempo que o equipamento de içamento fica efetivamente engajado na montagem (tempo disponível/ tempo útil)
Composição da mão de obra	aj:of	Média da relação mão de obra de ajudantes/ mão de obra de oficiais em determinado período
	sold:of	Média da relação mão de obra de soldadores/ mão de obra de oficiais em determinado período
Supervisão	adm:of	Média da relação mão de obra de administração/ mão de obra de oficiais em determinado período

Quadro 18. Fatores qualitativos selecionados para o estudo de produtividade (elaboração do próprio autor).

Fatores Qualitativos Selecionados		
Fator	Indicador	Possibilidades
Geometria da seção	GeomSV	Geometria da seção dos perfis das vigas - L, U, I, W, HP, seção redonda, quadrada, etc.
	GeomSP	Geometria da seção dos perfis dos pilares - L, U, I, W, HP, seção redonda, quadrada, etc.
Tipo de equipamento	TipoEquip	Grua/ Guindaste

4.3. Consolidação do método de coleta, processamento e análise de dados

Tendo-se definidos os indicadores a serem utilizados no estudo e selecionados os fatores cuja potencial influência na produtividade será estudada, apresenta-se, a seguir, a consolidação do método de coleta, processamento e análise de dados.

A coleta e processamento de dados será realizada de duas formas:

- No âmbito de cada estudo de caso que compõe esse trabalho, por meio de pesquisa de campo – visitas técnicas do pesquisador às obras – e pesquisa documental – projetos de estrutura dos edifícios, diários de obra, controles de montagem e registros do ritmo de produção elaborados pelas próprias equipes das obras.
- De forma complementar, por meio de pesquisa bibliográfica em manuais de orçamento e outras publicações que tratem do assunto em estudo.

Os produtos da etapa de coleta e processamento de dados serão apresentados no Capítulo 5 dessa dissertação.

Com relação à análise dos dados, as análises a serem realizadas serão divididas em quatro etapas:

- Análise intraobra, com base no Modelo dos Fatores;
- Análise interobras, com base no Modelo dos Fatores;
- Análise comparativa entre as informações oriundas das técnicas de medida do trabalho e as informações oriundas do Modelo dos Fatores;
- Análise comparativa entre as informações oriundas da pesquisa bibliográfica e as informações oriundas dos estudos de caso.

O desenvolvimento das análises de dados, bem como seus produtos, será apresentado no Capítulo 6 dessa dissertação.

4.3.1. Coleta e processamento de dados - Estudos de Caso

Os dados provenientes dos estudos de caso podem ser divididos em dois grupos: dados coletados e processados para posterior análise segundo o Modelo dos Fatores, e dados coletados e processados segundo técnicas de medida do trabalho,

em especial estudo de tempos e amostragem do trabalho. Todos os dados serão coletados e processados por meio de planilhas e gráficos em Microsoft Excel.

4.3.1.1. Coleta e processamento de dados - Modelo dos Fatores

O Quadro 19 apresenta um modelo de planilha utilizado para coleta de entradas e saídas do processo de montagem de estrutura de aço do edifício de uma obra genérica. Nota-se que, para cada dia de produção, serão coletados dados referentes à mão de obra e equipamentos utilizados e quantidade de serviço produzida naquele dia.

Quadro 19. Modelo de planilha para coleta de entradas e saídas (elaboração do próprio autor).

Quadro 15: Modelo de planilha para coleta de entradas e saídas (elaboração do próprio autor).

PLANILHA DE COLETA DE ENTRADAS E SAÍDAS - OBRA X1												
MÃO DE OBRA						EQUIPAMENTO		QUANTIDADE DE SERVIÇO				
	OFICIAL	AJUDANTE	SOLDADOR	MO GLOBAL	MO ADM	GRUA 1	GRUA 2	PESO	PILAR	VIGAS	OUTROS	PEÇAS
DIAS	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh	Eq.h	Eq.h	t	unid	unid	unid	unid
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁ = A ₁ +B ₁ +C ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₁ = I ₁ +J ₁ +K ₁
2	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂ = A ₂ +B ₂ +C ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂	I ₂	J ₂	K ₂	L ₂ = I ₂ +J ₂ +K ₂
3	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃ = A ₃ +B ₃ +C ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃	I ₃	J ₃	K ₃	L ₃ = I ₃ +J ₃ +K ₃
4	A ₄	B ₄	C ₄	D ₄ = A ₄ +B ₄ +C ₄	E ₄	F ₄	G ₄	H ₄	I ₄	J ₄	K ₄	L ₄ = I ₄ +J ₄ +K ₄
5	A ₅	B ₅	C ₅	D ₅ = A ₅ +B ₅ +C ₅	E ₅	F ₅	G ₅	H ₅	I ₅	J ₅	K ₅	L ₅ = I ₅ +J ₅ +K ₅

Os dados de mão de obra serão coletados em Hh e separados em função da especialização (oficial, ajudante ou soldador), cuja soma compõe a mão de obra global de produção. Também serão computados os Hh referentes à mão de obra de administração. Os dados de equipamentos serão coletados em Eq.h, e separados para os diferentes equipamentos de içamento que eventualmente sejam utilizados na produção da estrutura.

Já os dados de quantidade de serviço serão computados em peso de peças montadas (toneladas) e por quantidade de peças montadas (unidades), sendo as quantidades por peças separadas em pilar, viga (acima de 1m de comprimento) e outros (vigas menores que 1 m, escadas etc.), cuja soma compõe o total de peças montadas em um dia.

O Quadro 20 apresenta um modelo de planilha de processamento dos dados coletados, de forma a calcular os indicadores de produtividade.

Quadro 20. Modelo de planilha de processamento de dados – cálculo de indicadores (elaboração do próprio autor).

PLANILHA DE CÁLCULO DOS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE FÍSICA - OBRA X1												
DIAS	RUP _{of,peso}			RUP _{of,peça}			EfE _{peso}			EfE _{peça}		
	DIARIA	ACUM	POT	DIARIA	ACUM	POT	DIARIA	ACUM	POT	DIARIA	ACUM	POT
1	$M_1 = A_1/H_1$	$N_1 = M_1$	MEDIANA [$M_i > N_5$]	$O_1 = A_1/L_1$	$P_1 = O_1$	MEDIANA [$O_i > P_5$]	$Q_1 = (F_1+G_1)/H_1$	$R_1 = Q_1$	MEDIANA [$Q_i > R_5$]	$S_1 = (F_1+G_1)/L_1$	$T_1 = S_1$	MEDIANA [$Q_i > R_5$]
2	$M_2 = A_2/H_2$	$N_2 = N_1 + M_2$		$O_2 = A_2/L_2$	$P_2 = P_1 + O_2$		$Q_2 = (F_2+G_2)/H_2$	$R_2 = R_1 + Q_2$		$S_2 = (F_2+G_2)/L_2$	$T_2 = T_1 + S_2$	
3	$M_3 = A_3/H_3$	$N_3 = N_2 + M_3$		$O_3 = A_3/L_3$	$P_3 = P_2 + O_3$		$Q_3 = (F_3+G_3)/H_3$	$R_3 = R_2 + Q_3$		$S_3 = (F_3+G_3)/L_3$	$T_3 = T_2 + S_3$	
4	$M_4 = A_4/H_4$	$N_4 = N_3 + M_4$		$O_4 = A_4/L_4$	$P_4 = P_3 + O_4$		$Q_4 = (F_4+G_4)/H_4$	$R_4 = R_3 + Q_4$		$S_4 = (F_4+G_4)/L_4$	$T_4 = T_3 + S_4$	
5	$M_5 = A_5/H_5$	$N_5 = N_4 + M_5$		$O_5 = A_5/L_5$	$P_5 = P_4 + O_5$		$Q_5 = (F_5+G_5)/H_5$	$R_5 = R_4 + Q_5$		$S_5 = (F_5+G_5)/L_5$	$T_5 = T_4 + S_5$	

Conforme se pode observar, os dados coletados serão utilizados para o cálculo de cada um dos indicadores principais considerados na pesquisa - RUP_{of,peça} (Hh/peça), RUP_{of,peso} (Hh/t), EfE_{peça} (Eq.h/peça) e EfE_{peso} (Eq.h/t) – expressos na forma diária, cumulativa e potencial.

O Quadro 21 mostra o modelo de planilha para cômputo dos vinte fatores influenciadores da produtividade a serem medidos para cada obra. Entretanto, para três desses fatores – ton/peça, %Pilar e DispEquip – será realizada a medição de seu valor a cada dia de produção, e não apenas de um único valor representativo para toda a obra/ período de estudo. Essa opção se deve ao fato de se acreditar que a observação da variação diária desses fatores poderá permitir a posterior análise de seu impacto nos indicadores de produtividade diárias da montagem. O Quadro 22 mostra o modelo de planilha utilizado para cômputo desses quatro fatores com variação diária.

Quadro 21. Modelo de planilha de coleta e processamento para cômputo dos fatores influenciadores – fatores representativos por obra (elaboração do próprio autor).

FATORES INFLUENCIADORES - OBRA X1	
Fator	Valor
ton/pç	$FAT1 = \sum H_i / \sum L_i$
%Pilar	$FAT2 = \sum I_i / \sum L_i$
Nparaf/lig	FAT3
%LigVP	FAT4
%LigVC	FAT5
PD	FAT6
Pav	FAT7
A	FAT8
Per/A	FAT9
I1/I2	FAT10
%VigasBord	FAT11
%PilarPerif	FAT12
QuantEquip	FAT13
DispEquip	FAT14
aj:of	$FAT15 = \sum B_i / \sum A_i$
sold:of	$FAT16 = \sum C_i / \sum A_i$
adm:dir	$FAT17 = \sum E_i / \sum A_i$
GeomSV	FAT18
GeomSP	FAT19
TipoEquip	FAT20

Quadro 22. Modelo de planilha de coleta e processamento para cômputo dos fatores influenciadores com variação diária (elaboração do próprio autor).

FATORES COM VARIAÇÃO DIÁRIA - OBRA X1			
DIAS	ton/pç	%Pilar	DispEquip
1	H_1/L_1	I_1/L_1	V_1
2	H_2/L_2	I_1/L_1	V_2
3	H_3/L_3	I_1/L_1	V_3
4	H_4/L_4	I_1/L_1	V_4
5	H_5/L_5	I_1/L_1	V_5

O Quadro 23 apresenta o modelo de planilha de coleta e processamento de dados para a determinação das relações auxiliares. Como se pode observar, serão calculadas as relações glob:of, aj:of, sold:of, ton/m² e peças/m². Com base nessas relações, serão calculados os indicadores de produtividade para outras agregações de mão de obra e os indicadores por área de produtividade física, conforme mostrado nos Quadros 24 e 25.

Quadro 23. Modelo de planilha de coleta e processamento para determinação das relações auxiliares (elaboração do próprio autor).

RELAÇÕES AUXILIARES - OBRA X1	
Relação	Valor
glob:of	$REL1 = \sum D_i / \sum A_i$
aj:of	$REL2 = \sum B_i / \sum A_i$
sold:of	$REL3 = \sum C_i / \sum A_i$
adm:of	$REL4 = \sum E_i / \sum A_i$
ton/m ²	REL5
peças/m ²	REL6

Quadro 24. Modelo de planilha de processamento para cálculo das RUP para outras agregações de mão de obra (elaboração do próprio autor).

RUP PARA OUTRAS AGREGAÇÕES DE MO - OBRA X1	
$RUP_{cum, glob, peso}$	$RUP_{cum, of, peso} \times (glob:of)$
$RUP_{cum, aj, peso}$	$RUP_{cum, of, peso} \times (aj:of)$
$RUP_{cum, sold, peso}$	$RUP_{cum, of, peso} \times (sold:of)$
$RUP_{cum, adm, peso}$	$RUP_{cum, of, peso} \times (adm:of)$
$RUP_{cum, glob, peça}$	$RUP_{cum, of, peça} \times (glob:of)$
$RUP_{cum, aj, peça}$	$RUP_{cum, of, peça} \times (glob:of)$
$RUP_{cum, sold, peça}$	$RUP_{cum, of, peça} \times (glob:of)$
$RUP_{cum, adm, peça}$	$RUP_{cum, of, peça} \times (glob:of)$

Quadro 25. Modelo de planilha de processamento para cálculo dos indicadores por área de produtividade física (elaboração do próprio autor).

INDICADORES POR ÁREA DE PRODUTIVIDADE FÍSICA - OBRA X1	
Indicador	Valor
$MO_{\text{área}}$	MÉDIA ($RUP_{cum, of, peso} \times \text{ton/m}^2$; $RUP_{cum, of, peça} \times \text{peças/m}^2$)
$Eq_{\text{área}}$	MÉDIA ($E_f E_{cum, peso} \times \text{ton/m}^2$; $E_f E_{cum, peça} \times \text{peças/m}^2$)

Por fim, o Quadro 26 apresenta um modelo de planilha de processamento de dados para o cálculo dos indicadores de ritmo de produção. Nota-se que o indicador $\text{min/peça}_{\text{médio}}$ faz a consideração de um dia médio de trabalho como tendo 9 horas, ou seja, 540 minutos.

Quadro 26. Modelo de planilha de processamento para cálculo dos indicadores de ritmo de produção (elaboração do próprio autor).

INDICADORES DE RITMO DE PRODUÇÃO - OBRA X1	
Indicador	Valor
$\text{ton/dia}_{\text{médio}}$	MÉDIA (H_i)
$\text{ton/dia}_{\text{máximo}}$	MÁXIMO (H_i)
$\text{peças/dia}_{\text{médio}}$	MÉDIA (L_i)
$\text{peças/dia}_{\text{máximo}}$	MÁXIMO (L_i)
$\text{min/peça}_{\text{médio}}$	540/ MÉDIA (L_i)

Ao final da etapa de coleta e processamento de dados segundo o Modelo dos Fatores, vai-se obter como produto um conjunto de informações que caracterizam a produtividade na montagem da estrutura de aço do edifício considerado no estudo de caso. Para cada um dos estudos de caso, essas informações serão apresentadas:

- Por meio de quatro gráficos, que ilustram o conjunto total de valores assumidos pelos indicadores de produtividade diários, cumulativos e potencial obtidos para obra ao longo de todo período de estudo, para cada um dos quatro indicadores principais: $\text{RUP}_{\text{of,peça}}$ (Hh/peça), $\text{RUP}_{\text{of,peso}}$ (Hh/t), $E_f E_{\text{peça}}$ (Eq.h/peça) e $E_f E_{\text{peso}}$ (Eq.h/t). Exemplos desses gráficos são mostrados nas Figuras 105, 106, 107 e 108.
- Por meio de um gráfico que ilustre o ritmo de produção em peças/meses em função dos meses que constituem o período de estudo.
- Por meio de um quadro resumo com todas as informações levantadas na etapa de coleta e processamento de dados: indicadores de produtividade física, fatores influenciadores, relações auxiliares, RUPs para outras agregações de mão de obra, indicadores por área de produtividade e

indicadores de ritmo de produção. Exemplo desse quadro é apresentado na Figura 109.

Figura 105. Exemplo de gráfico da $RUP_{d,of,peso}$ / $RUP_{cum,of,peso}$ / $RUP_{pot,of,peso}$ (Hh/t) x dias do período de estudo (elaboração do próprio autor).

Figura 106. Exemplo de gráfico da $RUP_{d,of,peça}$ / $RUP_{cum,of,peça}$ / $RUP_{pot,of,peça}$ (Hh/peça) x dias do período de estudo (elaboração do próprio autor).

Figura 107. Exemplo de gráfico da $E_f E_{d,peso} / E_f E_{cum,peso} / E_f E_{pot,peso}$ (h.Eq/t) x dias do período de estudo (elaboração do próprio autor).

Figura 108. Exemplo de gráfico da $E_f E_{d,peça} / E_f E_{cum,peça} / E_f E_{pot,peça}$ (h.Eq/peça) x dias do período de estudo (elaboração do próprio autor).

OBRA X1			
Produtividade da mão de obra		Produtividade de equipamentos	
Indicador	Valor	Indicador	Valor
RUP cumulativa		EfEs cumulativa	
RUP _{cum,of,peso}		E _f E _{cum,peso}	
RUP _{cum,of,peça}		E _f E _{cum,peça}	
RUP potencial		EfEs potencial	
RUP _{pot,of,peso}		E _f E _{pot,peso}	
RUP _{pot,of,peça}		E _f E _{pot,peça}	
RUP diária [mín; max]		EfE diária [mín; max]	
RUP _{d,of,peso}		E _f E _{d,peso}	
RUP _{d,of,peça}		E _f E _{d,peça}	
Fatores influenciadores da produtividade			
Fator	Valor	Fator	Valor
ton/pç		%VigasBord	
%Pilar		%PilarPerif	
Nparaf/lig		QuantEquip	
%LigVP		DispEquip	
%LigVC		aj:of	
PD		sold:of	
Pav		adm:dir	
A		GeomSV	
Per/A		GeomSP	
l1/l2		TipoEquip	
Relações Auxiliares		RUP para outras agregações de MO	
Relação	Valor	Indicador	Valor
glob:of		RUP _{cum,glob,peso}	
aj:of		RUP _{cum,aj,peso}	
sold:of		Rucum,sold _{,peso}	
adm:of		RUP _{cum,adm,peso}	
ton/m ²		RUP _{cum,glob,peça}	
peças/m ²		RUP _{cum,aj,peça}	
Indicadores de ritmo de produção		RUP para outras agregações de MO	
Indicador	Valor	Indicador	Valor
ton/dia _{médio}		RUP _{cum,sold,peça}	
ton/dia _{máximo}		RUP _{cum,adm,peça}	
peças/dia _{médio}		Indicadores por área de produtividade	
peças/dia _{máximo}		Indicador	Valor
min/peça _{médio}		MO _{área}	
		E _q _{área}	

Figura 109. Exemplo de quadro resumo da etapa de coleta e processamento de dados (elaboração do próprio autor).

4.3.1.2. Coleta e processamento de dados segundo técnicas de Medição do Trabalho

As técnicas de medição do trabalho utilizadas nesse estudo de produtividade foram a amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento e de uma equipe de mão de obra direta e o estudo do tempo do serviço de montagem da estrutura de aço de um edifício.

- Amostragem do Trabalho

Para a amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, primeiramente definem-se onze atividades nas quais os equipamentos podem estar engajados ao longo de um dia de trabalho:

- Produção – montagem: quando o equipamento está efetivamente engajado em alguma tarefa que constitua o processo de montagem de peças da estrutura de aço do edifício (incluindo descarregamento e movimentação de peças pela obra).
- Uso de equipamento para outras atividades: quando a grua foi utilizada para outras atividades não envolvidas com a montagem de peças da estrutura de aço do edifício como, por exemplo, movimentação de fôrmas e armação do núcleo, içamento de bandejas, içamento de peças de fachada etc.
- Pausa para almoço/jantar: equipamento parado por conta de ausência de operador que se encontra em horário de almoço.
- Pausa para manutenção: equipamento parado por conta de quebra ou manutenções do próprio equipamento, programadas ou não.
- Pausa por falta de energia: equipamento parado por conta de falta de alimentação elétrica.
- Pausa para telescopagem: equipamento parado por conta de operações de ascensão de guias quer sejam fixas ou ascensionais, ou movimentação e patola de guindastes móveis.
- Pausa para DDS: equipamento parado por conta de ausência de operador que se encontra em horário de Diálogo Diário de Segurança.

- Pausa por vento: equipamento parado por conta de velocidade dos ventos no local ultrapassarem velocidade limite para operação do equipamento com segurança.
- Pausa por chuva: equipamento parado por conta de força de chuvas no local ultrapassarem limite para operação do equipamento com segurança.
- Pausa por falta de sinaleiro ou operador: equipamento parado por conta de ausência de sinaleiro ou operador do equipamento, seja por falta ou atraso.
- Outros: quaisquer outras atividades nas quais o equipamento de içamento esteja engajado e que não se encaixam nos tipos descritos anteriormente.

Essas diferentes atividades serão divididas em três categorias, conforme os tipos de horas de equipamento aos quais se relacionam: horas disponíveis trabalhadas, horas disponíveis não trabalhadas e horas indisponíveis. O Quadro 27 apresenta essa relação.

Quadro 27. Relação entre atividades e horas de equipamento (elaboração do próprio autor).

AMOSTRAGEM DO TRABALHO - ATIVIDADES X HORAS DE EQUIPAMENTO	
ATIVIDADES	HORAS DE EQUIPAMENTO
PRODUÇÃO - MONTAGEM	DISPONÍVEL TRABALHADA
USO DO EQUIPAMENTO PARA OUTRAS ATIVIDADES	INDISPONÍVEL
PAUSA PARA ALMOÇO/JANTA	
PAUSA PARA MANUTENÇÃO	
PAUSA POR FALTA DE ENERGIA	
PAUSA PARA TELESCOPAGEM	
PAUSA PARA DDS	DISPONÍVEL NÃO TRABALHADA
PAUSA POR VENTO	
PAUSA POR CHUVA	
PAUSA POR FALTA DE SINALEIRO OU OPERADOR	
OUTROS	

O Quadro 28 apresenta o modelo de planilha de coleta para estudo de amostragem do trabalho de equipamento de içamento utilizada nessa pesquisa. Nota-se que, em cada dia de produção, serão realizadas diversas observações instantâneas para determinado equipamento de içamento, marcando-se em que tipo de atividade esse equipamento encontra-se engajado. As observações serão feitas com espaçamento de 15 a 30 minutos entre si, ao longo de todo o dia de produção do equipamento.

Quadro 28. Modelo de planilha de coleta para estudo de amostragem do trabalho de equipamentos de içamento. Ai a Ki são o número de observações instantâneas obtidas a cada dia, para cada atividade (elaboração do próprio autor).

AMOSTRAGEM DO TRABALHO - GRUA 1											
DIAS	PRODUÇÃO - MONTAGEM	USO DO EQUIPAMENTO PARA OUTRAS ATIVIDADES	PAUSA PARA ALMOÇO/ JANTA	PAUSA PARA MANUTENÇÃO	PAUSA POR FALTA DE ENERGIA	PAUSA PARA TELESOPAGEM	PAUSA PARA DDS	PAUSA POR VENTO	PAUSA POR CHUVA	PAUSA POR FALTA DE SINALEIRO OU OPERADOR	OUTROS
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁
2	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂	I ₂	J ₂	K ₂
3	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃	I ₃	J ₃	K ₃
4	A ₄	B ₄	C ₄	D ₄	E ₄	F ₄	G ₄	H ₄	I ₄	J ₄	K ₄
5	A ₅	B ₅	C ₅	D ₅	E ₅	F ₅	G ₅	H ₅	I ₅	J ₅	K ₅

Para cada dia de produção, as observações serão ainda classificadas em uma planilha resumo segundo o tipo de hora de equipamento que representam. O Quadro 29 apresenta um modelo dessa planilha.

Quadro 29. Modelo de planilha resumo para estudo de amostragem do trabalho de equipamentos de içamento (elaboração do próprio autor).

AMOSTRAGEM DO TRABALHO - GRUA 1 - RESUMO			
DIAS	DISPONÍVEIS TRABALHADAS	INDISPONÍVEL	DISPONÍVEIS NÃO TRABALHADAS
1	A ₁	B ₁ +C ₁ +D ₁ +E ₁ +F ₁	G ₁ +H ₁ +I ₁ +J ₁ +K ₁
2	A ₂	B ₂ +C ₂ +D ₂ +E ₂ +F ₂	G ₂ +H ₂ +I ₂ +J ₂ +K ₂
3	A ₃	B ₃ +C ₃ +D ₃ +E ₃ +F ₃	G ₃ +H ₃ +I ₃ +J ₃ +K ₃
4	A ₄	B ₄ +C ₄ +D ₄ +E ₄ +F ₄	G ₄ +H ₄ +I ₄ +J ₄ +K ₄
5	A ₅	B ₅ +C ₅ +D ₅ +E ₅ +F ₅	G ₅ +H ₅ +I ₅ +J ₅ +K ₅
TOTAL	$T1 = \sum A_i$	$T2 = \sum (B_i+C_i+D_i+E_i+F_i)$	$T3 = \sum (G_i+H_i+I_i+J_i+K_i)$

Ao final do período de estudo, vai-se estabelecer uma proporção entre as diferentes observações realizadas, seja entre tipos de atividades, seja entre tipos de horas de equipamento. Esses resultados constituem o produto do estudo de amostragem do trabalho, e serão apresentados graficamente. As Figuras 110 e 111 ilustram exemplos desses gráficos.

Figura 110. Exemplo de gráfico de amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, por atividade (elaboração do próprio autor).

Figura 111. Exemplo de gráfico de amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, por tipo de hora (elaboração do próprio autor).

Para a amostragem do trabalho de uma equipe de mão de obra direta, serão utilizados os resultados de um estudo de amostragem contratado pela empresa construtora responsável por uma das obras que se constitui em estudo de caso desse trabalho. Maiores detalhes com relação a esse estudo serão apresentados na seção correspondente do Capítulo 5.

- Estudo do tempo

Para o estudo do tempo, serão considerados os seguintes elementos, pertencentes ao grupo 2 de tarefas definido anteriormente:

- Amarração da peça: considera-se que essa tarefa se inicia quando um membro da equipe de descarregamento recebe a eslinga para amarração da carga e finaliza quando os cabos da eslinga são tencionados no momento imediatamente antes da subida da carga.
- Içamento da peça: considera-se que essa tarefa se inicia ao fim da amarração e finaliza no momento em que algum membro da equipe de mão de obra direta recebe o cabo guia da peça que está sendo içada.
- Posicionamento da peça: considera-se que essa tarefa se inicia ao fim do içamento e finaliza no momento em que um montador trava a viga na sua posição por meio da inserção de uma espina em um dos orifícios dos parafusos.
- Ligação provisória da peça: considera-se que essa tarefa se inicia ao fim do posicionamento e finaliza no momento em que a eslinga é liberada da peça que foi provisoriamente ligada.
- Retorno do moitão: para completar o ciclo de instalação de uma peça, considera-se que essa tarefa se inicia ao fim da ligação provisória e finaliza quando um membro da equipe de descarregamento recebe a eslinga para amarração de uma nova carga.

Também serão considerados os seguintes elementos pertencentes ao grupo 1 de tarefas definido anteriormente:

- Amarração para descarga no estoque: considera-se que essa tarefa se inicia quando um membro da equipe de descarregamento recebe a eslinga

para amarração da carga e finaliza quando os cabos da eslinga são tencionados no momento imediatamente antes da subida da carga.

- Içamento das peças, derrubada e volta do moitão: considera-se que essa tarefa se inicia ao fim da amarração e finaliza quando um membro da equipe de descarregamento recebe a eslinga para amarração de uma nova carga.

Apresenta-se na Tabela 5 o modelo de tabela utilizado para o estudo, no qual são registradas diversas observações para cada um dos elementos, com a cronometragem do tempo despendido e a atribuição de um fator de ritmo. Com base nessas observações, são calculados os tempos normais, o tempo normal médio, atribuídas tolerâncias e determinado o tempo padrão de cada elemento.

Tabela 5. Modelo de tabela para estudo do tempo das tarefas dos Grupos 1 e 2 (elaboração do próprio autor).

Elemento		Observação									Tempo normal médio	Tolerância	Tempo padrão do elemento
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Amarração da peça	Tempo observado												
	FR												
	Tempo normal												
Içamento da peça	Tempo observado												
	FR												
	Tempo normal												
Posicionamento da peça	Tempo observado												
	FR												
	Tempo normal												
Ligação provisória da peça	Tempo observado												
	FR												
	Tempo normal												
Retorno do moitão	Tempo observado												
	FR												
	Tempo normal												
Amarração para descarga no estoque	Tempo observado												
	FR												
	Tempo normal												
Içamento das peças, derrubada e volta do moitão	Tempo observado												
	FR												
	Tempo normal												

4.3.2. Coleta e processamento de dados - Pesquisa Bibliográfica

De forma a complementar o estudo de produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios, realizada nessa dissertação por meio da metodologia por estudo de casos, optou-se também por realizar uma coleta e processamento de dados

oriundos de fontes bibliográficas, tais como manuais de orçamentação e publicações sobre o tema em estudo.

O objetivo dessa pesquisa bibliográfica é que esse trabalho leve em consideração dados de produtividade que já tenham sido levantados por outros autores, possibilitando análises mais completas dos dados obtidos nos estudos de caso e, conseqüentemente, conferindo maior robustez aos resultados desse estudo.

Observa-se que o maior desafio com relação à consideração de dados bibliográficos é compreender a forma como foram coletados e processados pela fonte original, de forma a evitar erros na análise conjunta e comparativa com as informações dos estudos de caso, que por sua vez foram coletados e processados segundo um método homogêneo e específico, detalhadamente descrito nesse capítulo. Assim, o processamento dos dados oriundos de fontes bibliográficas compreenderá, em muitos casos, a transformação da informação da forma que está na fonte para algo mais próximo do que se adota como conceito nessa pesquisa. Isso deverá ser feito caso a caso, dependendo da forma como os dados bibliográficos forem encontrados.

Como produto dessa etapa de pesquisa, vai-se obter um conjunto organizado de indicadores de produtividade, devidamente processados de forma a obterem um formato o mais próximo possível do estabelecido para os estudos de caso desse trabalho, permitindo assim a posterior análise conjunta e comparativa com os dados oriundos dos estudos de caso.

4.3.3. Análise de Dados

A análise de dados consiste na exploração e interpretação dos dados que foram coletados e convenientemente processados na etapa anterior, buscando extrair deles conclusões relativas aos objetivos dessa pesquisa, isto é, a quantificação da influência de fatores sobre a produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios.

Conforme mencionado anteriormente, a análise de dados desse trabalho se divide em quatro etapas: análise intraobra com base no Modelo dos Fatores, análise interobras com base no Modelo dos Fatores, análise comparativa entre as informações oriundas das técnicas de medida do trabalho e as informações oriundas do Modelo dos Fatores e análise comparativa entre as informações oriundas da pesquisa bibliográfica e as informações oriundas dos estudos de caso. Cada uma dessas etapas é detalhada a seguir.

4.3.3.1. Análises com base no Modelo dos Fatores

Segundo o Modelo dos Fatores, a variação na produtividade de uma equipe na execução de um determinado serviço da construção civil se deve à presença de fatores de conteúdo e contexto. Esse modelo foi detalhadamente explicado no Capítulo 2 dessa dissertação. No entanto, busca-se aqui aprofundar um pouco esses conceitos, de forma a operacionalizar as análises que serão feitas posteriormente.

- **Análise intra e interobras**

De modo geral em serviços da construção civil, ao se observar o comportamento de indicadores de produtividade em base diária, nota-se expressiva variação nos valores assumidos por esses indicadores ao longo de um período de estudo, mesmo em se tratando de uma mesma obra. Quando se comparam diferentes obras, observam-se ainda variações nos valores assumidos pelos indicadores de produtividade cumulativa e potencial de cada uma.

De fato, todas essas variações podem ser explicadas pela variação dos fatores influenciadores da produtividade, sejam eles de conteúdo ou de contexto do trabalho, conforme postulado pelo Modelo dos Fatores. No entanto, pode ser interessante, para fins de análise, olhar separadamente as variações observadas em nível dos indicadores diário em uma mesma obra e as variações observadas em nível dos indicadores cumulativo e potencial para diferentes obras.

Assim, para as variações encontradas em nível dos indicadores diários de uma mesma obra, em geral nota-se que a produtividade em alguns dias do período de estudo se destaca de forma muito significativa da observada nos demais dias. Essa variação extremada em alguns dias da produção em geral se explica por conta de anormalidades que, conforme foi explicado no Capítulo 2, são afastamentos acentuados quanto às características regulares de conteúdo e contexto do serviço em execução. Exemplos de eventos que podem ser considerados anormalidades comumente encontradas na construção civil são a falta de material, a quebra de equipamentos, a não liberação de frente por um serviço predecessor, dentro outros.

Excluindo-se os dias em que ocorreram anormalidades, ainda assim vai-se observar certa variação nos valores assumidos pelos indicadores de produtividade diária. Isso se observa pois é natural que ocorram pequenas variações no conteúdo e contexto de um serviço da construção civil de um dia de produção para o outro, mesmo em se tratando de uma mesma obra. Entretanto, essa variação pode ser maior ou menor dependendo do tipo de serviço em estudo e da forma como o indicador foi constituído. Exemplos desse tipo de variação diária de conteúdo e contexto do trabalho são os mais diversos, indo, por exemplo, da montagem de peças de diferentes tamanhos a cada dia de produção de uma estrutura de aço, até a indisposição de um determinado membro da equipe em um dia de montagem por conta de uma noite mal dormida.

Considerando-se a definição dada no Capítulo 2 para indicador cumulativo – produtividade acumulada ao longo de um período de estudo, sendo um valor representativo da produtividade efetivamente alcançada em uma obra – e potencial - produtividade de bom desempenho em determinada obra, possível de ser alcançada, embora de difícil constância por vários dias seguidos – pode-se interpretar a diferença entre o valor assumido por eles em determinada obra como uma medida da influência conjunta das anormalidades e da variação diária de conteúdo e contexto do trabalho sobre a produtividade. A essa diferença vai-se denominar $\Delta RUP_{cum} - RUP_{pot}$ ou $\Delta EfE_{cum} - EfE_{pot}$. A Figura 112 exemplifica a questão da variação em indicadores de base diária.

Figura 112. Variação intraobra em indicadores de produtividade com base diária (elaboração do próprio autor).

Em se tratando das variações observadas em nível dos indicadores cumulativos para diferentes obras, deve-se considerar que o valor final assumido por esse indicador depende tanto das anormalidades e variações diárias de conteúdo e contexto que ocorreram ao longo do período de estudo, quanto da natureza intrínseca dos fatores de conteúdo e contexto representativos da obra em questão. Conforme postulado pelo Modelo dos Fatores, uma “produtividade ideal” seria obtida caso todos os fatores representativos da obra fossem os mais favoráveis possíveis para a produtividade do serviço. Conforme os fatores representativos de uma obra se distanciam dessa condição mais favorável, a produtividade real alcançada se distancia em relação à produtividade ideal.

Já ao se considerar o indicador potencial, sendo esse indicador formado descontando-se o efeito das anormalidades e variações diárias de conteúdo e contexto do trabalho do indicador cumulativo, pode-se considerar que o valor assumido pelo indicador potencial ao final do período de estudo é determinado unicamente pelos fatores representativos de conteúdo e contexto de determinada obra, independente das anormalidades ou variações diárias de conteúdo e contexto que tenham ocorrido. A Figura 113 exemplifica a questão da variação de indicadores cumulativos e potenciais entre diferentes obras.

Figura 113. Variação interobras em indicadores de produtividade cumulativa e potencial (elaboração do próprio autor).

Assim, a análise de dados com base no Modelo dos Fatores será dividida em duas etapas: análise intraobra e análise interobras.

- **Análise de correlação**

Conforme explicado no Capítulo 2, o Modelo dos Fatores possui como característica o uso de ferramental matemático para o estudo da relação entre fatores e indicadores de produtividade. Nesse trabalho, o estudo dessa relação será feito por meio de ferramentas de *análise de correlação*.

Por correlação entre variáveis entende-se a tendência de variação conjunta apresentada por essas variáveis, sendo a análise de correlação o método por meio do qual se estuda essa relação.

Podem-se observar diferentes formas de correlação, seja em termos do número de variáveis analisadas (duas = correlação simples, mais de duas = correlação múltipla), seja em termos do tipo de tendência de variação conjunta apresentada pelas variáveis (linear, não linear, monotônica, etc.).

Uma ferramenta bastante eficaz para verificação da existência de correlação entre duas variáveis é o gráfico denominado “diagrama de dispersão”. Trata-se de um gráfico onde são representados os pares (X_i, Y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, dos valores assumidos pelas variáveis X e Y em análise.

Segundo LIRA (2004), em uma análise de correlação em geral busca-se estabelecer o grau de relacionamento entre as variáveis através de um número que indique como as variáveis variam conjuntamente. Esse número é denominado *coeficiente de correlação*:

[Um coeficiente de correlação] mede a intensidade e a direção da relação linear ou não-linear entre duas variáveis. É um indicador que atende à necessidade de se estabelecer a existência ou não de uma relação entre essas variáveis sem que, para isso, seja preciso o ajuste de uma função matemática [regressão]. Não existe a distinção entre a variável explicativa e a variável resposta, ou seja, o grau de variação conjunta entre X e Y é igual ao grau de variação entre Y e X .” (LIRA, 2004).

Nessa pesquisa será realizada a análise de correlação simples entre indicadores de produtividade e fatores influenciadores, utilizando-se para essa análise de gráficos de dispersão e da determinação do coeficiente de correlação de Spearman (ρ).

Esse coeficiente trata-se de uma medida não paramétrica de dependência entre duas variáveis, sendo indicativo da monotonicidade da tendência de variação conjunta das mesmas, isto é, se para aumentos positivos da correlação, aumentos no valor de X correspondem a aumentos no valor de Y , e se para coeficientes negativos, aumentos em X correspondem à diminuição em Y (LIRA, 2004). Os valores assumidos pelo coeficiente de Spearman variam entre +1 e -1, sendo que esses valores extremos ocorrem quando cada variável é uma perfeita função

monotônica da outra⁵³. A Figura 114 ilustra o uso dos diagramas de dispersão e do coeficiente de correlação de Spearman.

Figura 114. Diagramas de Dispersão e Coeficiente de Correlação de Spearman (elaboração do próprio autor).

Dessa forma, o coeficiente de Spearman irá indicar quanto um aumento ou diminuição no valor de um fator influenciador é acompanhado por um aumento ou diminuição no valor assumido por um indicador de produtividade.

Uma questão de difícil avaliação diz respeito a qual faixa de valores de coeficiente de Spearman pode ser considerada como indicativa de uma correlação significativa. Encontra-se em algumas fontes⁵⁴ uma classificação da força da correlação segundo faixas de valores assumidos pelo coeficiente: de 0.00 a 0.19 - correlação muito fraca, de 0.20 a 0.39 - correlação fraca, de 0.40 a 0.59 - correlação moderada, de 0.60 a 0.79 - correlação forte e de 0.79 a 1.00 - correlação muito forte. No entanto, esse autor acredita que tal classificação não deve ser adotada para quaisquer fenômenos indiscriminadamente, cabendo uma avaliação mais detalhada do comportamento dos dados e o entendimento técnico do fenômeno em estudo para compreender o quão significativas ou não são as correlações obtidas.

⁵³ Para maiores informações sobre o desenvolvimento matemático do coeficiente de correlação de Spearman verificar LIRA (2004).

⁵⁴ Para mais informações, verificar www.statstutor.ac.uk/resources/uploaded/spearmans.

4.3.3.1.1. Análise Intraobra com base no Modelo dos Fatores

Nessa etapa, para cada um dos estudos de caso separadamente, será seguido o seguinte roteiro de análise:

- Cálculo de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$ e $\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$, de forma a representar a ação de anormalidades e variações diárias de conteúdo e contexto do trabalho.
- Eliminação progressiva de *outliers* do conjunto de dados da obra, determinados com base na observação dos valores extremos de $RUP_{d,of,peça}$, $RUP_{d,of,peso}$, $EfE_{d,peça}$ e $EfE_{d,peso}$. Esses *outliers* representam os dias do período de estudo nos quais ocorreram anormalidades acentuadas. A escolha de quais e quantos valores serão considerados *outliers* será feita por meio da análise técnica do autor, buscando uma redução significativa na faixa de variação dos indicadores de base diária sem comprometer os indicadores cumulativos e potenciais. Como produto, obtém-se uma nova faixa de variação dos indicadores com base diária, de certa forma livres da ação de anormalidades significativas.
- Análise da correlação entre os fatores potencialmente influenciadores com variação diária – $t/peça$, $\%Pilar$ e $DispEquip$ – e os indicadores de produtividade em base diária $RUP_{d,of,peça}$, $RUP_{d,of,peso}$, $EfE_{d,peça}$ e $EfE_{d,peso}$ do conjunto de dados obtidos pela eliminação de *outliers* (anormalidades). Vai-se determinar um conjunto de gráficos de dispersão com correspondente coeficiente de correlação de Spearman. Como produto, são apresentadas tabelas que indicam o coeficiente de Spearman encontrado para cada relação fator x indicador de produtividade analisada.
- Análise da evolução dos indicadores de produtividade e ritmo de produção com o tempo, com base na análise da curva de indicadores de produtividade pelo tempo e de ritmo de produção pelos meses de produção.
- Ao final da seção, apresenta-se um resumo das conclusões obtidas nas análises de correlação e de evolução dos indicadores com o tempo, referentes à análise intraobra.

4.3.3.1.2. Análise Interobras com base no Modelo dos Fatores

Nessa etapa, será seguido o seguinte roteiro de análise:

- Montagem tabelas resumo apresentando os indicadores de produtividade, fatores potencialmente influenciadores, relações auxiliares, indicadores de ritmo de produção e indicadores por área de produtividade, obtidos para cada uma das obras estudadas.
- Análises de correlação entre os vinte fatores influenciadores representativos e os indicadores de produtividade potencial, considerados para o conjunto das obras estudadas. Para isso, serão montadas tabelas que apresentem os fatores influenciadores representativos e os indicadores potenciais de produtividade $RUP_{pot,of,peça}$, $RUP_{pot,of,peso}$, $E_fE_{pot,peça}$ e $E_fE_{pot,peso}$. Caso seja necessário, poderão ser utilizados gráficos de dispersão como ferramenta para verificação da correlação. No entanto, por se tratar de uma quantidade menor de dados, não será utilizado o coeficiente de correlação de Spearman. Ao final, apresenta-se um resumo das conclusões obtidas nas análises de correlação interobras.
- Análise da configuração das equipes de mão de obra global de cada uma das obras, por equipamento de içamento, em termos de especialização (montadores/ ajudantes/ soldadores) e para as agregações mão de obra direta, mão de obra de apoio e mão de obra direta complementar.

4.3.3.2. Análise comparativa entre as informações oriundas das técnicas de medida do trabalho e as informações oriundas do Modelo dos Fatores

Nessa etapa, será seguido o seguinte roteiro de análise:

- Montagem de um gráfico resumo para a amostragem do trabalho do equipamento de içamento, considerando as médias obtidas de todas as obras.
- Montagem de um gráfico de amostragem do trabalho para equipe de mão de obra direta, considerando estudo apresentado.

- Estabelecimento de relações entre os indicadores de produtividade, os indicadores de ritmo de produção e os tempos obtidos por meio de estudo do tempo.

4.3.3.3. Análise comparativa entre as informações oriundas da pesquisa bibliográfica e as informações oriundas dos estudos de caso

Nessa etapa será analisado, para cada fonte considerada na pesquisa bibliográfica, se as informações estão ou não compatíveis com aquelas oriundas dos estudos de caso. Obtém-se como produto uma tabela que compara os dois tipos de informação.

4.3.3.4. Consolidação das análises

Nessa seção, serão apresentados os produtos finais da etapa de análise de dados dessa pesquisa, que serão compostos dos seguintes itens:

- Faixas de variação para os indicadores de produtividade e de ritmo de produção.
- Gráficos de amostragem do trabalho do equipamento e da mão de obra direta e estudo do tempo da montagem,
- Faixa de variação para configuração da equipe de mão de obra por equipamento e proposição de equipe padrão.
- Análise dos resultados obtidos na análise de correlação entre fatores potencialmente influenciadores e indicadores de produtividade.

5. COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS

A coleta de dados de produtividade da mão de obra e de equipamentos de içamento na montagem de estruturas de aço de edifícios foi obtida por meio de cinco estudos de caso – denominados obras RJ01, RJ02, RJ03, SP01 e SP02.

Além disso, por conta da dificuldade em se obter, para todos os casos, o conjunto completo de dados definidos no método de coleta apresentado no Capítulo 4, decidiu-se por realizar uma coleta complementar, fora do âmbito dos estudos de caso. Essa coleta gerou dois produtos - um estudo de tempo na montagem de uma estrutura e um banco de dados de produtividade de uma empresa de montagem de estrutura de aço – que são apresentados logo após os estudos de caso.

Ao final do capítulo, apresenta-se a coleta de dados por meio de pesquisa bibliográfica.

5.1. Estudos de Caso

Essa pesquisa tomou como estudos de caso cinco obras - RJ01, RJ02, RJ03, SP01 e SP02 – três localizadas na cidade do Rio de Janeiro/RJ e duas em São Paulo/SP, Brasil. Somados os períodos de estudo dos cinco casos obtém-se cerca de 910 dias de montagem de estrutura de aço e de dados coletados.

O Quadro 30 apresenta uma caracterização geral dos cinco estudos de casos conduzidos nesse trabalho indicando, para cada caso, a empresa de responsável pela montagem da estrutura de aço, a empresa construtora responsável pela execução da obra, o período base dos indicadores de produtividade obtidos, o período de estudo (incluindo o número de dias de produção contemplados⁵⁴) e o número de fatores obtidos para posterior análise de correlação.

⁵⁴ No caso das obras das quais foram obtidos apenas indicadores de produtividade com base mensal, o número de dias de produção equivalentes ao período de estudo foi estimado.

Quadro 30. Apresentação dos estudos de caso (elaboração do próprio autor).

CASO	EMPRESA DE MONTAGEM	EMPRESA CONSTRUTORA	PERÍODO DE ESTUDO	
			PERÍODO	DIAS DE PRODUÇÃO
RJ01	A	B	1/10/14 - 7/3/15	130
RJ02	A	B	1/4/14 - 28/11/14	154
RJ03	A	B	15/8/14 - 28/4/15	182
SP01	A	B	1/5/11 - 31/12/11	174
SP02	A	C	11/2/13 - 26/5/14	270
TOTAL =				910

O Quadro 31 apresenta uma breve caracterização das empresas cujas obras foram tomadas como estudo de caso dessa pesquisa.

Quadro 31. Caracterização das empresas (elaboração do próprio autor).

EMPRESA	ANO DE FUNDAÇÃO	NÚMERO APROXIMADO DE FUNCIONÁRIOS	REGIÃO DE ATUAÇÃO
A	1980	1.400	NACIONAL
B	1940	181.000	MULTINACIONAL
C	1939	58.000	MULTINACIONAL

Chama-se atenção para o fato de que, por conta da variação na disponibilidade de informação obtida para cada um dos casos, não foi possível aplicar o método de coleta, processamento e análise de dados definido no Capítulo 4 dessa dissertação de maneira uniforme e completa para todos os casos, principalmente no que diz respeito ao período base dos indicadores e ao número de fatores coletados. Caso algum estudo de caso tenha exigido adaptações ao método proposto, essas modificações serão explicitadas na seção que descreve o caso em questão. Passa-se, a seguir, para a apresentação de cada um dos estudos de caso.

5.1.1. Obra RJ01

Figura 115. Perspectiva ilustrativa da obra RJ01 (site institucional da empresa B).

5.1.1.1. Descrição geral do caso

A obra, localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ, consiste em três edifícios de múltiplos pavimentos que foram executados simultaneamente. Três guias fixas – uma para cada torre – foram utilizadas como equipamento de içamento. Para composição dos resultados, foram considerados os dados diários de 130 dias de produção de estrutura, que compreendem o período de 1/10/2014 a 7/3/2015. Todos os dados apresentados nesse caso são referentes ao conjunto das três torres. O Quadro 32 apresenta uma caracterização geral do caso.

Quadro 32. Descrição geral do caso RJ01 (elaboração do próprio autor).

	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 3
TIPOLOGIA DO EDIFÍCIO	CORPORATIVO	HOTEL	SALAS COMERCIAIS
PAVIMENTOS	2 TÉCNICOS	2 TÉCNICOS	2 TÉCNICOS
	15 TIPOS	18 TIPOS	18 TIPOS
	TÉRREO	TÉRREO	TÉRREO
	4 SUBSOLOS	4 SUBSOLOS	4 SUBSOLOS
ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	2.200 m ²	864 m ²	750 m ²
PÉ DIREITO DO PAVIMENTO TIPO	3,75 m	2,93 m	2,90 m
ALTURA APROXIMADA	67,5 m	61,5 m	60,9 m
Nº DE NÚCLEOS EM CONCRETO	1	3	1
NÚMERO DE GRUAS	1	1	1

5.1.1.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra

Observa-se nessa obra a utilização de pilares em perfil tubular de seção circular preenchidos com concreto armado e vigas em perfis I soldados e laminados de diferentes tamanhos. O sistema de laje utilizado foi o de fôrma de aço aderida. A estrutura das três torres foi erguida na sequencia pavimento por pavimento, mas dividida em duas frentes defasadas de um arranque de pilar (que corresponde a quatro pavimentos - ou seja, monta-se simultaneamente metade dos pavimentos 1 a 4 e metade dos pavimentos 5 a 8). O peso total da estrutura de aço é de cerca de 3.000 toneladas. A Tabela 6 apresenta para a Torre 1 o tempo médio para um ciclo de montagem, isto é, para a montagem de pilares, vigas e laje dos quatro pavimentos de um arranque, em uma das frentes de trabalho.

Tabela 6. Ciclo de montagem médio para o Bloco 1 - RJ01 (elaboração do próprio autor).

Ciclo de Montagem - Torre 1	
Atividade	Tempo médio (dias)
Montagem dos pilares e vigas	20
Verticalização	3
Torqueamento	1
Lajes	4
TOTAL =	28

As Figuras 116, 117 e 118 apresentam as plantas dos pavimentos tipo das Torres 1, 2 e 3, respectivamente, da obra em estudo.

Figura 116. Planta do pavimento tipo – Torre 1 RJ01 (cedido pela empresa B).

Figura 117. Planta do pavimento tipo – Torre 2 RJ01 (cedido pela empresa B).

Figura 118. Planta do pavimento tipo – Torre 3 RJ01 (cedido pela empresa B).

5.1.1.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores

Apresentam-se a seguir os produtos oriundos da etapa de coleta e processamento de dados para o caso RJ01. No APÊNDICE C dessa dissertação, são apresentadas as tabelas de coleta e processamento de dados contendo todos os dados em sua forma bruta.

As Figuras 119, 120, 121 e 122 apresentam, respectivamente, os gráficos de indicador de produtividade por dia de produção para $RUP_{of, peso}$ (Hh/t), $RUP_{of, peça}$ (Hh/peça), $E_f E_{peso}$ (Eq.h/t) e $E_f E_{peça}$ (Eq.h/peça), em base diária, cumulativa e potencial. A Figura 123 apresenta o gráfico de ritmo por mês de produção, por equipamento de içamento.

Figura 119. Gráfico de RUPof,peso (Hh/t) x dia de produção – RJ01 (elaboração do próprio autor).

Figura 120. Gráfico de RUPof,peça (Hh/peça) x dia de produção – RJ01 (elaboração do próprio autor).

Figura 121. Gráfico de EfEpeso (Eq.h/t) x dia de produção – RJ01 (elaboração do próprio autor).

Figura 122. Gráfico de EfEpeça (Eq.h/peça) x dia de produção – RJ01 (elaboração do próprio autor).

Figura 123. Ritmo de produção (peças/mês) x meses de produção – RJ01 (elaboração do próprio autor).

O Quadro 33 apresenta o quadro resumo com todas as informações levantadas nessa etapa para a obra RJ01: indicadores de produtividade física, fatores influenciadores, relações auxiliares, RUPs para outras agregações de mão de obra, indicadores por área de produtividade e indicadores de ritmo de produção.

Quadro 33. Quadro resumo da etapa de coleta e processamento de dados – obra RJ01 (elaboração do próprio autor).

OBRA RJ01			
Produtividade da mão de obra		Produtividade de equipamentos	
Indicador	Valor	Indicador	Valor
RUP cumulativa		E _f E cumulativa	
RUP _{cum,of,peso}	16,03 Hh/t	E _f E _{cum,peso}	2,40 Eq.h/t
RUP _{cum,of,peça}	4,33 Hh/pç	E _f E _{cum,peça}	0,65 Eq.h/pç
RUP potencial		E _f E potencial	
RUP _{pot,of,peso}	11,88 Hh/t	E _f E _{pot,peso}	1,84 Eq.h/t
RUP _{pot,of,peça}	3,33 Hh/pç	E _f E _{pot,peça}	0,53 Eq.h/pç
RUP diária [mín; max]		E _f E diária [mín; max]	
RUP _{d,of,peso}	[2,69 ; 85,43] Hh/t	E _f E _{d,peso}	[0,89 ; 9,23] Eq.h/t
RUP _{d,of,peça}	[0,74 ; 17,13] Hh/pç	E _f E _{d,peça}	[0,30 ; 3,00] Eq.h/pç
Fatores influenciadores da produtividade			
Fator	Valor	Fator	Valor
ton/pç	0,250	%VigasBord	18,2%
%Pilar	20,4%	%PilarPerif	64,4%
Paraf	-	QuantEquip	1
%LigVP	35,6%	DispEquip	53,9%
%LigVC	15,2%	aj:of	0,29
PD	3,17 m	sold:of	0,19
Pav	60,23 m	adm:dir	0,46
A	1.324,57 m ²	GeomSV	Perfil I
Per/A	0,098	GeomSP	Perfil Tubular Circular
l1/l2	1,426	TipoEquip	Grua Fixa
Relações Auxiliares		RUP para outras agregações de MO	
Relação	Valor	Indicador	Valor
glob:of	1,48	RUP _{cum,glob,peso}	23,72 Hh/t
aj:of	0,29	RUP _{cum,aj,,peso}	4,69 Hh/t
sold:of	0,19	RUP _{cum,sold,peso}	3,01 Hh/t
adm:of	0,46	RUP _{cum,adm,peso}	7,43 Hh/t
ton/m ²	0,025	RUP _{cum,glob,peça}	6,41 Hh/pç
peças/m ²	0,101	RUP _{cum,aj,peça}	1,27 Hh/pç
Indicadores de ritmo de produção - por Equipamento		RUP _{cum,sold,peça}	0,81 Hh/pç
Indicador	Valor	RUP _{cum,adm,peça}	2,01 Hh/pç
ton/dia _{médio}	4,4	Indicadores por área de produtividade	
ton/dia _{máximo}	9,0	Indicador	Valor
peças/dia _{médio}	16	MO _{área}	0,42 Hh/m ²
peças/dia _{máximo}	40	Eq _{área}	0,06 Eq.h/ m ²
min/peça _{médio}	33		

5.1.1.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho

- Amostragem do Trabalho dos equipamentos de içamento

As Figuras 124 e 125 apresentam os gráficos de amostragem do trabalho para as três guias presentes na obra RJ01, em função do tipo de atividade realizada e do tipo de hora (disponível trabalhada, disponível não trabalhada ou indisponível) despendida.

Figura 124. Gráfico de amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, por atividade – obra RJ01 (elaboração do próprio autor)

Figura 125. Gráfico de amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, por tipo de hora – obra RJ01 (elaboração do próprio autor)

- Amostragem do Trabalho de uma equipe de mão de obra direta.

Apresentam-se a seguir os resultados de um estudo de amostragem do trabalho contratado pela empresa construtora B e realizado sob coordenação dos pesquisadores Luís Otávio Cocito de Araújo, Moacyr Carvalho Filho e Paulo Sampaio, da Universidade Federal do Rio de Janeiro na obra RJ01. O estudo não constitui uma publicação científica, e sim uma pesquisa privada, cujos resultados foram disponibilizados pela empresa construtora B para compor as análises dessa dissertação.

O estudo foi desenvolvido ao longo do período de 30/10/2014 a 17/11/2014, compreendendo 13 dias de produção. Foi acompanhado o trabalho de uma equipe de mão de obra direta constituída por seis montadores e um soldador. O estudo apresenta as $RUP_{cum,peça}$ e $RUP_{pot,peça}$ da equipe para cada atividade considerada, obtendo-se as proporções de tempos despendido em cada atividade em relação ao total de horas observadas no estudo. A Tabela 7 apresenta os resultados desse estudo. Foi utilizada a terminologia “atividade” e “subatividade” para evitar confusões com as tarefas definidas nessa dissertação, apesar de ser possível traçar paralelos entre elas.

Tabela 7. Amostragem do trabalho para equipe de mão de obra direta (elaboração do próprio autor com base em pesquisa privada cedida pela empresa B e elaborada por ARAÚJO, FILHO, SAMPAIO (2014), UFRJ).

Atividade	RUP _{pot} atividade (Hh/peça)	RUP _{cum} atividade (Hh/peça)	%Atividade/ Serviço	Subatividade	RUP _{média} subatividade (Hh/peça)	%Atividade/ Tarefa	%Subatividade / Serviço
Apoio	0,02	0,2	8%	Atividade de apoio dentro da função	0,15	75%	6%
				Atividade de apoio fora da função	0,05	25%	2%
Deslocamento	0,13	0,18	8%	Outros equipamentos	0	0%	0%
				Deslocamento de saída	0,01	6%	0%
				Deslocamento para buscar ferramentas ou equipamentos	0,03	17%	1%
				Deslocamento associado ao horário de refeição	0,06	33%	3%
				Deslocamento associado a início ou final de tarefa	0,07	39%	3%
SSTMA	0,23	0,33	14%	Interrupção pela segurança	0,00	0%	0%
				Atraso no início do dds	0,00	0%	0%
				Outros	0,00	0%	0%
				DDS	0,02	6%	1%
				Diálogo de Segurança Geral	0,04	12%	2%
				Chuva	0,05	15%	2%
				Vento	0,21	64%	9%
Paralisação	0,21	0,38	16%	Por conta de movimentação de cargas	0,00	0%	0%
				Sem motivo (conversa, etc.)	0,00	0%	0%
				Aguardando distribuição da tarefa inicial pelo encarregado	0,00	0%	0%
				Demais paralizações não frequentes	0,00	0%	0%
				Proximidade de fim de turno	0,01	3%	0%
				Falta de equipamento	0,02	5%	1%
				Buscando esclarecimentos sobre o serviço	0,02	5%	1%
				Necessidades humanas (banheiro, água, cigarro, etc.)	0,02	5%	1%
				Interferência entre os serviços	0,03	8%	1%
				Aguardando colaborador	0,10	26%	4%
				Aguardando maquinário	0,18	47%	8%
Mobilização	0,12	0,17	7%	Preparação de equipamentos e ferramentas para executar um serviço	0,10	59%	4%
				Recolhimento de equipamentos/ ferramentas utilizadas no serviço	0,07	41%	3%
Espera	0,4	0,76	32%	Outros	0,07	9%	3%
				Aguardando preparação da peça	0,09	12%	4%
				Aguardando posicionamento da peça	0,09	12%	4%
				Aguardando fixação da peça	0,15	20%	6%
				Aguardando Içamento da peça	0,36	47%	15%
Serviço	0,27	0,34	14%	Torqueamento	0,01	1%	0%
				Reparos	0,01	1%	0%
				Preparação	0,09	26%	4%
				Posicionamento	0,10	29%	4%
				Fixação provisória da peça	0,14	41%	6%
TOTAIS =	1,38	2,36	100%				100%

5.1.1.5. Imagens da obra

As Figuras 126 a 128 apresentam fotografias da obra RJ01, com foco na estrutura de aço.

Figura 126. Vista do embasamento e da Torre 1 da obra RJ01 (fotos tiradas pelo próprio autor).

Figura 127. Detalhe da ligação entre pilares e vista da estrutura em processo de montagem (fotos tiradas pelo próprio autor).

Figura 128. Detalhes da ligação entre laje e núcleo e entre vigas e pilar (fotos tiradas pelo próprio autor).

5.1.2. Obra RJ02

Figura 129. Perspectiva ilustrativa da obra RJ02 (site institucional da empresa B).

5.1.2.1. Descrição geral do caso

A obra localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ consiste em um único edifício de múltiplos pavimentos. Duas gruas fixas foram utilizadas como equipamento de içamento para a mesma torre. Para composição dos resultados, foram considerados os dados em base mensal de maio de 2014 a novembro de 2014, além de dados em base diária para o período de 1/11/2014 a 30/11/2014, compreendendo um total aproximado de 150 dias de produção de estrutura. O Quadro 34 apresenta uma caracterização geral do caso.

Quadro 34. Descrição geral do caso RJ02

TIPOLOGIA DO EDIFÍCIO	HOTEL
PAVIMENTOS	4 TÉCNICOS
	22 TIPOS
	5 SOBRESOLOS
	TÉRREO
	1 SUBSOLO
ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	927 m ²
PÉ DIREITO DO PAVIMENTO TIPO	3,00 m
ALTURA APROXIMADA	93,7 m
Nº DE NÚCLEOS EM CONCRETO	3
NÚMERO DE GRUAS	2

5.1.2.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra

Observa-se nessa obra a utilização de dois tipos de pilares: em perfil tubular de seção quadrada e circular, preenchidos com concreto armado, e em perfil I revestido de concreto. Para as vigas utilizaram-se perfis I soldados e laminados de diferentes tamanhos. O sistema de laje utilizado foi o de fôrma de aço aderida. A estrutura da torre foi erguida na sequencia pavimento por pavimento, mas dividida em duas frentes defasadas de um arranque de pilar (que corresponde a quatro pavimentos - ou seja, monta-se simultaneamente metade dos pavimentos 1 a 4 e metade dos pavimentos 5 a 8). A Tabela 8 apresenta para o tempo médio para um ciclo de montagem, isto é, para a montagem de pilares, vigas e laje dos quatro pavimentos de um arranque, em uma das frentes de trabalho.

Tabela 8. Ciclo de montagem - RJ02 (elaboração do próprio autor).

Ciclo de Montagem	
Atividade	Tempo médio (dias)
Montagem dos pilares e vigas	12
Verticalização	1
Torqueamento	1
Lajes	4
TOTAL =	18

A Figura 130 apresenta a planta do pavimento tipo da obra em estudo.

Figura 130. Planta do pavimento tipo – RJ02 (cedido pela empresa B).

5.1.2.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores

Apresentam-se a seguir os produtos oriundos da etapa de coleta e processamento de dados para o caso RJ02. No APÊNDICE C dessa dissertação, são apresentadas as tabelas de coleta e processamento de dados contendo todos os dados em sua forma bruta.

As Figuras 131 a 134 apresentam, respectivamente, os gráficos de indicador de produtividade por mês de produção, para todo período de estudo, para $RUP_{of,peso}$ (Hh/t), $RUP_{of,peça}$ (Hh/peça), $E_f E_{peso}$ (Eq.h/t) e $E_f E_{peça}$ (Eq.h/peça), em base mensal, cumulativa e potencial.

Figura 131. Gráfico de RUPof,peso (Hh/t) x mês de produção – RJ02 (elaboração do próprio autor).

Figura 132. Gráfico de RUPof,peça (Hh/peça) x mês de produção – RJ02 (elaboração do próprio autor).

Figura 133. Gráfico de EfEpeso (Eq.h/t) x mês de produção – RJ02 (elaboração do próprio autor).

Figura 134. Gráfico de EfEpeça (Eq.h/peça) x mês de produção – RJ02 (elaboração do próprio autor).

As Figuras 135 e 136 apresentam, respectivamente, os gráficos de indicador de produtividade por dia de produção no mês de novembro de 2014, para $RUP_{of,peso}$ (Hh/t), $RUP_{of,peça}$ (Hh/peça), $E_f E_{peso}$ (Eq.h/t) e $E_f E_{peça}$ (Eq.h/peça), em base diária, cumulativa e potencial.

Figura 135. Gráfico de RUPof,peça (Hh/peça) x dia de produção – RJ02 (elaboração do próprio autor).

Figura 136. Gráfico de EfEpeça (Eq.h/peça) x dia de produção – RJ02 (elaboração do próprio autor).

A Figura 137 apresenta o gráfico de ritmo por mês de produção, por equipamento de içamento.

Figura 137. Ritmo de produção (peças/mês) x meses de produção – RJ02 (elaboração do próprio autor).

O Quadro 25 apresenta o quadro resumo com todas as informações levantadas nessa etapa para a obra RJ02: indicadores de produtividade física, fatores influenciadores, relações auxiliares, RUPs para outras agregações de mão de obra, indicadores por área de produtividade e indicadores de ritmo de produção.

Quadro 35. Quadro resumo da etapa de coleta e processamento de dados – obra RJ02 (elaboração do próprio autor).

OBRA RJ02			
Produtividade da mão de obra		Produtividade de equipamentos	
Indicador	Valor	Indicador	Valor
RUP cumulativa		E _f E cumulativa	
RUP _{cum,of,peso}	30,14 Hh/t	E _f E _{cum,peso}	2,83 Eq.h/t
RUP _{cum,of,peça}	5,61 Hh/pç	E _f E _{cum,peça}	0,53 Eq.h/pç
RUP potencial		E _f E potencial	
RUP _{pot,of,peso}	25,27 Hh/t	E _f E _{pot,peso}	2,29 Eq.h/t
RUP _{pot,of,peça}	4,85 Hh/pç	E _f E _{pot,peça}	0,45 Eq.h/pç
RUP diária [mín; max]		E _f E diária [mín; max]	
RUP _{d,of,peso}	-	E _f E _{d,peso}	-
RUP _{d,of,peça}	[1,54 ; 15,43] Hh/pç	E _f E _{d,peça}	[0,19 ; 1,80] Eq.h/pç
Fatores influenciadores da produtividade			
Fator	Valor	Fator	Valor
ton/pç	0,162	%VigasBord	11,2%
%Pilar	14,1%	%PilarPerif	59,3%
Nparaf/lig	-	QuantEquip	2
%LigVP	26,5%	DispEquip	51%
%LigVC	12,1%	aj:of	0,38
PD	3,00 m	sold:of	0,14
Pav	93,70 m	adm:dir	0,65
A	927,00 m ²	GeomSV	Perfil I
Per/A	0,173	GeomSP	I e Tubular
l1/l2	3,172	TipoEquip	Grua Fixa
Relações Auxiliares		RUP para outras agregações de MO	
Relação	Valor	Indicador	Valor
glob:of	1,34	RUP _{cum,glob,peso}	40,31 Hh/t
aj:of	0,23	RUP _{cum,aj,peso}	6,82 Hh/t
sold:of	0,11	RUP _{cum,sold,peso}	3,35 Hh/t
adm:of	0,56	RUP _{cum,adm,peso}	17,00 Hh/t
ton/m ²	0,034	RUP _{cum,glob,peça}	7,50 Hh/pç
peças/m ²	0,207	RUP _{cum,aj,peça}	1,27 Hh/pç
		RUP _{cum,sold,peça}	0,62 Hh/pç
		RUP _{cum,adm,peça}	3,16 Hh/pç
Indicadores de ritmo de produção - por Equipamento		Indicadores por área de produtividade	
Indicador	Valor	Indicador	Valor
ton/dia _{médio}	-	MO _{área}	1,09 Hh/m ²
ton/dia _{máximo}	-	Eq _{área}	0,10 Hh/m ²
peças/dia _{médio}	15		
peças/dia _{máximo}	40		
min/peça _{médio}	36		

5.1.2.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho

As Figuras 138 e 139 apresentam os gráficos de amostragem do trabalho para as três guias presentes na obra RJ02, em função do tipo de atividade realizada e do tipo de hora (disponível trabalhada, disponível não trabalhada ou indisponível) despendida.

Figura 138. Gráfico de amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, por atividade – obra RJ02 (elaboração do próprio autor)

Figura 139. Gráfico de amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, por tipo de hora – obra RJ02 (elaboração do próprio autor)

5.1.1.5. Imagens da obra

A Figura 140 apresenta fotografias da obra RJ02, com foco na estrutura de aço.

Figura 140. Vista geral da estrutura de aço (fotos tiradas pelo próprio autor).

5.1.3. Obra RJ03

Figura 141. Perspectiva ilustrativa da obra RJ03 (cedido pela empresa A).

5.1.3.1. Descrição geral do caso

A obra localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ consiste em um único edifício de múltiplos pavimentos. Duas gruas fixas foram utilizadas como equipamento de içamento para a mesma torre. Para composição dos resultados, foram considerados os dados em base diária de 15/08/2014 a 28/04/2015, compreendendo um total aproximado de 182 dias de produção de estrutura. O Quadro 36 apresenta uma caracterização geral do caso.

Quadro 36. Descrição geral do caso RJ03

TIPOLOGIA DO EDIFÍCIO	HOTEL
PAVIMENTOS	3 TÉCNICOS
	TÉRREO
	20 TIPOS
	1 SUBSOLO
ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	1.221 m ²
PÉ DIREITO DO PAVIMENTO TIPO	3,04 m
ALTURA APROXIMADA	71,4 m
Nº DE NÚCLEOS EM CONCRETO	2
NÚMERO DE GRUAS	2

5.1.3.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra

Observa-se nessa obra a utilização de pilares: em perfil I revestido de concreto. Para as vigas utilizaram-se perfis I soldados e laminados de diferentes tamanhos. O sistema de laje utilizado foi o de fôrma de aço aderida. A estrutura da torre foi erguida na sequencia pavimento por pavimento, em uma única frente de trabalho. Um arranque de pilar compreende 3 pavimentos. A Figura 130 142 apresenta a planta do pavimento tipo da obra em estudo.

Figura 142. Planta do pavimento tipo –RJ03 (cedido pela empresa B).

5.1.3.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores

Apresentam-se a seguir os produtos oriundos da etapa de coleta e processamento de dados para o caso RJ03. No APÊNDICE C dessa dissertação, são apresentadas as tabelas de coleta e processamento de dados contendo todos os dados em sua forma bruta.

As Figuras 143 a 146 apresentam, respectivamente, os gráficos de indicador de produtividade por dia de produção, para todo período de estudo, para $RUP_{of,peso}$

(Hh/t), $RUP_{of,pe\grave{c}a}$ (Hh/peça), E_fE_{peso} (Eq.h/t) e $E_fE_{pe\grave{c}a}$ (Eq.h/peça), em base diária, cumulativa e potencial.

Figura 143. Gráfico de $RUP_{of,peso}$ (Hh/t) x dia de produção – RJ03 (elaboração do próprio autor).

Figura 144. Gráfico de $RUP_{of,pe\grave{c}a}$ (Hh/peça) x dia de produção – RJ03 (elaboração do próprio autor).

Figura 145. Gráfico de E_fE_{peso} (Eq.h/t) x dia de produção – RJ03 (elaboração do próprio autor).

Figura 146. Gráfico de $E_f E_{peça}$ (Eq.h/peça) x dia de produção – RJ03 (elaboração do próprio autor).

A Figura 147 apresenta o gráfico de ritmo por mês de produção, por equipamento de içamento.

Figura 147. Ritmo de produção (peças/mês) x meses de produção – RJ02 (elaboração do próprio autor).

O Quadro 37 apresenta o quadro resumo com todas as informações levantadas nessa etapa para a obra RJ03: indicadores de produtividade física, fatores influenciadores, relações auxiliares, RUPs para outras agregações de mão de obra, indicadores por área de produtividade e indicadores de ritmo de produção.

Quadro 37. Quadro resumo da etapa de coleta e processamento de dados – obra RJ03 (elaboração do próprio autor).

OBRA RJ03			
Produtividade da mão de obra		Produtividade de equipamentos	
Indicador	Valor	Indicador	Valor
RUP cumulativa		E _f E cumulativa	
RUP _{cum,of,peso}	48,02 Hh/t	E _f E _{cum,peso}	3,01 Eq.h/t
RUP _{cum,of,peça}	8,84 Hh/pç	E _f E _{cum,peça}	0,55 Eq.h/pç
RUP potencial		E _f E potencial	
RUP _{pot,of,peso}	33,77 Hh/t	E _f E _{pot,peso}	2,16 Eq.h/t
RUP _{pot,of,peça}	6,07 Hh/pç	E _f E _{pot,peça}	0,38 Eq.h/pç
RUP diária [mín; max]		E _f E diária [mín; max]	
RUP _{d,of,peso}	[6,61 ; 1044,33] Hh/t	E _f E _{d,peso}	[0,22 ; 73,91] Eq.h/t
RUP _{d,of,peça}	[2,21 ; 137,08] Hh/pç	E _f E _{d,peça}	[0,16 ; 4,50] Eq.h/pç
Fatores influenciadores da produtividade			
Fator	Valor	Fator	Valor
ton/pç	0,144	%VigasBord	14,8%
%Pilar	19,1%	%PilarPerif	60,5%
Nparaf/lig	5,5	QuantEquip	2
%LigVP	33,1%	DispEquip	54,8%
%LigVC	10,4%	aj:of	0,31
PD	3,04 m	sold:of	0,13
Pav	71,40 m	adm:dir	0,57
A	1.220,60 m ²	GeomSV	Perfil I
Per/A	0,129	GeomSP	Perfil I
l1/l2	2,531	TipoEquip	Grua Fixa
Relações Auxiliares		RUP para outras agregações de MO	
Relação	Valor	Indicador	Valor
glob:of	1,44	RUP _{cum,glob,peso}	68,91 Hh/t
aj:of	0,31	RUP _{cum,aj,,peso}	14,83 Hh/t
sold:of	0,13	RUP _{cum,sold,peso}	6,07 Hh/t
adm:of	0,57	RUP _{cum,adm,peso}	27,16 Hh/t
ton/m ²	0,023	RUP _{cum,glob,peça}	12,69 Hh/pç
peças/m ²	0,163	RUP _{cum,aj,peça}	2,73 Hh/pç
Indicadores de ritmo de produção - por Equipamento		RUP _{cum,sold,peça}	1,12 Hh/pç
Indicador	Valor	RUP _{cum,adm,peça}	5,00 Hh/pç
ton/dia _{médio}	2,2	Indicadores por área de produtividade	
ton/dia _{máximo}	20,2	Indicador	Valor
peças/dia _{médio}	11	MO _{área}	1,28 Hh/m ²
peças/dia _{máximo}	31	Eq _{área}	0,08 Eq.h/ m ²
min/peça _{médio}	49		

5.1.3.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho

As Figuras 148 e 149 apresentam os gráficos de amostragem do trabalho para as três guas presentes na obra RJ03, em função do tipo de atividade realizada e do tipo de hora (disponível trabalhada, disponível não trabalhada ou indisponível) despendida.

Figura 148. Gráfico de amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, por atividade – obra RJ03 (elaboração do próprio autor)

Figura 149. Gráfico de amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento, por tipo de hora – obra RJ03 (elaboração do próprio autor)

5.1.3.5. Imagens da obra

A Figura 150 mostra uma fotografia da obra RJ03.

Figura 150. Vista geral da estrutura de aço (foto cedida pela empresa A).

5.1.4. Obra SP01

Figura 151. Perspectiva da fachada da obra SP01 (site institucional da empresa B)

5.1.4.1. Descrição geral do caso

A obra localizada na cidade de São Paulo – SP consiste em um único edifício de múltiplos pavimentos. Uma grua fixa foi utilizada como equipamento de içamento. Para composição dos resultados, foram considerados os dados em base mensal de maio de 2011 a dezembro de 2011, compreendendo um total aproximado de 174 dias de produção de estrutura. O Quadro 38 apresenta uma caracterização geral do caso.

Quadro 38. Descrição geral do caso SP01

TIPOLOGIA DO EDIFÍCIO	CORPORATIVO
PAVIMENTOS	1 TÉCNICO
	4 ATÍPICOS
	11 TIPOS
	TÉRREO
	5 SOBRESSOLOS
ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	1.250 m ²
PÉ DIREITO DO PAVIMENTO TIPO	3,88 m
ALTURA APROXIMADA	73,6 m
Nº DE NÚCLEOS EM CONCRETO	1
NÚMERO DE GRUAS	1

5.1.4.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra

Observa-se nessa obra a utilização de pilares em perfil I revestido de concreto. Para as vigas utilizaram-se perfis I soldados e laminados de diferentes tamanhos. O sistema de laje utilizado foi o de fôrma de aço aderida. Cada arranque de pilar corresponde a aproximadamente três pavimentos. A Figura 152 apresenta a planta do pavimento tipo da obra em estudo.

Figura 152. Planta do pavimento tipo – SP01 (cedido pela empresa B).

5.1.4.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores

Apresentam-se a seguir os produtos oriundos da etapa de coleta e processamento de dados para o caso SP01. No APÊNDICE C dessa dissertação, são apresentadas as tabelas de coleta e processamento de dados contendo todos os dados em sua forma bruta.

As Figuras 153 e 154 apresentam, respectivamente, os gráficos de indicador de produtividade por mês de produção, para todo período de estudo, para $RUP_{of,peso}$ (Hh/t) e $RUP_{of,peça}$ (Hh/peça) em base mensal, cumulativa e potencial. Não foi possível a obtenção de dados para o cômputo da produtividade dos equipamentos de içamento.

Figura 153. Gráfico de RUPof,peso (Hh/t) x mês de produção – SP01 (elaboração do próprio autor).

Figura 154. Gráfico de RUPof,peça (Hh/peça) x mês de produção – SP01 (elaboração do próprio autor).

A Figura 155 mostra apresenta o gráfico de ritmo por mês de produção, por equipamento de içamento.

Figura 155. Ritmo de produção (peças/mês) x meses de produção – SP01 (elaboração do próprio autor).

O Quadro 39 apresenta o quadro resumo com todas as informações levantadas nessa etapa para a obra SP01: indicadores de produtividade física, fatores influenciadores, relações auxiliares, RUPs para outras agregações de mão de obra, indicadores por área de produtividade e indicadores de ritmo de produção.

Quadro 39. Quadro resumo da etapa de coleta e processamento de dados – obra SP01 (elaboração do próprio autor).

Produtividade da mão de obra

Indicador

Valor

RUP cumulativa

RUP_{cum,of,peso}

16,30 Hh/t

RUP_{cum,of,peça}

7,85 Hh/pç

RUP potencial

RUP_{pot,of,peso}

13,67 Hh/t

RUP_{pot,of,peça}

5,58 Hh/pç

RUP mensal [mín; max]

RUP_{m,of,peso}

[10,42 ; 26,35] Hh/t

RUP_{m,of,peça}

[3,06 ; 14,75] Hh/pç

Produtividade de equipamentos

Indicador

Valor

E_fE cumulativa

E_fE_{cum,peso}

-

E_fE_{cum,peça}

-

E_fE potencial

E_fE_{pot,peso}

-

E_fE_{pot,peça}

-

E_fE mensal [mín; max]

E_fE_{d,peso}

-

E_fE_{d,peça}

-

Fatores influenciadores da produtividade

Fator

Valor

ton/pç

0,547

%Pilar

19,8%

Nparaf/lig

11,1

%LigVP

35,5%

%LigVC

18,1%

PD

3,88 m

Pav

73,63 m

A

1.144,41 m2

Per/A

0,147

l1/l2

3,321

Fator

Valor

%VigasBord

29,0%

%PilarPerif

100,0%

QuantEquip

1

DispEquip

-

aj:of

-

sold:of

-

adm:dir

-

GeomSV

Perfil I

GeomSP

Perfil I

TipoEquip

GRUA FIXA

Relações Auxiliares

Relação

Valor

glob:of

-

aj:of

-

sold:of

-

adm:of

-

ton/m²

0,041

peças/m²

0,075

Indicadores de ritmo de produção - por Equipamento

Indicador

Valor

ton/dia_{médio}

7,0

ton/dia_{máximo}

-

peças/dia_{médio}

13

peças/dia_{máximo}

49

min/peça_{médio}

42

RUP para outras agregações de MO

Indicador

Valor

RUP_{cum,glob,peso}

-

RUP_{cum,aj,,peso}

-

RUP_{cum,sold,peso}

-

RUP_{cum,adm,peso}

-

RUP_{cum,glob,peça}

-

RUP_{cum,aj,peça}

-

RUP_{cum,sold,peça}

-

RUP_{cum,adm,peça}

-

Indicadores por área de produtividade

Indicador

Valor

MO_{área}

0,63 Hh/m2

Eq_{área}

-

5.1.4.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho

Não foi possível a coleta de dados da obra SP01 segundo técnicas de medição do trabalho, por conta de sua indisponibilidade.

5.1.4.5. Imagens da obra

As Figuras 156 e 157 apresentam fotografias da obra SP01, com foco na estrutura de aço.

Figura 156. Vistas gerais da estrutura de aço da obra SP01 (site institucional da empresa B).

Figura 157. Detalhes do núcleo em concreto e da laje da obra SP01 (site institucional da empresa B),

5.1.5. Obra SP02

Figura 158. Perspectiva da fachada da obra SP01 (site institucional da empresa C)

5.1.5.1. Descrição geral do caso

A obra localizada na cidade de São Paulo – SP consiste em um complexo com dois edifícios de múltiplos pavimentos, dos quais apenas um foi considerado para efeito dessa pesquisa. Uma grua fixa foi utilizada em cada torre como equipamento de içamento. Para composição dos resultados, foram considerados os dados em base mensal de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014, além de dados em base diária para os períodos de 11/02/2013 a 30/03/2013 e 01/04/2014 a 26/5/2014, compreendendo um total aproximado de 270 dias de produção de estrutura. O Quadro 40 apresenta uma caracterização geral do caso.

Quadro 40. Descrição geral do caso SP02 (elaboração do próprio autor).

TIPOLOGIA DO EDIFÍCIO	CORPORATIVO
PAVIMENTOS	2 TÉCNICOS
	28 TIPOS
	TERREO
	5 SUBSOLOS
ÁREA DO PAVIMENTO TIPO	2.535 m ²
PÉ DIREITO DO PAVIMENTO TIPO	4,13 m
ALTURA APROXIMADA	139,0 m
Nº DE NÚCLEOS EM CONCRETO	1
NÚMERO DE GRUAS	1

5.1.5.2. Características do serviço de montagem de estrutura de aço da obra

Observa-se nessa obra a utilização de pilares em perfil I revestido de concreto. Para as vigas utilizaram-se perfis I soldados e laminados de diferentes tamanhos. O sistema de laje utilizado foi o de fôrma de aço aderida. A Figura 159 apresenta a planta do pavimento tipo da obra em estudo.

Figura 159. Planta do pavimento tipo – SP02 (cedido pela empresa C).

5.1.5.3. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados – Modelo dos Fatores

Apresentam-se a seguir os produtos oriundos da etapa de coleta e processamento de dados para o caso SP02. No APÊNDICE C dessa dissertação, são apresentadas as tabelas de coleta e processamento de dados contendo todos os dados em sua forma bruta.

As Figuras 160 e 161 apresentam, respectivamente, os gráficos de indicador de produtividade por mês de produção, para todo período de estudo, para $RUP_{of,peso}$ (Hh/t) e $RUP_{of,peça}$ (Hh/peça) em base mensal, cumulativa e potencial. Não foi possível a obtenção de dados para o cômputo da produtividade dos equipamentos de içamento.

Figura 160. Gráfico de $RUP_{of,peso}$ (Hh/t) x mês de produção – SP02 (elaboração do próprio autor).

Figura 161. Gráfico de RUPof,peça (Hh/peça) x mês de produção – SP02 (elaboração do próprio autor).

As Figuras 162 e 163 apresentam, respectivamente, os gráficos de indicador de produtividade por dia de produção para o período de 11/02/2013 a 30/03/2013, para $RUP_{of,peso}$ (Hh/t) e $RUP_{of,peça}$ (Hh/peça), em base diária, cumulativa e potencial. Não foi possível a obtenção de dados para o cômputo da produtividade dos equipamentos de içamento.

Figura 162. Gráfico de RUP_{of,peso} (Hh/t) x dia de produção (11/2/13 a 29/3/13) – SP02 (elaboração do próprio autor).

Figura 163. Gráfico de RUP_{of,peça} (Hh/peça) x dia de produção (11/2/13 a 29/3/13) – SP02 (elaboração do próprio autor).

As Figuras 164 e 165 apresentam, respectivamente, os gráficos de indicador de produtividade por dia de produção para o período de 01/04/2014 a 26/5/2014, para RUP_{of,peso} (Hh/t) e RUP_{of,peça} (Hh/peça), em base diária, cumulativa e potencial. Não

foi possível a obtenção de dados para o cômputo da produtividade dos equipamentos de içamento.

Figura 164. Gráfico de RUPof,peso (Hh/t) x dia de produção (01/04/14 a 25/05/14) – SP02 (elaboração do próprio autor).

Figura 165. Gráfico de RUPof,peça (Hh/peça) x dia de produção (01/04/14 a 25/05/14) – SP02 (elaboração do próprio autor).

A Figura 166 apresenta o gráfico de ritmo por mês de produção, por equipamento de içamento.

Figura 166. Ritmo de produção (peças/mês) x meses de produção – SP02 (elaboração do próprio autor).

O Quadro 41 apresenta o quadro resumo com todas as informações levantadas nessa etapa para a obra SP01: indicadores de produtividade física, fatores influenciadores, relações auxiliares, RUPs para outras agregações de mão de obra, indicadores por área de produtividade e indicadores de ritmo de produção.

5.1.5.4. Resultados obtidos do processamento dos dados coletados segundo técnicas de Medição do Trabalho

Não foi possível a coleta de dados da obra SP02 segundo técnicas de medição do trabalho, por conta de sua indisponibilidade.

5.1.5.5. Imagens da obra

A Figura 167 apresenta uma fotografia da obra SP02, com foco na estrutura de aço.

Figura 167. Vista da estrutura da obra SP02 (www.skyscrapercity.com, acesso: 19/11, 20h)

5.1.6. Coleta de dados complementares aos Estudos de Caso

Conforme mencionado anteriormente, de forma a complementar as informações advindas dos estudos de caso, apresentam-se nessa seção dados oriundos:

- De estudo do tempo da montagem de estrutura de aço de um edifício, coletado em campo pelo autor, na obra denominada O1.
- De banco de indicadores de produtividade de seis obras de edifícios de múltiplos pavimentos, denominadas obras O2, O3, O4, O5, O6 e O7, conforme fornecido pela empresa E de montagem de estruturas de aço.

O Quadro 42 apresenta a caracterização dessas obras e empresas. Para as obras da empresa E, não foi informada a empresa construtora.

Quadro 42. Caracterização das obras e empresas dos estudos complementares (elaboração do próprio autor).

OBRA	EMPRESA DE MONTAGEM	EMPRESA CONSTRUTORA
O1	A	D
O2	E	-
O3	E	-
O4	E	-
O5	E	-
O6	E	-
O7	E	-

EMPRESA	ANO DE FUNDAÇÃO	NÚMERO APROXIMADO DE FUNCIONÁRIOS	REGIÃO DE ATUAÇÃO
D	2007	< 500	NACIONAL
E	1967	> 500	MULTINACIONAL

5.1.6.1. Estudo do tempo – Obra O1

O estudo do tempo na obra O1 foi conduzido no dia 10/11/2015, tendo-se cronometrado os tempos para o descarregamento com auxílio de grua de uma carreta com 19 peças na obra em questão, das quais 14 foram direcionadas para uma área de estoque ao lado da carreta e 5 foram imediatamente montadas na estrutura, a uma distância de 2 m na vertical e 30 m na horizontal do ponto de descarregamento. As ligações provisórias das peças foram executadas com 3 parafusos em cada extremidade. A Tabela 9 apresenta os resultados desse estudo.

5.1.6.2. Banco de Indicadores – Obras O2, O3, O4, O5, O6 e O7

A Tabela 10 apresenta os indicadores de produtividade e ritmo de produção para as obras O2, O3, O4, O5, O6 e O7, conforme fornecidos pela empresa E de montagem de estruturas de aço para edifícios. Os indicadores foram calculados diretamente pela empresa, ou seja, não passaram pelo método descrito nesse trabalho. Dessa forma, optou-se por apresentá-los em separado, de forma a complementar as informações advindas dos estudos de caso.

Tabela 10. Indicadores de produtividade e ritmo de produção – Obras O2, O3, O4, O5, O6 e O7 (elaborado pelo próprio autor com base me informações fornecidas pela empresa E).

Indicadores	O2	O3	O4	O5	O6	O7
$RUP_{cum, glob, peso} (Hh/ton)$	77,90	45,50	28,34	14,97	27,90	27,90
$ton/dia_{médio}$	4,18	8,99	-	5,57	6,20	3,37
$peças/dia_{médio}$	23	24	13	10	20	18
$peças/dia_{máximo}$	44	66	39	42	81	58
$min/peça_{médio}$	23	22	42	53	27	30
ton/m^2	0,060	0,084	0,057	0,046	0,047	0,080
$MO_{área} (Hh/m^2)$	4,66	3,82	1,60	0,69	1,32	2,23

5.2. Pesquisa Bibliográfica

A produtividade da mão de obra na execução de edifícios estruturados em aço é tratada na bibliografia técnica em geral sob uma abordagem qualitativa. É comum encontrar trabalhos que mencionam a estrutura de aço como sendo uma solução “que permite ganhos de produtividade” ou “de alta produtividade”. Ainda, em diversos textos (PINHO e PENNA, 2008; CARDOSO et al., 1988; BELLEI et al., 2008), a “alta velocidade de execução” das estruturas de aço e consequente “redução no prazo da obra” são apontadas como uma vantagem desse tipo de estrutura, sem, no entanto, estabelecer um vínculo claro entre o potencial bom ritmo de produção e a produtividade de fato. De maneira geral, falta um maior rigor na aplicação dos conceitos de produtividade ao tema. Ainda, poucos autores seguem o caminho da aplicação de um método claro e padronizado para mensuração dessa produtividade, gerando indicadores quantitativos.

Apresentam-se a seguir dados coletados em algumas fontes bibliográficas que trataram do tema em estudo nessa dissertação e que seguiram pela via da determinação de indicadores quantitativos, mesmo que não de forma metodologicamente clara ou idêntica à realizada nesse trabalho. Quando necessário e possível, os dados foram processados de forma a assumir uma forma mais próxima da adotada nesse trabalho.

Pinho (2005) trata brevemente sobre o tema da produtividade na montagem de estruturas de aço, mostrando um exemplo de cálculo de produtividade para a montagem das colunas em aço de um galpão através do uso do indicador Hh/t que, nas premissas do exemplo – equipe de 7 homens, 160 colunas de 1200 kg cada, 30 minutos de montagem por coluna - conduziria a uma produtividade de $2,92 Hh/t$ ⁵⁵. Não se fazem maiores especificações quanto às grandezas consideradas na composição do indicador. Na realidade, observa-se que o cálculo apresentado se trata de um exemplo didático baseado na experiência do autor, e não em uma efetiva medição de produtividade.

⁵⁵ O cálculo dos indicadores foi feito de maneira diferente do autor original, de forma a se aproximar das premissas de cálculo desse trabalho e facilitar comparações posteriores.

Cardoso (1989) traz alguns dados de origem italiana, apresentados através do indicador Hh/ t, parcialmente reproduzidos na Tabela 11. Não fica claro, no entanto, como esses indicadores foram calculados. O autor afirma também que “no caso brasileiro, os valores em homem-hora gasto por tonelada montada são cerca de 35% maiores”, sem no entanto apresentar maior desenvolvimento dessa afirmação.

Tabela 11. Dados de origem italiana para a produtividade na construção de edifícios estruturados em aço (CARDOSO, 1989).

Tipo de Construção	Produtividade (Hh/t)
edifícios até 6 pavimentos	10 a 25
edifícios acima de 6 pavimentos	20 a 30
edifícios comerciais	10 a 30
armazens	15 a 30
edifícios industriais	20 a 30
coberturas	5 a 10

O autor menciona ainda a questão da produtividade de equipamentos de içamento, afirmando que “adota-se usualmente um coeficiente de aproveitamento do equipamento de 50%”. Além disso, é apresentado um exemplo de cálculo de produtividade de equipamento, mas utiliza-se do indicador t/ dia, considerado neste trabalho como um indicador de ritmo de produção, e não de produtividade.

Bellei et al. (2008), ao tratar do orçamento e planejamento da montagem de estruturas de aço para edifícios, apresenta alguns dados quantitativos de produtividade, selecionados por tipo de elemento estrutural e separando a montagem em três tarefas: içamento, parafusamento e soldagem. A Tabela 12 indica alguns indicadores de produtividade calculados com base nesses dados⁵⁶. Apesar de apresentar uma descrição mais completa dos dados utilizados, não fica claro como foi realizada a composição dos homens-hora apresentados.

⁵⁶ O cálculo dos indicadores foi feito de maneira diferente do autor original, de forma a se aproximar das premissas de cálculo desse trabalho e facilitar comparações posteriores.

Tabela 12. Indicadores de produtividade por tipo de elemento estrutural e por tarefa (elaborado pelo próprio autor com base em BELLEI et al., 2008).

	Geral	Pilar	Viga	Contraventamento
Quantidade total (peças) =	636	72	492	72
Peso total (t) =	153,6	49,0	101,1	3,5
Hh total =	2.664,2	654,0	1852	158
Hh/ t =	17,3	13,3	18,3	45,5
Hh/ peça =	4,2	9,1	3,8	2,2

	Içamento	Soldagem	Parafusagem
Hh totais =	2.208,0	163,8	292,4
Hh/ t =	14,4	-	-
Hh/ peça =	3,5	-	-
Quantidade de ligações =	-	144,0	1.056,0
Hh/ ligação =	-	1,14	0,28

Mrozowski et al. (1999), em trabalho da *American Society of Steel Construction*, afirma que a estimativa da produtividade das equipes de montagem de estruturas de aço costuma ser empírica e baseada na experiência do empreiteiro. Segundo ele, em geral uma equipe consegue montar de 10 a 20 toneladas por dia ou por volta de 50 peças. Como equipe, o autor afirma que em geral considera-se um encarregado, quatro a seis montadores, dois funcionários para o guindaste (um de operação e outro de manutenção) e eventualmente soldadores. Apenas para exemplificar, considerando uma equipe de sete funcionários com oito horas disponíveis de trabalho por dia, os dados apontados pelo autor conduzem a uma produtividade de 2,8 a 5,6 Hh/t ou 1,12 Hh/peça. Novamente, os dados apresentados parecem estar mais baseados na experiência do autor do que em uma efetiva medição de produtividade.

Scigliano (2008), ao tratar do cálculo do tempo necessário para utilização de uma grua móvel em uma obra, traz um exemplo no qual decompõe os movimentos realizados pelo equipamento e considera a velocidade desenvolvida em cada um desses movimentos, que associadas à quantidade de peças a serem içadas, permite o cálculo proposto. No exemplo, o autor atribui uma velocidade de 20m/min para a translação da grua, 0,8 voltas/ min para o giro da lança e 40 m/min para a translação do carrinho da lança. Para o movimento de levantamento, o autor apresenta a velocidade como função do peso da carga, que varia de 6,5 a 50 m/min para cargas de 2,5 a 5 t. Logicamente, a velocidade dos movimentos de uma grua

irá variar em função do modelo de equipamento adotado. Apesar do autor não tratar especificamente de produtividade, fornece pontos interessantes a serem considerados num estudo de produtividade, como a possibilidade da decomposição dos movimentos da grua e a variação da velocidade em função da carga.

Thomas et al. (1999), ao estudar o impacto de métodos de entrega e recebimento de materiais na montagem de estruturas de aço de um galpão, apresenta alguns dados e indicadores quantitativos da produtividade da mão de obra, conforme apresentado na Figura 168⁵⁷.

Figura 168. Indicadores de produtividade da mão de obra para montagem de galpão com estrutura de aço (elaborado pelo próprio autor com base em THOMAS et al., 1999).

Thomas e Yiakoumis (1987), no estudo em que estruturam o Modelo dos Fatores, apresentam alguns exemplos para a montagem da estrutura de aço de um edifício de múltiplos pavimentos. O estudo apresenta um acompanhamento do ritmo de produção da montagem, no qual nota-se um ritmo aproximadamente constante de cerca de 30 a 35 peças/dia. Em termos de produtividade, têm-se uma $RUP_{diária}$ que varia aproximadamente entre 1,0 e 7,0 Hh/peça e uma RUP_{cum} de 1,5 Hh/peça.

Thomas e Zavrski (1999) apresentam o cálculo de indicadores de produtividade da mão de obra na montagem de estruturas de aço de edifícios para um banco de dados com onze obras, conforme mostrado na Tabela 13. Com relação aos

⁵⁷ O cálculo dos indicadores foi feito de maneira diferente do autor original, de forma a se aproximar das premissas de cálculo desse trabalho e facilitar comparações posteriores.

indicadores potenciais, nota-se que o cálculo dos mesmos foi feito segundo um procedimento diferente do adotado nesse trabalho.

Tabela 13. Indicadores de produtividade da mão de obra na montagem de estruturas de aço de edifícios para banco de dados com onze obras (elaborado pelo próprio autor com base em THOMAS e ZAVRSKI, 1999).

Obra	RUP _{pot} (Hh/peça)	RUP _{cum} (Hh/peça)
8601	1,114	1,73
8602	1,538	1,82
8701	1,788	3,03
8702	1,022	1,32
8704	1,905	1,77
8801	1,092	1,36
9001	1,546	2,2
9101	1,244	1,5
9102	1,867	3,06
9201	2,23	3,44
9302	1,094	1,45
Médias =	1,49	2,06

Os três trabalhos anteriores, tendo sido realizados por pesquisadores da área de gestão da produção e ligados ao Modelo dos Fatores, provavelmente estão mais próximos dos conceitos adotados nesse estudo. No entanto, os três trabalhos ainda carecem de uma explicação mais aprofundada do método utilizado para coleta e processamento de dados.

Com relação aos dados de manuais de orçamento, quatro manuais foram analisados: Page (1997), Sarviel (2014), Oggershok e Pray (2005) e RSMEANS (2008).

Page (1997) apresenta valores de Hh/t para montagem de estruturas de aço em função do peso total da estrutura e da atividade considerada, conforme mostrado na Tabela 14. Ainda, especificamente para a montagem de pilares tubulares, o autor apresenta alguns valores de Hh/peça em função do diâmetro do perfil e do tipo de seção (circular/ quadrada), conforme mostrada na Tabela 15.

Tabela 14. Produtividade da montagem de estruturas de aço – Page (1997) (elaboração do próprio autor com base em PAGE, 1997).

Produtividade da montagem de estruturas de aço - Hh/t						
Atividade/ Peso Total	Até 20 t	20 - 100 t	100-500 t	500-1000 t	1000-5000 t	+ 5000t
Descarregamento	3,0	2,0	1,7	1,7	1,3	1,2
Içamento, Verticalização, Ligação Temporária	4,5	3,0	3,9	3,4	3,0	2,6
Ligação permanente - rebite	6,3	4,0	5,3	5,0	4,4	4,0
Ligação permanente - soldada	6,0	4,5	4,0	3,5	2,5	2,0
Ligação permanente - parafusada	5,0	4,0	3,5	2,5	1,5	1,0

Tabela 15. Produtividade da montagem de perfis tubulares – Page (1997) (elaboração do próprio autor com base em PAGE, 1997).

Montagem de pilar em perfil tubular de seção circular com 12' (3,65m) de comprimento		Montagem de pilar em perfil tubular de seção quadrada com 12' (3,65m) de comprimento	
Diâmetro da Seção	Hh/peça	Seção	Hh/peça
3"	0,75	4"x4"	0,90
3(1/2)"	0,75	5"x5"	0,95
4"	0,80	6"x6"	1,00
5"	0,90	7"x7"	1,05
6"	0,95	8"x8"	1,10
8"	1,00		
10"	1,05		
12"	1,10		

Atividades inclusas: do descarregamento a montagem.

Considerada apenas mão de obra de montadores.

Para pilares maiores que 12', acrescentar 10% Hh para cada 5' (1,5m) adicionais ou proporcional.

Sarviel (2014) apresenta alguns indicadores de produtividade da mão de obra na montagem de estruturas de aço em função da atividade, conforme mostrado na Tabela 16.

Tabela 16. Produtividade da montagem de estruturas de aço – Sarviel (2014) (elaboração do próprio autor com base em SARVIEL, 2014).

Atividade	unid.	RUP
Descarregamento	Hh/t	1,5
Içamento, Verticalização, Ligação Temporária		
Colunas =	Hh/t	7,00
Vigas =	Hh/t	5,00
Geral - Edifícios Multipavimentos =	Hh/t	3 a 10
Ligações		
Parafusada provisória =	Hh/paraf.	6
Parafusada permanente =	Hh/paraf.	5
Rebitada com compressor de ar =	Hh/rebite	0,12
Rebitada manual =	Hh/rebite	0,14 a 0,21
Soldada =	Hh/m	0,72

Ogershok e Pray (2005) alguns indicadores de produtividade da mão de obra na montagem de estruturas de aço em função do tipo de peça, conforme mostrado na Tabela 17.

Tabela 17. Produtividade da montagem de estruturas de aço – Ogershok e Pray (2005) (elaboração do próprio autor com base em OGERSHOK e PRAY, 2014).

Tipo de Peça	Hh/t
Vigas	
< 30 kg/m	14,0
30 - 75 kg/m	11,0
75 - 110 kg/m	9,4
110 - 150 kg/m	8,0
Pilares	
< 30 kg/m	12,0
30 - 75 kg/m	10,0
75 - 110 kg/m	9,0
110 - 150 kg/m	7,0
Pilar Tubular Seção Retangular - 4,5 a 6m	
3"x2" a 12"-4" /	9,0
6"x4" a 16"-8" / 30-75 kg/m	8,0
12"x6" a 20"-12" / 75-110 kg/m	6,0
14"x10" a 20"-12" / 110-150 kg/m	5,0
Pilar Tubular Seção Circular - 4,5 a 6m	
diâmetro = 3" a 6" / até 30 kg/m	9,0
diâmetro = 4" a 12" / 30-75 kg/m	8,0
diâmetro = 6" a 12" / 75-110 kg/m	6,0
Pilar Tubular Seção Quadrada - 4,5 a 6m	
2"x2" a 8"x8" / até 30 kg/m	9,0
4"x4" a 12"x12" / 30-75 kg/m	8,0
8"x8" a 16"x16" / 75-110 kg/m	6,0
10"x10" a 16"x16" / 110-150 kg/m	5,0

RSMEANS (2008) apresenta o conjunto de indicadores mais completo dentre as fontes bibliográficas consultadas. Apresentam-se na Tabela 18 os indicadores de produtividade da mão de obra de oficiais para as operações de montagem de colunas, montagem de vigas, montagem de edifícios de múltiplos pavimentos e na execução de ligações soldadas e parafusadas⁵⁸.

⁵⁸ O cálculo dos indicadores foi feito de maneira diferente do autor original, de forma a se aproximar das premissas de cálculo desse trabalho e facilitar comparações posteriores.

Tabela 18. Produtividade da montagem de estruturas de aço – RSMEANS (2008) (elaboração do próprio autor com base em RSMEANS, 2008).

Produtividade da MO - Montagem de Colunas		
Peça	unid.	RUP
Perfil tubular de seção circular		
Diâmetro = 3" a 5"	Hh/t	5,08
Diâmetro = 6" a 12"	Hh/t	5,08
Diâmetro = 3" Comp = 3,6 m	Hh/peça	0,53
Diâmetro = 4" Comp = 3,6 m	Hh/peça	0,55
Diâmetro = 6" Comp = 3,6 m	Hh/peça	0,59
Diâmetro = 8" Comp = 4,2 m	Hh/peça	0,64
Diâmetro = 10" Comp = 4,8 m	Hh/peça	0,67
Diâmetro = 12" Comp = 5,4 m	Hh/peça	0,71
Perfil tubular de seção quadrada		
4"x4" a 6"x6" Perfil Leve	Hh/t	6,35
4"x4" a 6"x6" Perfil Pesado	Hh/t	2,54
4"x 4" esp=1/4" comp = 3,6 m	Hh/peça	0,55
6"x 6" esp=1/4" comp = 3,6 m	Hh/peça	0,59
8"x 8" esp=3/8" comp = 4,2 m	Hh/peça	0,64
10"x 10" esp=1/2" comp = 4,8 m	Hh/peça	0,67
Perfil tubular de seção retangular		
Lados = 5" a 6" Perfil Leve	Hh/t	8,89
Lados = 5" a 6" Perfil Pesado	Hh/t	6,35
Lados = 7" a 10" Perfil Leve	Hh/t	5,08
Lados = 7" a 10" Perfil Pesado	Hh/t	3,81
5"x3" esp=1/4" comp = 3,6 m	Hh/peça	0,55
6"x6" esp=5/16" comp = 3,6 m	Hh/peça	0,59
8"x 4" esp=3/8" comp = 3,6 m	Hh/peça	0,59
10"x 6" esp=3/8" comp = 4,2 m	Hh/peça	0,64
12"x 8" esp=1/2" comp = 4,8 m	Hh/peça	0,67
Perfil W (polegadas x lb/pés)		
W 8x24	Hh/t	27,51
W 8x31	Hh/t	21,30
W 8x48	Hh/t	14,29
W 8x67	Hh/t	10,80
W 10x45	Hh/t	15,24
W 10x68	Hh/t	10,64
W 10x112	Hh/t	6,58
W 12x50	Hh/t	13,71
W 12x87	Hh/t	8,32
W 12x120	Hh/t	6,14
W 12x190	Hh/t	4,08
W 14x74	Hh/t	9,78
W 14x120	Hh/t	6,14
W14x176	Hh/t	4,40

Produtividade da MO - Montagem de Vigas		
Peça	unid.	RUP
Perfil W (polegadas x lb/pés)		
W 6X9	Hh/t	13,12
W 6X20	Hh/t	5,90
W 8X10	Hh/t	11,81
W 8X48	Hh/t	2,70
W 10X12	Hh/t	9,84
W 10X49	Hh/t	2,64
W 12X14	Hh/t	5,80
W 12X87	Hh/t	1,28
W 14X26	Hh/t	2,78
W 14X120	Hh/t	0,83
W 16X26	Hh/t	2,74
W 16X67	Hh/t	1,40
W 18X35	Hh/t	2,63
W 18X106	Hh/t	0,93
W 21X44	Hh/t	1,89
W 21X122	Hh/t	0,73
W 24X55	Hh/t	1,45
W 24X146	Hh/t	0,58
W 27X84	Hh/t	0,89
W 27X161	Hh/t	0,48
W 30X99	Hh/t	0,75
W 30X191	Hh/t	0,41
W 33X118	Hh/t	0,64
W 33X201	Hh/t	0,40
W 36X135	Hh/t	0,56
W 36X300	Hh/t	0,29

Produtividade da MO - Geral para edifícios multipavimentos		
Pavimentos	unid.	RUP
1 a 2 pavimentos	Hh/t	3,88
3 a 6 pavimentos	Hh/t	3,96
7 a 15 pavimentos	Hh/t	5,07
Acima de 15 pavimentos	Hh/t	5,18

Produtividade da MO - Ligações		
Ligação	unid.	RUP
Parafusada	Hh/paraf.	0,062 a 0,114
Soldada	Hh/m	0,177 a 4,433

6. ANÁLISE DE DADOS

Conforme mencionado no Capítulo 4, a análise de dados desse trabalho está dividida em quatro etapas: análise intraobra com base no Modelo dos Fatores, análise Interobras com base no Modelo dos Fatores, análise comparativa entre as informações oriundas das técnicas de medida do trabalho e as informações oriundas do Modelo dos Fatores e análise comparativa entre as informações oriundas da pesquisa bibliográfica e as informações oriundas dos estudos de caso. À análise interobras prevista no método de pesquisa, foi acrescentada uma análise comparativa entre os indicadores advindos dos estudos de caso e os indicadores obtidos na coleta de dados complementar. A seguir, desenvolve-se cada uma dessas etapas tomando como base os dados coletados e processados que foram expostos no Capítulo 5.

6.1. Análise Intraobras com base no Modelo dos Fatores

Para cada um dos casos individualmente, são calculados os Δ entre indicadores de produtividade cumulativos e potenciais, é determinada uma nova faixa de variação para os indicadores em base diária por meio da exclusão de outliers do banco de dados, é feita a análise de correlação entre indicadores e fatores potencialmente influenciadores com variação diária – ton/peça, %Pilar, DispEquip – e analisa-se a evolução da produtividade e ritmo de produção com o tempo. Ao final da seção, apresenta-se um resumo das conclusões obtidas nessa análise intraobra.

6.1.1. Obra RJ01

A Tabela 19 apresenta os valores de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$ e $\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$ para a obra RJ01. Como se pode observar, o efeito de anormalidades e variações diárias de conteúdo e contexto foi responsável por uma variação de 23 a 35% da produtividade potencial.

Tabela 19. Cálculo de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$ e $\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$ – RJ01 (elaboração do próprio autor).

	Cumulativo	Potencial	Δ	%Potencial
$\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$	16,03 Hh/t	11,88 Hh/t	4,15 Hh/t	35%
$\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$	4,33 Hh/pç	3,33 Hh/pç	1,01 Hh/pç	30%
$\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$	2,40 Eq.h/t	1,84 Eq.h/t	0,57 Eq.h/t	31%
$\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$	0,65 Eq.h/pç	0,53 Eq.h/pç	0,12 Eq.h/pç	23%

Na eliminação de *outliers*, identificou-se que 15 dos 130 dias de produção poderiam ser considerados sob forte influência de anormalidades (11,5%). De fato, após a exclusão desses dias do banco de dados, obteve-se considerável redução na variabilidade dos indicadores de produtividade diária, conforme mostrado na Tabela 20. De certa maneira, essa nova faixa de valores representa a variação dos indicadores de produtividade livres do efeito de anormalidades significativas.

Tabela 20. Eliminação de outliers/ anormalidades – RJ01 (elaboração do próprio autor).

ANTES DA ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS			APÓS A ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS		
RUPs diárias [mín; max]			RUPs diárias [mín; max]		
$RUP_{d,of,peso}$	[2,69 ; 85,43] Hh/t	32 X	$RUP_{d,of,peso}$	[5,51 ; 38,15] Hh/t	7 X
$RUP_{d,of,peça}$	[0,74 ; 17,13] Hh/pç	23 X	$RUP_{d,of,peça}$	[1,37 ; 12,65] Hh/pç	9 X
EfEs diárias [mín; max]			EfEs diárias [mín; max]		
$EfE_{d,peso}$	[0,89 ; 9,23] Eq.h/t	10 X	$EfE_{d,peso}$	[0,89 ; 5,63] Eq.h/t	6 X
$EfE_{d,peça}$	[0,30 ; 3,00] Eq.h/pç	10 X	$EfE_{d,peça}$	[0,30 ; 1,70] Eq.h/pç	6 X

Na análise de correlação entre os fatores ton/peça, %Pilar e DispEquip e os indicadores da produtividade potencial e de ritmo de produção, obteve-se os coeficientes de Spearman indicados na Tabela 21.

Tabela 21. Análise de Correlação – RJ01 (elaboração do próprio autor).

	ton/peça	%Pilar	DispEquip
$RUP_{d,of,peso}$	-0,34	-0,33	-0,39
$RUP_{d,of,pç}$	0,38	0,08	-0,36
$EfE_{d,peso}$	-0,37	-0,35	-0,09
$EfE_{d,pç}$	0,36	0,03	-0,05
peças/dia	-0,43	-0,06	0,37

Assim, observam-se valores melhores de correlação entre o fator ton/peça e todos os indicadores, o fator %Pilar e os indicadores que consideram o peso das peças como saída, e o fator DispEquip e os indicadores de produtividade da mão de obra e de ritmo de produção.

Analizou-se ainda a correlação entre esses fatores e indicadores filtrando-se o banco de dados para três situações: considerando-se apenas dias sem montagem de pilares, considerando apenas dias em que ocorreu montagem de pilares e considerando-se apenas dias nos quais mais de 15% das peças montadas foram pilares. A Tabela 22 mostra os resultados obtidos.

Tabela 22. Análise de Correlação - %Pilar = 0%, >0% e >15% – RJ01 (elaboração do próprio autor).

	%Pilar = 0%			%Pilar > 0%			%Pilar > 15%		
	ton/peça	%Pilar	DispEquip	ton/peça	%Pilar	DispEquip	ton/peça	%Pilar	DispEquip
$RUP_{d,of,peso}$	-0,59	-	-0,51	-0,16	-0,23	-0,34	-0,18	-0,38	-0,38
$RUP_{d,of,pç}$	-0,01	-	-0,27	0,52	0,11	-0,36	0,65	-0,04	-0,25
$EfE_{d,peso}$	-0,29	-	-0,16	-0,26	-0,23	-0,03	-0,19	-0,08	0,04
$EfE_{d,pç}$	0,45	-	0,24	0,40	0,07	-0,09	0,37	0,22	0,15
peças/dia	-0,40	-	0,02	-0,55	-0,20	0,43	-0,70	-0,34	0,19

Analisando-se a evolução da produtividade e do ritmo de produção com o tempo, a observação das curvas de indicadores de produtividade por dias de produção mostradas no Capítulo 5 indica uma progressiva diminuição na variação dos indicadores em base diária, com consequente diminuição no valor dos indicadores cumulativos ao longo do período de estudo. Com relação à curva de ritmo de produção por meses de produção, também apresentada no Capítulo 5, observa-se uma tendência levemente crescente ao longo dos meses que constituem o período de estudo.

6.1.2. Obra RJ02

A Tabela 23 apresenta os valores de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$ e $\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$ para a obra RJ02.

Como se pode observar, o efeito de anormalidades e variações diárias de conteúdo e contexto foi responsável por uma variação de 9 a 50% da produtividade potencial.

Tabela 23. Cálculo de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$ e $\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$ – RJ02 (elaboração do próprio autor).

	Cumulativo	Potencial	Δ	%Potencial
$\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$	36,72 Hh/t	27,76 Hh/t	8,96 Hh/t	32%
$\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$	5,28 Hh/pç	4,85 Hh/pç	0,44 Hh/pç	9%
$\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$	3,61 Eq.h/t	2,41 Eq.h/t	1,20 Eq.h/t	50%
$\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$	0,52 Eq.h/pç	0,45 Eq.h/pç	0,07 Eq.h/pç	15%

Na eliminação de *outliers*, identificou-se que 4 dos 23 dias de produção poderiam ser considerados sob forte influência de anormalidades (17,3%). De fato, após a exclusão desses dias do banco de dados, obteve-se uma redução na variabilidade dos indicadores de produtividade diária, conforme mostrado na Tabela 24. De certa maneira, essa nova faixa de valores representa a variação dos indicadores de produtividade livres do efeito de anormalidades significativas.

Tabela 24. Eliminação de outliers/ anormalidades – RJ02 (elaboração do próprio autor).

ANTES DA ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS			APÓS A ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS		
RUPs diárias [mín; max]			RUPs diárias [mín; max]		
$RUP_{d,of,peso}$	-	-	$RUP_{d,of,peso}$	-	-
$RUP_{d,of,peça}$	[1,54 ; 15,43] Hh/pç	10 X	$RUP_{d,of,peça}$	[1,54 ; 9,00] Hh/pç	6 X
EfEs diárias [mín; max]			EfEs diárias [mín; max]		
$EfE_{d,peso}$	-	-	$EfE_{d,peso}$	-	-
$EfE_{d,peça}$	[0,19 ; 1,80] Eq.h/pç	9 X	$EfE_{d,peça}$	[0,19 ; 1,50] Eq.h/pç	8 X

Na análise de correlação entre os fatores ton/peça, %Pilar e DispEquip e os indicadores da produtividade potencial e de ritmo de produção, obteve-se os coeficientes de Spearman indicados na Tabela 25.

Tabela 25. Análise de Correlação – RJ02 (elaboração do próprio autor).

	ton/peça	%Pilar	DispEquip
$RUP_{d,of,peso}$	-	-	-
$RUP_{d,of,pç}$	-	-0,10	-0,59
$EfE_{d,peso}$	-	-	-
$EfE_{d,pç}$	-	-0,27	-0,39
peças/dia	-	0,21	0,47

Assim, observa-se que ocorreu melhor correlação entre o fator DispEquip e todos os indicadores que consideram a quantidade de peças como saída, e o fator %Pilar e os indicadores $EfE_{d,peça}$ e de ritmo de produção.

Analisando-se a evolução da produtividade e do ritmo de produção com o tempo, a observação das curvas de indicadores de produtividade por dias de produção, mostradas no Capítulo 5, mostra que a variabilidade dos indicadores de base diária se manteve ao longo do mês considerado, o que resultou em um indicador cumulativo praticamente constante. Já se observando as curvas dos indicadores de produtividade por meses de produção para todo período de estudo, nota-se que houve uma melhora nos indicadores de produtividade mensal após os dois primeiros meses de produção, apesar de se manter significativa variabilidade nesses indicadores ao longo de todo o período. A análise do gráfico de ritmo de produção por meses de produção também apresenta um crescimento em relação aos dois primeiros meses, mas mostra uma leve queda ao longo dos últimos meses.

6.1.3. Obra RJ03

A Tabela 26 apresenta os valores de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$ e $\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$ para a obra RJ03. Como se pode observar, o efeito de anormalidades e variações diárias de conteúdo e contexto foi responsável por uma variação de 40 a 47% da produtividade potencial.

Tabela 26. Cálculo de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$ e $\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$ – RJ03 (elaboração do próprio autor).

	Cumulativo	Potencial	Δ	%Potencial
$\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$	48,02 Hh/t	33,77 Hh/t	14,25 Hh/t	42%
$\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$	8,84 Hh/pç	6,07 Hh/pç	2,77 Hh/pç	46%
$\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$	3,01 Eq.h/t	2,16 Eq.h/t	0,86 Eq.h/t	40%
$\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$	0,55 Eq.h/pç	0,38 Eq.h/pç	0,18 Eq.h/pç	47%

Na eliminação de *outliers*, notou-se que essa obra apresentou uma enorme variabilidade em seus indicadores em base diária. Identificou-se 33 dos 182 dias de produção que poderiam ser considerados sob mais forte influência de anormalidades (18,1%) para que fossem excluídos do banco de dados. De fato, após a exclusão desses dias do banco de dados, obteve-se considerável redução na variabilidade dos indicadores de produtividade diária, conforme mostrado na Tabela 27. De certa maneira, essa nova faixa de valores representa a variação dos indicadores de produtividade livres do efeito de anormalidades muito significativas.

Tabela 27. Eliminação de outliers/ anormalidades – RJ03 (elaboração do próprio autor).

ANTES DA ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS			APÓS A ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS		
RUPs diárias [mín; max]			RUPs diárias [mín; max]		
$RUP_{d,of,peso}$	[6,61 ; 1044,33] Hh/t	158 X	$RUP_{d,of,peso}$	[9,60 ; 141,88] Hh/t	15 X
$RUP_{d,of,peça}$	[2,21 ; 137,08] Hh/pç	62 X	$RUP_{d,of,peça}$	[2,21 ; 34,62] Hh/pç	16 X
EfEs diárias [mín; max]			EfEs diárias [mín; max]		
$EfE_{d,peso}$	[0,22 ; 73,91] Eq.h/t	331 X	$EfE_{d,peso}$	[0,98 ; 15,64] Eq.h/t	16 X
$EfE_{d,peça}$	[0,16 ; 4,50] Eq.h/pç	29 X	$EfE_{d,peça}$	[0,16 ; 2,14] Eq.h/pç	14 X

Na análise de correlação entre os fatores ton/peça, %Pilar e DispEquip e os indicadores da produtividade potencial e de ritmo de produção, obteve-se os coeficientes de Spearman indicados na Tabela 28.

Tabela 28. Análise de Correlação – RJ03 (elaboração do próprio autor).

	ton/peça	%Pilar	DispEquip
$RUP_{d,of,peso}$	-0,37	-0,07	-0,34
$RUP_{d,of,pç}$	0,25	0,25	-0,34
$EfE_{d,peso}$	-0,26	-0,18	0,12
$EfE_{d,pç}$	0,37	0,21	0,14
peças/dia	-0,39	-0,27	0,19

Assim, observa-se que ocorreu melhor correlação entre o fator ton/peça e todos os indicadores, o fator %Pilar e os indicadores que consideram o peso das peças como saída e o indicador de ritmo de produção, e o fator DispEquip e os indicadores de produtividade da mão de obra.

Analizou-se ainda a correlação entre esses fatores e indicadores filtrando-se o banco de dados para três situações: considerando-se apenas dias sem montagem de pilares, considerando apenas dias em que ocorreu montagem de pilares e considerando-se apenas dias nos quais mais de 15% das peças montadas foram pilares. A Tabela 29 mostra os resultados obtidos.

Tabela 29. Análise de Correlação - %Pilar = 0%, >0% e >15% – RJ03 (elaboração do próprio autor).

	%Pilar = 0%			%Pilar > 0%			%Pilar > 15%		
	ton/peça	%Pilar	DispEquip	ton/peça	%Pilar	DispEquip	ton/peça	%Pilar	DispEquip
$RUP_{d,of,peso}$	-0,50	-	-0,34	-0,15	0,22	-0,36	-0,11	0,21	-0,27
$RUP_{d,of,pç}$	0,13	-	-0,36	0,36	0,50	-0,33	0,22	0,42	-0,32
$EfE_{d,peso}$	-0,28	-	0,09	-0,15	0,03	0,14	-0,28	-0,04	0,24
$EfE_{d,pç}$	0,34	-	0,15	0,43	0,39	0,15	0,21	0,29	0,20
peças/dia	-0,29	-	0,22	-0,48	-0,50	0,17	-0,41	-0,52	0,19

Analisando-se a evolução da produtividade e do ritmo de produção com o tempo, a observação das curvas de indicadores de produtividade por dias de produção mostradas no Capítulo 5 indica uma menor variabilidade nos indicadores em base diária nos primeiros meses do período de estudo, exceto para o indicador $E_fE_{d,peça}$. Não se pode afirmar que houve tendência de crescimento ou decrescimento nos indicadores de produtividade ao longo do tempo. Com relação ao gráfico de ritmo de produção por meses de produção, observa-se uma queda acentuada de produção

no mês de janeiro, mas não se pode inferir qualquer tendência com relação aos outros meses.

6.1.4. Obra SP01

A Tabela 30 apresenta os valores de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$ e $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$ para a obra SP01. Como se pode observar, o efeito de anormalidades e variações diárias de conteúdo e contexto foi responsável por uma variação de 19 a 41% da produtividade potencial.

Tabela 30. Cálculo de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$ e $\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$ – SP01 (elaboração do próprio autor).

	Cumulativo	Potencial	Δ	%Potencial
$\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$	16,30 Hh/t	13,67 Hh/t	2,63 Hh/t	19%
$\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$	7,85 Hh/pç	5,58 Hh/pç	2,27 Hh/pç	41%
$\Delta EfE_{cum,peso} - EfE_{pot,peso}$	-	-	-	-
$\Delta EfE_{cum,peça} - EfE_{pot,peça}$	-	-	-	-

Tendo sido coletados apenas dados em base mensal para esse caso, não foi realizado o processo de eliminação de outliers. Entretanto, foi realizada a análise de correlação entre o fator ton/peça e os indicadores da produtividade potencial e de ritmo de produção, obtendo-se os coeficientes de Spearman indicados na Tabela 31.

Tabela 31. Análise de Correlação – SP01 (elaboração do próprio autor).

	ton/peça	%Pilar	DispEquip
$RUP_{d,of,peso}$	-0,19	-	-
$RUP_{d,of,pç}$	0,90	-	-
$EfE_{d,peso}$	-	-	-
$EfE_{d,pç}$	-	-	-
peças/dia	-0,14	-	-

Assim, observa-se que ocorreu melhor correlação entre o fator ton/peça e o indicador com base mensal $RUP_{m,of,peça}$. No entanto, chama-se atenção para o fato

de que o valor alto do coeficiente de Spearman pode ser devido ao fato de se ter feito a análise de correlação com um número menor de dados.

Analisando-se a evolução da produtividade e do ritmo de produção com o tempo, a observação das curvas de indicadores de produtividade por meses de produção, mostradas no Capítulo 5, indica o crescimento no indicador $RUP_{m,of,peça}$ ao longo do período de estudo. O Indicador $RUP_{m,of,peso}$, por sua vez, variou ao longo do período sem apresentar uma tendência de crescimento ou decrescimento. Com relação ao gráfico de ritmo de produção por meses de produção, também apresentado no Capítulo 5, observa-se uma tendência de crescimento nos primeiros meses, chegando-se a um pico no mês de agosto de 2011, seguido de uma tendência decrescente até o final do período de estudo.

6.1.5. Obra SP02

A Tabela 32 apresenta os valores de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$ e $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$ para a obra SP02. Como se pode observar, o efeito de anormalidades e variações diárias de conteúdo e contexto foi responsável por uma variação de 10 a 33% da produtividade potencial.

Tabela 32. Cálculo de $\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$, $\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$, $\Delta Efe_{cum,peso} - Efe_{pot,peso}$ e $\Delta Efe_{cum,peça} - Efe_{pot,peça}$ – SP02 (elaboração do próprio autor).

	Cumulativo	Potencial	Δ	%Potencial
$\Delta RUP_{cum,of,peso} - RUP_{pot,of,peso}$	27,42 Hh/t	20,59 Hh/t	6,82 Hh/t	33%
$\Delta RUP_{cum,of,peça} - RUP_{pot,of,peça}$	9,05 Hh/pç	8,23 Hh/pç	0,82 Hh/pç	10%
$\Delta Efe_{cum,peso} - Efe_{pot,peso}$	-	-	-	-
$\Delta Efe_{cum,peça} - Efe_{pot,peça}$	-	-	-	-

Na eliminação de *outliers*, notou-se que essa obra apresentou uma enorme variabilidade em seus indicadores em base diária. Identificou-se 13 dos 80 dias de produção que poderiam ser considerados sob forte influência de anormalidades (16,2%) para que fossem excluídos do banco de dados. De fato, após a exclusão desses dias do banco de dados, obteve-se considerável redução na variabilidade dos indicadores de produtividade diária, conforme mostrado na Tabela 33. De certa

maneira, essa nova faixa de valores representa a variação dos indicadores de produtividade livres do efeito de anormalidades muito significativas.

Tabela 33. Eliminação de outliers/ anormalidades – SP02 (elaboração do próprio autor).

ANTES DA ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS			APÓS A ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS		
RUPs diárias [mín; max]			RUPs diárias [mín; max]		
RUP _{d,of,peso}	[8,27 ; 150,50] Hh/t	18 X	RUP _{d,of,peso}	[8,27 ; 69,21] Hh/t	8 X
RUP _{d,of,peça}	[3,46 ; 90,00] Hh/pç	26 X	RUP _{d,of,peça}	[3,46 ; 35,13] Hh/pç	10 X
EfEs diárias [mín; max]			EfEs diárias [mín; max]		
EfE _{d,peso}	-	-	EfE _{d,peso}	-	-
EfE _{d,peça}	-	-	EfE _{d,peça}	-	-

Na análise de correlação entre os fatores ton/peça, %Pilar e DispEquip e os indicadores da produtividade potencial e de ritmo de produção, obteve-se os coeficientes de Spearman indicados na Tabela 34.

Tabela 34. Análise de Correlação – SP02 (elaboração do próprio autor).

	ton/peça	%Pilar	DispEquip
RUP _{d,of,peso}	-0,46	-0,36	-
RUP _{d,of,pç}	0,44	0,16	-
EfE _{d,peso}	-	-	-
EfE _{d,pç}	-	-	-
peças/dia	-0,49	-0,19	-

Assim, observa-se que ocorreu melhor correlação entre o fator ton/peça e os indicadores de produtividade da mão de obra e de ritmo de produção e entre o fator %Pilar e o indicador RUP_{d,of,peso}, mas também uma correlação mais fraca entre esse fator e os demais indicadores considerados.

Analisando-se a evolução da produtividade e do ritmo de produção com o tempo, a observação das curvas de indicadores de produtividade por dias de produção mostradas no Capítulo 5 observa-se uma tendência de aumento dos indicadores de produtividade ao longo do período de estudo. Com relação ao gráfico de ritmo de produção por meses de produção, o ritmo variou ao longo dos meses, mas não se verifica qualquer tendência.

6.1.6. Conclusões da análise intraobras

A Tabela 35 apresenta um resumo das análises de correlação realizadas nessa seção, apresentando o coeficiente de Spearman obtido para cada relação indicador x fator, para cada obra. Além disso, a tabela apresenta um julgamento de se é possível considerar que houve ou não alguma correlação entre as variáveis consideradas e, havendo correlação, se ela foi positiva ou negativa. Esse julgamento foi realizado tomando como base não apenas os valores absolutos dos coeficientes de Spearman obtidos (que, como mencionado no Capítulo 4, pode ter interpretação diversa dependendo do fenômeno que se observa), mas também o fato de se obter coeficiente de mesmo sinal na maioria dos casos, o entendimento técnico do serviço e a observação dos gráficos de dispersão.

Tabela 35. Resumo da análise de correlação – Análise intraobra (elaborado pelo próprio autor).

Indicador x Fator		RJ01	RJ02	RJ03	SP01*	SP02	CORRELAÇÃO?
RUP _{d,of,peso}	ton/peça	-0,34	-	-0,37	-0,19	-0,46	SIM -
RUP _{d,of,pç}	ton/peça	0,38	-	0,25	0,90	0,44	SIM +
EfE _{d,peso}	ton/peça	-0,37	-	-0,26	-	-	SIM -
EfE _{d,pç}	ton/peça	0,36	-	0,37	-	-	SIM +
peças/dia	ton/peça	-0,43	-	-0,39	-0,14	-0,49	SIM -
RUP _{d,of,peso}	%Pilar	-0,33	-	-0,07	-	-0,36	SIM -
RUP _{d,of,pç}	%Pilar	0,08	-0,10	0,25	-	0,16	NÃO
EfE _{d,peso}	%Pilar	-0,35	-	-0,18	-	-	SIM -
EfE _{d,pç}	%Pilar	0,03	-0,27	0,21	-	-	NÃO
peças/dia	%Pilar	-0,06	0,21	-0,27	-	-0,19	NÃO
RUP _{d,of,peso}	DispEquip	-0,39	-	-0,34	-	-	SIM -
RUP _{d,of,pç}	DispEquip	-0,36	-0,59	-0,34	-	-	SIM -
EfE _{d,peso}	DispEquip	-0,09	-	0,12	-	-	NÃO
EfE _{d,pç}	DispEquip	-0,05	-0,39	0,14	-	-	NÃO
peças/dia	DispEquip	0,37	0,47	0,19	-	-	SIM +

* Dados em base mensal

Como se pode observar, o fator ton/peça apresentou correlação com todos os indicadores, sendo que um aumento em ton/peça levou a diminuição no valor dos indicadores de produtividade que consideram o peso das peças montadas como

saída (ou seja, a uma melhora da produtividade) e um aumento no valor dos indicadores de produtividade que consideram a quantidade de peças como saída (ou seja, a uma melhora da produtividade). Esse fator também apresentou correlação com o ritmo de produção, sendo que um aumento de ton/peça levou a uma diminuição no número de peças/dia montadas.

O fator %Pilar apresentou correlação com os indicadores de produtividade que consideram o peso das peças montadas como saída, de forma que um aumento na quantidade relativa de pilares levou a uma diminuição no valor desses indicadores. É possível que isso ocorra devido ao fato de pilares terem maior relação ton/peça do que vigas, de forma que um aumento em sua quantidade relativa esteja correlacionado ao aumento do fator ton/peça.

Com relação ao fator DispEquip, houve certa correlação com a RUP e com o indicador de ritmo de produção, sendo que um aumento na disponibilidade do equipamento de içamento mostrou-se correlacionado a uma melhora na produtividade da mão de obra e do ritmo de produção.

A Tabela 36 apresenta o resumo das análises de correlação com bancos de dados filtrados para as situações %Pilar = 0%, %Pilar > 0% e %Pilar > 15%, realizada para as obras RJ01 e RJ03. Essa tabela também apresenta um julgamento de se houve ou não correlação significativa entre as variáveis consideradas e, havendo correlação, se ela foi positiva ou negativa, da mesma forma que realizado para a tabela anterior.

Tabela 36. Resumo da análise de correlação – Análise intraobra (elaborado pelo próprio autor).

Indicador x Fator		R01 - %Pilar=0%	R03 - %Pilar=0%	CORRELAÇÃO?	R01 - %Pilar>0%	R03 - %Pilar>0%	CORRELAÇÃO?	R01 - %Pilar>15%	R03 - %Pilar>15%	CORRELAÇÃO?
RUP _{d,of,peso}	ton/peça	-0,59	-0,50	SIM -	-0,16	-0,15	NÃO	-0,18	-0,11	NÃO
RUP _{d,of,pç}	ton/peça	-0,01	0,13	NÃO	0,52	0,36	SIM +	0,65	0,22	SIM +
Efe _{d,peso}	ton/peça	-0,29	-0,28	SIM -	-0,26	-0,15	NÃO	-0,19	-0,28	NÃO
Efe _{d,pç}	ton/peça	0,45	0,34	SIM +	0,40	0,43	SIM +	0,37	0,21	SIM +
peças/dia	ton/peça	-0,40	-0,29	SIM -	-0,55	-0,48	SIM -	-0,70	-0,41	SIM -

RUP _{d,of,peso}	%Pilar	-	-	NÃO	-0,23	0,22	NÃO	-0,38	0,21	SIM -
RUP _{d,of,pç}	%Pilar	-	-	NÃO	0,11	0,50	NÃO	-0,04	0,42	NÃO
Efe _{d,peso}	%Pilar	-	-	NÃO	-0,23	0,03	NÃO	-0,08	-0,04	NÃO
Efe _{d,pç}	%Pilar	-	-	NÃO	0,07	0,39	NÃO	0,22	0,29	SIM +
peças/dia	%Pilar	-	-	NÃO	-0,20	-0,50	SIM -	-0,34	-0,52	SIM -

RUP _{d,of,peso}	DispEquip	-0,51	-0,34	SIM -	-0,34	-0,36	SIM -	-0,38	-0,27	SIM -
RUP _{d,of,pç}	DispEquip	-0,27	-0,36	SIM -	-0,36	-0,33	SIM -	-0,25	-0,32	SIM -
Efe _{d,peso}	DispEquip	-0,16	0,09	NÃO	-0,03	0,14	NÃO	0,04	0,24	NÃO
Efe _{d,pç}	DispEquip	0,24	0,15	NÃO	-0,09	0,15	NÃO	0,15	0,20	NÃO
peças/dia	DispEquip	0,02	0,22	NÃO	0,43	0,17	NÃO	0,19	0,19	NÃO

Como se pode observar, no cenário com %Pilar = 0 encontrou-se correlações semelhantes às mostradas anteriormente, exceto entre RUP_{d,of,peça} e ton/peça e peças/dia e DispEquip, que não apresentaram boa correlação. No cenário com %Pilar > 0% e %Pilar > 15% a correlação entre indicadores e o fator ton/peça e se comportou de forma semelhante, com certa correlação entre esse fator e os indicadores de produtividade que consideram a quantidade de peças como saída (positiva) e o indicador de ritmo de produção (negativa). Não se pode afirmar que houve correlação consistente entre ton/peça os indicadores que consideram o peso das peças como saída, mas observa-se uma correlação negativa fraca consistente nas duas obras. Nos dois cenários, houve alguma correlação negativa entre a RUP e o fator DispEquip. Com relação ao fator %Pilar, não houve uma lógica observável de sua correlação com os indicadores de produtividade nos dois cenários, mas houve alguma correlação negativa entre esse fator e o indicador peças/dia.

No Quadro 43, é apresentado um resumo das análises de evolução dos indicadores de produtividade e ritmo de produção com o tempo. Como se pode observar, não houve uma tendência consistente no conjunto de obras observadas.

Quadro 43. Resumo da análise da evolução dos indicadores com o tempo (elaboração do próprio autor).

Evolução dos indicadores com tempo		
Casos	Indicador Produtividade	Indicador Ritmo de Produção
RJ01	Diminui	Cresce
RJ02	Diminui	Cresce no início e diminui no fim
RJ03	Não houve tendência observável	Não houve tendência observável
SP01	$RUP_{peça}$ cresce/ RUP_{peso} constante	Cresce no início e diminui no fim
SP02	Cresce	Não houve tendência observável

6.2. Análise Interobras com base no Modelo dos Fatores

Nessa seção, inicialmente apresentam-se um conjunto de tabelas resumo que mostram os indicadores de produtividade, fatores potencialmente influenciadores, relações auxiliares, indicadores de ritmo de produção e indicadores por área de produtividade, obtidos para cada uma das obras consideradas nos estudos de caso. Em seguida, comparam-se os indicadores obtidos nos estudos de caso com os indicadores advindos das obras que compõem o banco de dados da coleta de dados complementar. Procede-se então com a análise de correlação entre os fatores potencialmente influenciadores representativos e os indicadores de produtividade potencial, considerados para o conjunto das obras estudadas. Por fim, faz-se uma análise da composição da equipe de mão de obra global, com base nas informações coletadas para o conjunto de obras.

6.2.1. Tabelas resumos de indicadores e fatores para o conjunto de obras dos estudos de caso

As Tabelas 37 a 40 apresentam um resumo dos indicadores de produtividade obtidos para cada um dos estudos de caso realizados.

Tabela 37. Resumo dos indicadores de produtividade da mão de obra - Hh/t (elaborado pelo próprio autor).

proprio autor).

PRODUTIVIDADE DA MÃO DE OBRA - Hh/t							
INDICADORES		unid.	RJ01	RJ02	RJ03	SP01	SP02
RUP _{pot,of,peso}		Hh/t	11,88	27,76	33,77	13,67	20,59
RUP _{cum,of,peso}		Hh/t	16,03	36,72	48,02	16,30	27,42
Δ (RUP _{cum,of,peso} -RUP _{pot,of,peso})		%RUP _{pot}	35%	32%	42%	19%	33%
RUP _{d,of,peso}	mín	Hh/t	5,51	-	9,60	-	8,27
	máx	Hh/t	38,15	-	141,88	-	69,21

Tabela 38. Resumo dos indicadores de produtividade da mão de obra - Hh/peça (elaborado pelo próprio autor).

dele próprio autor).

PRODUTIVIDADE DA MÃO DE OBRA - Hh/peça							
INDICADORES		unid.	RJ01	RJ02	RJ03	SP01	SP02
RUP _{pot,of,peça}		Hh/peça	3,33	4,85	6,07	5,58	8,23
RUP _{cum,of,peça}		Hh/peça	4,33	5,28	8,84	7,85	9,05
Δ (RUP _{cum,of,peça} - RUP _{pot,of,peça})		Hh/peça	30%	9%	46%	41%	10%
RUP _{d,of,peça}	mín	Hh/peça	1,37	1,54	2,21	-	3,46
	máx	Hh/peça	12,65	9,00	34,62	-	35,13

Tabela 39. Resumo dos indicadores de produtividade de equipamentos de içamento - Eqh/t (elaborado pelo próprio autor).

elaborado pelo próprio autor).

PRODUTIVIDADE DE EQUIPAMENTOS - Eqh/t							
INDICADORES		unid.	RJ01	RJ02	RJ03	SP01	SP02
E _f E _{pot,peso}		Eqh/t	1,84	2,29	2,16	-	-
E _f E _{cum,peso}		Eqh/t	2,40	2,86	3,01	-	-
Δ (E _f E _{cum,peso} -E _f E _{pot,peso})		%E _f E _{pot}	31%	25%	40%	-	-
E _f E _{d,peso}	mín	Eqh/t	0,89	-	0,98	-	-
	máx	Eqh/t	5,63	-	15,64	-	-

Tabela 40. Resumo dos indicadores de produtividade de equipamentos de içamento - Eqh/peça (elaborado pelo próprio autor).

Eqh/peça (elaborado pelo próprio autor).

PRODUTIVIDADE DE EQUIPAMENTOS - Eqh/peça							
INDICADORES		unid.	RJ01	RJ02	RJ03	SP01	SP02
E _f E _{pot,peça}		Eqh/peça	0,53	0,45	0,38	-	-
E _f E _{cum,peça}		Eqh/peça	0,65	0,52	0,55	-	-
Δ (E _f E _{cum,peça} -E _f E _{pot,peça})		Eqh/peça	23%	15%	47%	-	-
E _f E _{d,peça}	mín	Eqh/peça	0,30	0,19	0,16	-	-
	máx	Eqh/peça	1,70	1,50	2,14	-	-

As Tabelas 41, 42 e 43 apresentam, respectivamente, um resumo das relações auxiliares, indicadores de ritmo de produção e indicadores por área de produtividade, obtidos para cada um dos estudos de caso realizados.

Tabela 41. Resumo das relações auxiliares (elaborado pelo próprio autor).

RELAÇÕES AUXILIARES					
FATORES	RJ01	RJ02	RJ03	SP01	SP02
glob:of	1,48	1,34	1,44	-	-
aj:of	0,29	0,23	0,31	-	-
sold:of	0,19	0,11	0,13	-	-
adm:of	0,46	0,56	0,57	-	-
ton/m ²	0,025	0,034	0,023	0,041	0,030
peças/m ²	0,101	0,207	0,163	0,075	0,080

Tabela 42. Resumo dos indicadores de ritmo de produção (elaborado pelo próprio autor).

INDICADORES DE RITMO DE PRODUÇÃO					
FATORES	RJ01	RJ02	RJ03	SP01	SP02
ton/dia _{médio}	4,39	-	2,19	7,04	4,77
ton/dia _{máximo}	8,99	-	20,17	-	7,80
peças/dia _{médio}	16	15	11	13	13
peças/dia _{máximo}	40	40	31	49	23
min/peça _{médio}	33	36	49	42	41

Tabela 43. Resumo dos indicadores por área de produtividade (elaborado pelo próprio autor).

INDICADORES POR ÁREA DE PRODUTIVIDADE					
FATORES	RJ01	RJ02	RJ03	SP01	SP02
MO _{área}	0,42	1,16	1,28	0,63	0,77
Eq _{área}	0,06	0,11	0,08	-	-

A Tabela 44 apresenta um resumo dos vinte fatores potencialmente influenciadores da produtividade selecionados para serem estudados, obtidos para cada um dos estudos de caso.

Tabela 44. Resumo dos fatores potencialmente influenciadores (elaborado pelo próprio autor).

FATORES POTENCIALMENTE INFLUENCIADORES					
FATORES	RJ01	RJ02	RJ03	SP01	SP02
ton/pç	0,25	0,16	0,14	0,55	0,37
%Pilar	20%	14%	19%	20%	9%
NParaf/lig	-	-	5,52	11,05	6,89
%LigVP	36%	26%	33%	36%	16%
%LigVC	15%	12%	10%	18%	23%
PD	3,17	3,00	3,04	3,88	4,13
Pav	60,23 m	93,70 m	71,40 m	73,63 m	139,00 m
A	1324,57 m ²	927,00 m ²	1220,60 m ²	1144,41 m ²	2535,00 m ²
Per/A	0,10	0,17	0,13	0,15	0,08
l1/l2	1,43	3,17	2,53	3,32	1,10
%VigasBord	18%	11%	15%	29%	10%
%PilarPerif	64%	59%	61%	100%	100%
QuantEquip	1	2	2	1	1 ou 2*
DispEquip	54%	51%	55%	-	-
aj:of	0,29	0,38	0,31	-	-
sold:of	0,19	0,14	0,13	-	-
adm:dir	0,46	0,65	0,57	-	-
GeomSV	Perfil I	Perfil I	Perfil I	Perfil I	Perfil I
GeomSP	Perfil Tubular Circular	I e Tubular	Perfil I	Perfil I	Perfil I
TipoEquip	Grua Fixa	Grua Fixa	Grua Fixa	GRUA FIXA	Grua Fixa

6.2.2. Análise comparativa entre indicadores advindos dos estudos de caso e indicadores da coleta de dados complementar

A Tabela 45 permite a análise comparativa entre os indicadores obtidos nos estudos de caso, expressos por meio de sua faixa de variação (valor mínimo e máximo), e os indicadores da coleta complementar. Foram destacados em verde os indicadores da coleta complementar que estão contidos na faixa de variação dos indicadores dos estudos de caso.

Tabela 45. Comparativo entre faixa de variação dos indicadores obtidos nos estudos de caso e indicadores da coleta complementar (elaboração do próprio autor).

Indicadores	Estudos de Caso		Coleta Complementar					
	mín	máx	O2	O3	O4	O5	O6	O7
RUP _{cum, glob, peso} (Hh/ton)	11,88	33,77	77,90	45,50	28,34	14,97	27,90	27,90
ton/dia _{médio}	2,19	7,04	4,18	8,99	-	5,57	6,20	3,37
peças/dia _{médio}	11	16	23	24	13	10	20	18
peças/dia _{máximo}	23	49	44	66	39	42	81	58
min/peça _{médio}	33	49	23	22	42	53	27	30
ton/m ²	0,023	0,041	0,060	0,084	0,057	0,046	0,047	0,080
MO _{área} (Hh/m ²)	0,42	1,28	4,66	3,82	1,60	0,69	1,32	2,23

Analisa-se a seguir se os indicadores obtidos na coleta complementar poderiam ser incorporados aos dados obtidos nos estudos de caso, o que exige cautela uma vez que esses dados não foram obtidos por meio do procedimento padronizado definido nesse trabalho:

- $RUP_{cum, glob, peso}$ (Hh/ton): quatro das seis obras da coleta complementar apresentaram valores para esse indicador dentro da faixa de variação obtida por meio dos estudos de caso. Entretanto, dois valores mostraram-se bem acima do limite superior da faixa de variação, o que indica a possibilidade desses indicadores terem sido computados de maneira distinta à utilizada nesse trabalho.
- $ton/dia_{média}$: cinco das seis obras da coleta complementar apresentaram valores para esse indicador dentro da faixa de variação obtida por meio dos estudos de caso. Além disso, o único valor que ficou acima da faixa, não está muito distante de seu extremo superior. Acredita-se que esses indicadores representem valores válidos de ritmo de produção.
- $peças/dia_{média}$, $peças/dia_{máximo}$, $min/peça_{médio}$: poucas obras da coleta complementar apresentaram valores para esse indicador dentro da faixa de variação obtida por meio dos estudos de caso. No entanto, acredita-se que esses indicadores de ritmo de produção não tem muito em que diferir em termos conceituais dos definidos nesse trabalho, de forma que possivelmente podem indicar valores válidos de ritmo de produção.
- ton/m^2 e $MO_{área}$ (Hh/m²): quase todos os valores obtidos para as obras da coleta complementar apresentaram valores para esse indicador acima do limite superior da faixa de variação obtida por meio dos estudos de caso, o que sugere fortemente a possibilidade desses indicadores terem sido computados de maneira distinta à utilizada nesse trabalho.

Com base no exposto, opta-se por não incorporar esses dados aos obtidos por meio dos estudos de caso, de forma a não misturar indicadores que podem ter sido definidos de maneira distinta. No entanto, mantém-se a apresentação desses dados de forma a dar maior amplitude a esse banco de dados e possibilitar sua utilização em futuros estudos.

6.2.3. Análises de correlação para o conjunto de obras

Para as análises de correlação entre fatores potencialmente influenciadores representativos e os indicadores de produtividade potencial obtidos para cada obra, foram montadas quatro tabelas que comparam os diferentes valores. De forma a facilitar a análise, as colunas foram colocadas em ordem crescente do indicador de produtividade. Assim, pode-se observar a ocorrência ou não de correlação de postos⁵⁹ entre as variáveis simplesmente observando-se se os fatores encontram-se também em ordem crescente (correlação positiva com o indicador de produtividade) ou decrescente (correlação negativa com o indicador de produtividade). Quando necessário, foram plotados gráficos de dispersão para análise da correlação que, no entanto, não são apresentados aqui de forma a não poluir a apresentação das análises.

Além disso, as tabelas apresentam um julgamento de se houve ou não correlação significativa entre as variáveis consideradas e, havendo correlação, se ela foi positiva ou negativa. Como critério para esse julgamento, considerou-se, para a análise de correlação entre RUP e fatores, que ocorreu correlação significativa quando pelo menos quatro das cinco obras apresentam uma tendência de variação conjunta entre seus fatores e indicadores. Para a análise de correlação entre E_fE e fatores, considerou-se que ocorreu correlação significativa apenas quando as três obras consideradas apresentaram tendência de variação conjunta entre seus fatores e indicadores.

As Tabelas 46 a 49 apresentam a análise de correlação entre fatores e $RUP_{pot,of,peso}$, $RUP_{pot,of,peça}$, $E_fE_{pot,peso}$ e $E_fE_{pot,peça}$, respectivamente.

⁵⁹ Isto é, indicativo da monotonicidade da tendência de variação conjunta das variáveis. O mesmo tipo de correlação analisada pelo coeficiente de Spearman, mas que aqui não será utilizado por conta do pequeno número de variáveis a serem analisadas.

Tabela 46. Análise de correlação entre $RUP_{pot,of,peso}$ e fatores potencialmente influenciadores (elaborado pelo próprio autor).

RUP _{pot,of,peso} x FATORES						CORRELAÇÃO?
FATORES	RJ01	SP01	SP02	RJ02	RJ03	
RUP _{pot,of,peso}	11,88	13,67	20,59	27,76	33,77	
ton/pç	0,25	0,55	0,37	0,16	0,14	SIM -
%Pilar	20%	20%	9%	14%	19%	NÃO
NParaf/lig		11,05	6,89		5,52	SIM -
%LigVP	36%	36%	16%	26%	33%	NÃO
%LigVC	15%	18%	23%	12%	10%	NÃO
PD	3,17	3,88	4,13	3,00	3,04	NÃO
Pav	60,23 m	73,63 m	139,00 m	93,70 m	71,40 m	NÃO
A	1324,57 m2	1144,41 m2	2535,00 m2	927,00 m2	1220,60 m2	NÃO
Per/A	0,10	0,15	0,08	0,17	0,13	NÃO
l1/l2	1,43	3,32	1,10	3,17	2,53	NÃO
%VigasBord	18%	29%	10%	11%	15%	NÃO
%PilarPerif	64%	100%	100%	59%	61%	NÃO
QuantEquip	1	1	1 ou 2*	2	2	SIM +
DispEquip	54%	-	-	51%	55%	NÃO
aj:of	0,29	-	-	0,38	0,31	NÃO
sold:of	0,19			0,14	0,13	SIM -
adm:dir	0,46	-	-	0,65	0,57	NÃO
GeomSV	Perfil I	Perfil I	Perfil I	Perfil I	Perfil I	-
GeomSP	Perfil Tubular Circular	Perfil I	Perfil I	I e Tubular	Perfil I	NÃO
TipoEquip	Grua Fixa	GRUA FIXA	Grua Fixa	Grua Fixa	Grua Fixa	-

Tabela 47. Análise de correlação entre $RUP_{pot,of,peça}$ e fatores potencialmente influenciadores (elaborado pelo próprio autor).

RUP _{pot,of,peça} x FATORES						CORRELAÇÃO?
FATORES	RJ01	RJ02	SP01	RJ03	SP02	
RUP _{pot,of,peça}	3,33	4,85	5,58	6,07	8,23	
ton/pç	0,25	0,16	0,55	0,14	0,37	NÃO
%Pilar	20%	14%	20%	19%	9%	NÃO
NParaf/lig	-	-	11,05	5,52	6,89	NÃO
%LigVP	36%	26%	36%	33%	16%	NÃO
%LigVC	15%	12%	18%	10%	23%	NÃO
PD	3,17	3,00	3,88	3,04	4,13	NÃO
Pav	60,23 m	93,70 m	73,63 m	71,40 m	139,00 m	NÃO
A	1324,57 m2	927,00 m2	1144,41 m2	1220,60 m2	2535,00 m2	SIM +
Per/A	0,10	0,17	0,15	0,13	0,08	SIM -
l1/l2	1,43	3,17	3,32	2,53	1,10	NÃO
%VigasBord	18%	11%	29%	15%	10%	NÃO
%PilarPerif	64%	59%	100%	61%	100%	NÃO
QuantEquip	1	2	1	2	1 ou 2*	NÃO
DispEquip	54%	51%	-	55%	-	NÃO
aj:of	0,29	0,38	-	0,31	-	NÃO
sold:of	0,19	0,14	-	0,13	-	SIM -
adm:dir	0,46	0,65	-	0,57	-	NÃO
GeomSV	Perfil I	Perfil I	Perfil I	Perfil I	Perfil I	-
GeomSP	Perfil Tubular Circular	I e Tubular	Perfil I	Perfil I	Perfil I	SIM
TipoEquip	Grua Fixa	Grua Fixa	GRUA FIXA	Grua Fixa	Grua Fixa	-

Tabela 48. Análise de correlação entre $E_f E_{\text{pot,peso}}$ e fatores potencialmente influenciadores (elaborado pelo próprio autor).

$E_f E_{\text{pot,peso}} \times \text{FATORES}$				CORRELAÇÃO?
FATORES	RJ01	RJ03	RJ02	
$E_f E_{\text{pot,peso}}$	1,84	2,16	2,29	
ton/pç	0,25	0,14	0,16	NÃO
%Pilar	20%	19%	14%	SIM -
NParaf/lig	-	5,52	-	-
%LigVP	36%	33%	26%	SIM -
%LigVC	15%	10%	12%	NÃO
PD	3,17	3,04	3,00	SIM -
Pav	60,23 m	71,40 m	93,70 m	SIM +
A	1324,57 m ²	1220,60 m ²	927,00 m ²	SIM -
Per/A	0,10	0,13	0,17	SIM +
I1/I2	1,43	2,53	3,17	SIM +
%VigasBord	18%	15%	11%	SIM -
%PilarPerif	64%	61%	59%	SIM -
QuantEquip	1	2	2	SIM +
DispEquip	54%	55%	51%	NÃO
aj:of	0,29	0,31	0,38	SIM +
sold:of	0,19	0,13	0,14	NÃO
adm:dir	0,46	0,57	0,65	SIM +
GeomSV	Perfil I	Perfil I	Perfil I	-
GeomSP	Perfil Tubular Circular	Perfil I	I e Tubular	NÃO
TipoEquip	Grua Fixa	Grua Fixa	Grua Fixa	-

Tabela 49. Análise de correlação entre $E_f E_{\text{pot,peça}}$ e fatores potencialmente influenciadores (elaborado pelo próprio autor).

$E_f E_{\text{pot,peça}} \times \text{FATORES}$				CORRELAÇÃO?
FATORES	RJ03	RJ02	RJ01	
$E_f E_{\text{pot,peça}}$	0,38	0,45	0,53	
ton/pç	0,14	0,16	0,25	SIM +
%Pilar	19%	14%	20%	NÃO
NParaf/lig	5,52	-	-	-
%LigVP	33%	26%	36%	NÃO
%LigVC	10%	12%	15%	SIM +
PD	3,04	3,00	3,17	NÃO
Pav	71,40 m	93,70 m	60,23 m	NÃO
A	1220,60 m ²	927,00 m ²	1324,57 m ²	NÃO
Per/A	0,13	0,17	0,10	NÃO
I1/I2	2,53	3,17	1,43	NÃO
%VigasBord	15%	11%	18%	NÃO
%PilarPerif	61%	59%	64%	NÃO
QuantEquip	2	2	1	SIM -
DispEquip	55%	51%	54%	NÃO
aj:of	0,31	0,38	0,29	NÃO
sold:of	0,13	0,14	0,19	SIM +
adm:dir	0,57	0,65	0,46	NÃO
GeomSV	Perfil I	Perfil I	Perfil I	-
GeomSP	Perfil I	I e Tubular	Perfil Tubular Circular	SIM
TipoEquip	Grua Fixa	Grua Fixa	Grua Fixa	-

O Quadro 44 apresenta um resumo dos resultados das análises de correlação obtidas na análise interobras.

Quadro 44. Resumo da análise de correlação – Análise interobras (elaborado pelo próprio autor).

	RUPpot,of,peso	RUPpot,of,peça	EfEpot,peso	EfEpot,peça
ton/pç	SIM -	NÃO	NÃO	SIM +
%Pilar	NÃO	NÃO	SIM -	NÃO
NParaf/lig	SIM -	NÃO	-	-
%LigVP	NÃO	NÃO	SIM -	NÃO
%LigVC	NÃO	NÃO	NÃO	SIM +
PD	NÃO	NÃO	SIM -	NÃO
Pav	NÃO	NÃO	SIM +	NÃO
A	NÃO	SIM +	SIM -	NÃO
Per/A	NÃO	SIM -	SIM +	NÃO
I1/I2	NÃO	NÃO	SIM +	NÃO
%VigasBord	NÃO	NÃO	SIM -	NÃO
%PilarPerif	NÃO	NÃO	SIM -	NÃO
QuantEquip	SIM +	NÃO	SIM +	SIM -
DispEquip	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
aj:of	NÃO	NÃO	SIM +	NÃO
sold:of	SIM -	SIM -	NÃO	SIM +
adm:dir	NÃO	NÃO	SIM +	NÃO
GeomSV	-	-	-	-
GeomSP	NÃO	SIM	NÃO	SIM
TipoEquip	-	-	-	-

Ao analisar criticamente os resultados obtidos, buscamos observar se os fatores apresentaram correlação consistente com os quatro indicadores de produtividade, ou ao menos com dois dos indicadores que possuam mesmo tipo de saída, de forma a embasar conclusões sobre a variação conjunta entre esse indicador e a produtividade no serviço. No entanto, isso só se observou para os fatores QuantEquip, sold:of e GeomSP. Com relação a QuantEquip e GeomSP, acredita-se que o pequeno número de valores assumidos pelos fatores (1 ou 2 para QuantEquip e 1 ou Tubular para GeomSP) não permite tirar conclusões contundentes quanto a tendência de correlação com a produtividade. No caso da relação sold:of, de fato houve correlação negativa significativa entre esse fator e a RUP.

Chama-se atenção também para os fatores GeomSV e TipoEquip, que por terem apresentado valores idênticos em todas as obras não permitiram a análise de correlação.

Com relação aos fatores também considerados nas análises intraobra, houve correlações semelhantes entre o fator ton/peça e os indicadores $RUP_{pot,of,peso}$ e $E_f E_{pot,peça}$, mas não houve correlação significativa entre com os indicadores $RUP_{pot,of,peça}$ e $E_f E_{pot,peso}$. Com relação ao fator %Pilar, os resultados encontrados nessa análise são bastante distintos dos obtidos na análise intraobras. Para o fator DispEquip, não se encontrou correlação significativa com os indicadores de produtividade. No entanto, acredita-se que os resultados distintos, apesar de não confirmarem o obtido nas análises intraobra, também não os anulam, uma vez que a correlação interobras foi realizada com um número de dados bastante inferior ao da análise intraobra.

Para os demais fatores, mesmo ocorrendo correlações pontuais com um ou outro indicador de produtividade, acredita-se que não houve embasamento suficiente para se derivar conclusões sobre sua variação conjunta com os indicadores de produtividade.

6.2.4. Análise da configuração das equipes de mão de obra global

Com base nos dados coletados nos estudos de caso, procede-se com a análise da composição das equipes de mão de obra global, por equipamento de içamento, em termos de especialização (montadores/ ajudantes/ soldadores) e para as agregações mão de obra direta, mão de obra de apoio e mão de obra direta complementar.

A Tabela 50 apresenta a quantidade média de Hh/ dia, o número de equipamentos de içamento e a média de horas disponíveis/ dia⁶⁰, nas cinco obras que constituíram os estudos de caso dessa pesquisa. Com base nesses valores, calcula-se um

⁶⁰ A obra SP02 apresenta um valor quebrado de número de equipamento por conta da entrada de mais uma grua apenas após a metade do período de estudo. A média de horas disponível também é maior por conta do trabalho em dois turnos em determinado período do estudo.

efetivo médio por equipamento para cada uma das obras, conforme apresentado na Tabela 51.

Tabela 50. Hh/dia, número de equipamentos e média de horas disponíveis/dia para as obras dos estudos de caso (elaboração do próprio autor).

	Média Hh/dia				Número de Equipamentos	Média $h_{\text{disponíveis}}/\text{dia}$
	Montadores	Ajudantes	Soldadores	Global		
RJ01	211,06	61,69	39,66	312,41	3	9
RJ02	159,85	36,15	17,77	213,77	2	9
RJ03	209,88	64,81	26,53	301,22	2	9
SP01	-	-	-	118,29	1	9
SP02	-	-	-	488,88	1,6	15

Tabela 51. Efetivo médio por equipamento para as obras dos estudos de caso (elaboração do próprio autor).

	Efetivo médio/ equipamento			
	Montadores	Ajudantes	Soldadores	Global
RJ01	8	2	1	12
RJ02	9	2	1	12
RJ03	12	4	1	17
SP01	-	-	-	13
SP02	-	-	-	20
Mediana =	9	2	1	

Como se pode observar, os valores medianos do conjunto de obras conduzem a uma equipe de 9 montadores, 2 ajudantes e 1 soldador por equipamento de içamento. Considerando esses valores, a Tabela 52 mostra a distribuição da mão de obra em função da agregação por equipe direta, de apoio e direta complementar, com base no que foi observado nas obras dos estudos de caso.

Tabela 52. Equipes de mão de obra direta, de apoio e de apoio complementar (elaboração do próprio autor).

	Montadores	Ajudantes	Soldadores	Total
Direta	5	-	-	5
Apoio	2	2	-	4
Direta Complementar	2	-	1	3
Totais =	9	2	1	

6.3. Análise comparativa entre as informações oriundas das técnicas de medida do trabalho e as informações oriundas do Modelo dos Fatores

Nessa seção, inicialmente apresenta-se um gráfico resumo para a amostragem do trabalho do equipamento de içamento, considerando as médias obtidas de todas as obras em que tenham sido coletados esses dados. Em seguida, apresenta-se um gráfico de amostragem do trabalho para o estudo realizado na obra RJ01 e mostrado no Capítulo 5. Com base nesses gráficos, buscam-se estabelecer relações entre os indicadores de produtividade, os indicadores de ritmo de produção e os tempos obtidos no estudo do tempo da coleta complementar.

As Figuras 169 e 170 apresentam os resultados da amostragem do trabalho dos equipamentos de içamento das obras que constituíram os estudos de caso dessa pesquisa⁶¹.

Figura 169. Gráfico resumo da amostragem do trabalho do equipamento de içamento, por tipo de atividade, para o conjunto de obras analisadas (elaboração do próprio autor).

⁶¹ As definições de tempos disponíveis, indisponíveis, trabalhados e não trabalhados foram apresentada no Capítulo 2.

Figura 170. Gráfico resumo da amostragem do trabalho do equipamento de içamento, por tipo de hora, para o conjunto de obras analisadas (elaboração do próprio autor).

A Figura 171 apresenta o gráfico de amostragem do trabalho de uma equipe de mão de obra direta e direta complementar da obra RJ01, conforme os dados fornecidos pela empresa B.

Figura 171. Gráfico resumo da amostragem do trabalho da equipe de mão de obra direta e direta complementar da obra RJ01, por tipo de atividade (elaboração do próprio autor com base em dados cedidos pela empresa construtora B).

Com base nesses estudos de amostragem, as Figuras 172 e 173 definem a proporção entre horas disponíveis trabalhadas e horas disponíveis não trabalhadas, para o equipamento de içamento e para equipe de mão de obra direta e direta complementar.

Figura 172. Proporção entre horas disponíveis trabalhadas e não trabalhadas para o equipamento de içamento (elaboração do próprio autor).

Figura 173. Proporção entre horas disponíveis trabalhadas e não trabalhadas para a equipe de mão de obra direta e direta complementar (elaboração do próprio autor com base em dados cedidos pela empresa construtora B).

Para se estabelecer a relação entre horas trabalhadas e não trabalhadas da equipe de mão de obra, considerou-se como hora trabalhada as atividades nas quais os operários estivessem engajados no ciclo de montagem de uma peça (do início da amarração da peça, passando pelo seu içamento, posicionamento e fixação provisória, até a volta do moitão para a amarração de uma nova peça), independente se efetivamente realizando uma tarefa ou esperando para que chegasse seu momento de atuar dentro do ciclo (por exemplo, as horas despendidas por um montador aguardando que uma viga seja içada para poder posicioná-la e fixada foram consideradas horas trabalhadas, uma vez que essa espera faz parte do ciclo normal de montagem).

Nota-se que a diferença entre a proporção de horas trabalhadas e não trabalhadas para equipamentos e para mão de obra era esperada pela própria definição desses conceitos. A Tabela 53 apresenta uma comparação entre os tipos de horas da amostragem do trabalho dos equipamentos e o tipo correspondente em termos de mão de obra, tomando como base as atividades do equipamento de içamento.

Tabela 53. Comparação entre tipos de hora para equipamentos e mão de obra, com base nas atividades do equipamento de içamento (elaboração do próprio autor).

	TIPOS DE HORA	
	EQUIPAMENTOS	MO
PARADA NO HORÁRIO DO DDS	NÃO TRABALHADA	NÃO TRABALHADA
EM PRODUÇÃO - MONTAGEM DE ESTRUTURA	TRABALHADA	TRABALHADA
PARADA NO HORÁRIO DE ALMOÇO/ JANTA	INDISPONÍVEL	INDISPONÍVEL
PARADA POR CHUVA/ VENTO	NÃO TRABALHADA	NÃO TRABALHADA
EM ATIVIDADE MAS NÃO DE MONTAGEM DE ESTRUTURA	INDISPONÍVEL	NÃO TRABALHADA
PARADA POR MANUTENÇÃO	INDISPONÍVEL	NÃO TRABALHADA
PARADA POR FALTA DE ENERGIA	INDISPONÍVEL	NÃO TRABALHADA
PARADA PARA TELESCOPAGEM	INDISPONÍVEL	NÃO TRABALHADA
PARADA POR FALTA DE SINALEIRO/ OPERADOR	NÃO TRABALHADA	NÃO TRABALHADA
PARADA POR OUTROS MOTIVOS	NÃO TRABALHADA	NÃO TRABALHADA

Considerando a equipe de mão de obra global com 12 pessoas por equipamento de içamento, definidas na seção anterior, e as relações de horas trabalhadas e não trabalhadas para equipamento e mão de obra, buscou-se analisar algumas relações. As Tabelas 54 e 55 apresentam o cálculo de minutos disponíveis por peça

montada e minutos trabalhados por peça montada partindo-se dos indicadores de produtividade cumulativa e potencial aferidos nos estudos de caso.

Tabela 54. Cálculo de minutos disponíveis/ peça montada e minutos trabalhados/ peça montada a partir da RUP (elaboração do próprio autor).

Indicador	Hh/peça		Homens (H)	min _{disponível} /peça	h _{disponíveis trabalhada} / h _{disponíveis}	min _{trabalhados} /peça
RUP _{cum, glob, peça}	mín	5,79	12	29	53%	15
	máx	13,4	12	67	53%	36
RUP _{pot, glob, peça}	mín	4,45	12	22	53%	12
	máx	12,18	12	61	53%	32

Tabela 55. Cálculo de minutos disponíveis/ peça montada e minutos trabalhados/ peça montada a partir da E_fE (elaboração do próprio autor).

Indicador		Eqh/peça	Equipamento (Eq)	min _{disponível} /peça	h _{disponíveis trabalhada} / h _{disponíveis}	min _{trabalhados} /peça
E _f E _{cum, peça}	mín	0,52	1	31	85%	27
	máx	0,65	1	39	85%	33
E _f E _{pot, peça}	mín	0,38	1	23	85%	19
	máx	0,53	1	32	85%	27

Comparando-se os resultados obtidos, nota-se que o cálculo a partir da RUP leva a uma relação de minutos disponíveis por peça que varia entre 22 e 67 e de minutos trabalhados por peça que varia entre 12 e 36. Já o cálculo a partir da E_fE leva a uma relação que varia entre 23 e 39 para a relação minutos disponíveis por peça e entre 19 e 33 para a relação minutos trabalhados por peça. Analisando-se esses resultados, acredita-se que as faixas de variação são compatíveis, o que fornece uma maior confiança nos resultados obtidos tanto para os indicadores de produtividade quanto para as relações entre horas trabalhadas e não trabalhadas.

A Tabela 56 apresenta a faixa de variação do indicador de ritmo de produção min/peça, coletado diretamente dos estudos de caso. Deve-se notar que esse indicador foi calculado considerando-se uma média de 540 minutos por dia de trabalho, ou seja, é uma aproximação majorada do tempo disponível da mão de obra e dos equipamentos. Os resultados indicam uma variação entre 33 e 49

minutos por peça, o que está compatível com as relações encontradas a partir dos indicadores de produtividade.

Tabela 56. Faixa de variação do indicador min/peça obtido diretamente da coleta de dados (elaboração do próprio autor).

Faixa de Variação do indicador min/peça		
Mínimo	Mediana	Máximo
33	41	49

A Tabela 57 apresenta o tempo padrão para um ciclo de montagem de uma peça da estrutura de aço (do início da amarração da peça, passando pelo seu içamento, posicionamento e fixação provisória, até a volta do moitão para a amarração de uma nova peça), com base no estudo de tempos realizado na coleta complementar. Como nesse estudo do tempo a distância entre o local de amarração da peça e seu local de instalação foi de cerca de 30 m na horizontal e 2 m na vertical, e nos estudos de caso essa distância apresentou-se consideravelmente maior, foi estimado um tempo adicional médio para o içamento da peça em função da maior altura. Deve-se notar que o estudo de tempos, da forma como foi realizado, fornece valores de tempos trabalhados.

Tabela 57. Relação minutos trabalhados por peça oriunda do estudo do tempo (elaboração do próprio autor).

Estudo do Tempos - ciclo de montagem de uma peça		
Tempo padrão (min)	Tempo adicional pela altura (min)	min _{trabalhados} /peça
8	4	12

Como se pode observar, a relação minutos trabalhados por peça obtida foi de cerca de 12 minutos por peça. Esse valor ficou no extremo do intervalo de minutos trabalhados por peça obtido a partir do cálculo da RUP, o que indica um valor que pode ser considerado assertivo, mas de um bom dia de produção. É possível especular que um aumento na quantidade de observações e dias de trabalho considerados no estudo de tempo poderia gerar um aumento nesse valor.

6.4. Análise comparativa entre as informações oriundas da pesquisa bibliográfica e as informações oriundas dos estudos de caso

O Quadro 45 apresenta as faixas de variação nos indicadores encontrados por autor da pesquisa bibliográfica. Na última coluna, avalia-se se a faixa encontrada na bibliografia ficou dentro dos limites estabelecidos por meio dos estudos de caso.

Quadro 45. Análise comparativa entre indicadores da pesquisa bibliográfica e dos estudos de caso (elaboração do próprio autor).

Autor	Atividade	Indicador			Dentro da faixa obtida pelos estudos de caso?
		Unidade	Mín	Máx	
PINHO (2005)	Montagem de pilares de galpão	Hh/t	2,92		NÃO
CARDOSO (1989)	Montagem da estrutura de edifícios - Exterior	Hh/t	10	30	SIM
	Montagem da estrutura de edifícios - Brasil	Hh/t	13,5	40,5	SIM
	Coefficiente de aproveitamento do equipamento	%	50%		SIM
BELLEI et al. (2008)	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	Hh/t	17,3		SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - pilares	Hh/t	13,3		SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - vigas	Hh/t	18,3		SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - contraventamento	Hh/t	45,5		SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	Hh/peça	4,2		SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - pilares	Hh/peça	9,1		SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - vigas	Hh/peça	3,8		SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - contraventamento	Hh/peça	2,2		SIM
	Execução de ligação soldada	Hh/ligação	1,14		Não avaliado
	Execução de ligação parafusada	Hh/ligação	0,28		Não avaliado
MROZOWSKI et al. (1999)	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	ton/dia	10	20	SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	peças/dia	50		NÃO
THOMAS et al. (1999)	Montagem de estrutura de aço de galpão	Hh/peça _d	0,63	4,57	NÃO
	Montagem de estrutura de aço de galpão	Hh/peça _{pot}	0,89		NÃO
	Montagem de estrutura de aço de galpão	Hh/peça _{cum}	1,26		NÃO
	Montagem de estrutura de aço de galpão	Δ cum-pot (%)	42%		SIM
THOMAS e YIAKOUIMIS (1999)	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	peças/dia	30	35	SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	Hh/peça _d	1,0	7,0	SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	Hh/peça _{cum}	1,5		NÃO
THOMAS e ZAVRSKI (1999)	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	Hh/peça _{pot}	1,02	1,91	NÃO
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	Hh/peça _{cum}	1,32	3,44	NÃO
PAGE (1997)	Montagem de estrutura de aço para edifícios com ligação	Hh/t	4,8	12,5	SIM
	Montagem de estrutura de aço - pilares	Hh/peça	0,75	1,1	NÃO
SARVIEL (2014)	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	Hh/t	4,5	11,5	SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - colunas	Hh/t	8,5		SIM
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - vigas	Hh/t	6,5		SIM
	Execução de ligação soldada	Hh/ligação	5		Não avaliado
	Execução de ligação parafusada	Hh/m	0,72		Não avaliado
OGERSHOK e PRAY (2005)	Montagem de estrutura de aço - vigas	Hh/t	8	14	SIM
	Montagem de estrutura de aço - pilares	Hh/t	5	12	SIM
RSMEANS (2008)	Montagem de estrutura de aço - pilares	Hh/t	2,54	27,71	SIM
	Montagem de estrutura de aço - pilares	Hh/peça	0,53	0,71	NÃO
	Montagem de estrutura de aço - vigas	Hh/t	0,29	13,12	NÃO
	Montagem de estrutura de aço para edifícios - geral	Hh/t	3,88	5,18	NÃO
	Execução de ligação soldada	Hh/ligação	0,06	0,11	Não avaliado
	Execução de ligação parafusada	Hh/m	0,18	4,43	Não avaliado

Analisando-se os resultados encontrados, pode-se afirmar que houve boa aderência dos indicadores calculados por meio dos estudos de caso em relação aos indicadores da pesquisa bibliográfica, o que confere maior confiabilidade aos resultados.

6.5. Resultados consolidados da análise de dados

Apresentam-se nessa seção os principais produtos oriundos da etapa de análise de dados dessa pesquisa.

- Faixas de variação para os indicadores de produtividade e de ritmo de produção, indicando valores mínimos, medianos e máximos, conforme apresentado nos Quadros 46 a 52.

Quadro 46. Faixas de variação dos indicadores de produtividade da mão de obra – Hh/t (elaboração do próprio autor).

Quadro 47. Faixas de variação dos indicadores de produtividade da mão de obra – Hh/peça (elaboração do próprio autor).

Quadro 48. Faixas de variação dos indicadores de produtividade de equipamentos – Eqh/t (elaboração do próprio autor).

Quadro 49. Faixas de variação dos indicadores de produtividade de equipamentos – Eqh/t (elaboração do próprio autor).

Quadro 50. Faixas de variação dos indicadores de ritmo de produção (elaboração do próprio autor).

Quadro 51. Faixas de variação das relações auxiliares (elaboração do próprio autor).

Quadro 52. Faixas de variação dos indicadores por área de produtividade (elaboração do próprio autor).

- Gráficos de amostragem do trabalho do equipamento e da mão de obra direta e estudo do tempo da montagem, conforme mostrado na Figura 174 e nas Tabelas 58 e 59.

Figura 174. Amostragem do trabalho para equipamentos de içamento e mão de obra direta na montagem de estruturas de aço para edifícios (elaboração do próprio autor).

Tabela 58. Proporção entre horas trabalhadas e disponíveis para equipamento de içamento e equipe de mão de obra direta (elaboração do próprio autor).

Horas trabalhada/ Horas disponíveis	Equipamento	85%
	Mão de Obra	53%

Tabela 59. Estudo do tempo para ciclo de montagem e descarregamento de uma peça (elaboração do próprio autor).

	Estudo do Tempos		
	Tempo padrão (min)	Tempo adicional pela altura (min)	min _{trabalhados} /peça
Ciclo de montagem de uma peça	8,0	4,0	12,0
Descarregamento de uma peça	3,5	-	3,5

- Faixa de variação para configuração da equipe de mão de obra global por equipamento, conforme apresentado na Figura 175, e proposição de equipe padrão, conforme indicado no Quadro 53.

Figura 175. Faixa de variação para composição de equipe de mão de obra global por equipamento (elaboração do próprio autor).

Quadro 53. Proposição de equipe de mão de obra global padrão por equipamento de içamento (elaboração do próprio autor).

MÃO DE OBRA GLOBAL POR EQUIPAMENTO		
DIRETA	APOIO	DIRETA COMPLEMENTAR
5 MONTADORES (1 LÍDER)	2 MONTADORES (1 LÍDER)	2 MONTADORES
	2 AJUDANTES	1 SOLDADOR

- Análise dos resultados obtidos na análise de correlação entre fatores potencialmente influenciadores e indicadores de produtividade.

A análise técnica do autor, em vista dos resultados obtidos nas análises de correlação entre fatores potencialmente influenciadores e indicadores indica que podem ser consideradas significativas as correlações indicadas no Quadro 54.

Quadro 54. Correlações significativas encontradas na etapa de análise (elaboração do próprio autor).

ton/peça	RUP_{d,of,peso}	CORRELAÇÃO NEGATIVA
	RUP_{d,of,peça}	CORRELAÇÃO POSITIVA
	EfE_{d,peso}	CORRELAÇÃO NEGATIVA
	EfE_{d,peça}	CORRELAÇÃO POSITIVA
	peças/dia	CORRELAÇÃO NEGATIVA
DispEquip	RUP_{d,of,peso}	CORRELAÇÃO NEGATIVA
	RUP_{d,of,peça}	CORRELAÇÃO NEGATIVA
	peças/dia	CORRELAÇÃO POSITIVA
%Pilar	RUP_{d,of,peso}	CORRELAÇÃO NEGATIVA
	EfE_{d,peso}	CORRELAÇÃO NEGATIVA

INDICADOR DE PRODUTIVIDADE = QUANTO MENOR → MELHOR A PRODUTIVIDADE

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produtividade nos processos da indústria da construção civil destaca-se como um tema de grande relevância para o desenvolvimento do setor. Ao tratar da produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios, esse trabalho contribui para o aprofundamento das discussões sobre produtividade na construção e fornece um amplo conjunto de informações sobre a execução desse subsistema. Assim, esse trabalho incorpora-se ao conjunto de trabalhos do grupo de pesquisa em Tecnologia e Gestão da Produção na Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, contribuindo para o crescimento desse campo do conhecimento.

Apresentam-se a seguir as considerações finais dessa dissertação em termos do atendimento aos seus objetivos e do método de pesquisa utilizado. Ao final, apresentam-se algumas sugestões para futuros trabalhos na mesma linha de pesquisa.

7.1. Considerações quanto ao atendimento dos objetivos

Essa pesquisa apresentou como objetivo geral “o estudo da produtividade da mão de obra e de equipamentos de içamento na montagem de estruturas de aço para edifícios de múltiplos pavimentos, buscando comprovar a hipótese de que essa produtividade varia em conjunto com alguns fatores que podem ser identificados e que essa variação pode ser quantificada”.

Acredita-se que esse objetivo tenha sido plenamente alcançado, tendo-se obtido os resultados mostrados no **Capítulo 6**, em especial na seção 6.5., na qual se consolida os resultados da análise de dados.

A pesquisa apresentou ainda os seguintes objetivos específicos:

- Geração e utilização de um procedimento padronizado para mensuração da produtividade da montagem de estruturas de aço para edifícios.

Acredita-se que esse objetivo também tenha sido plenamente alcançado, estando o procedimento em questão detalhadamente descrito no **Capítulo 4**.

- Formação de banco de dados de produtividade de mão de obra e equipamentos envolvidos no serviço considerado.

Acredita-se que esse objetivo também tenha sido plenamente alcançado, sendo o conjunto de informações gerado pela pesquisa apresentado nos **Capítulo 5** e **Capítulo 6**, e os dados coletados e processados tendo sido expostos em sua forma bruta no **APÊNDICE C** dessa dissertação.

- Levantamento amplo de fatores de conteúdo e de contexto que potencialmente afetem a produtividade do serviço considerado.

Acredita-se que esse objetivo também tenha sido plenamente alcançado, sendo a listagem ampla de fatores potencialmente influenciadores da produtividade da montagem de estruturas de aço para edifícios sido apresentado nos Quadros 15 e 16 do **Capítulo 4**.

- Fornecimento de subsídios à discussão sobre o uso de estruturas em aço para empreendimentos de edifícios de múltiplos pavimentos, oferecendo elementos comparativos em relação a outras tipologias estruturais mais convencionais.

Por fim, acredita-se que esse objetivo também tenha sido plenamente alcançado, uma vez que a pesquisa ampliou e sistematizou conhecimentos sobre a execução de estruturas de aço para edifícios de múltiplos pavimentos e, tendo-se gerado indicadores quantitativos de produtividade, é possível analisar comparativamente a produtividade da estrutura de aço em comparação com outras tipologias. A título de ilustração, apresenta-se na Tabela 60 um comparativo entre indicadores de produtividade da mão de obra $MO_{\text{área}}$ (Hh/m²) para execução de estruturas reticuladas de edifícios em aço e em concreto armado.

Tabela 60. Comparativo entre indicadores por área de produtividade da mão de obra global (Hh/m²): aço e concreto armado (elaboração do próprio autor)⁶².

	Aço	Concreto Armado
MO_{área} (Hh/m²)	2,36	3,10

Chama-se aqui atenção para o fato de que se obteve uma produtividade cerca de 25% melhor para a estrutura de aço, quando comparado o indicador Hh/m² em relação a estrutura convencional em concreto armado. Apesar de ser uma produtividade melhor, como é de se esperar para um método construtivo de maior grau de industrialização, é possível indagar se esse valor ainda não é pequeno perante o potencial de eficiência apresentado pela estrutura de aço. Assim, cabem maiores investigações em termos de se analisar se está havendo uma gestão da produção eficiente nos canteiros de obra, de forma a melhorar ainda mais a produtividade na montagem das estruturas em aço.

9.2. Análise crítica do método de pesquisa proposto

Essa pesquisa foi realizada segundo a metodologia de estudo de casos múltiplos. Para cada caso, duas unidades de análise foram consideradas: a produtividade da mão de obra e a produtividade de equipamentos de içamento. Dentro dos preceitos dessa metodologia e dos objetivos da pesquisa, foi desenvolvido e aplicado um método para coleta, processamento e análise de dados.

Segundo Yin (2001), quatro critérios devem ser observados para se julgar a qualidade de um método de pesquisa: validade do constructo, validade interna, validade externa e confiabilidade. Analisa-se a seguir a aplicação de cada um desses critérios a essa pesquisa.

- Validade do constructo

⁶² Para o concreto armado, foram utilizados os valores medianos apresentados por TCPO (2010). Para a estrutura de aço, foi utilizado o valor mediano 0,77 multiplicado pela relação of:glob mediana de 1,44, somado a uma RUP_{glob} de 1,32 Hh/m² para os serviços de execução de laje com forma aderida.

O critério de validade do constructo se relaciona ao estabelecimento de medidas operacionais corretas para os conceitos que estão sob estudo (YIN, 2001). Em outras palavras, que as medidas utilizadas para a coleta e processamento de dados sejam definidas de forma a representar adequada e objetivamente o conceito em estudo.

No caso dessa pesquisa, o conceito sob estudo é a produtividade da mão de obra e equipamentos na montagem de estruturas de aço para edifícios e seu relacionamento com fatores potencialmente influenciadores. A produtividade da mão de obra teve como principal medida representativa o indicador quantitativo RUP. A produtividade de equipamentos teve como principal medida representativa o indicador quantitativo E_fE . Os fatores potencialmente influenciadores da produtividade tiveram como medida representativa vinte e um fatores, qualitativos e quantitativos, selecionados a partir de uma listagem ampla.

Com relação à definição da RUP e E_fE (tomadas em base diária, cumulativa e potencial) como representativas da produtividade do processo em estudo, acredita-se que sejam medidas adequadas, já consagradas no estudo da produtividade na construção civil e cuja definição está relacionada a própria definição do conceito de produtividade, como uma relação entre entradas e saídas de um processo. As definições de como medir essas entradas e saídas, feitas nesse trabalho com o objetivo de operacionalizar a coleta de dados, também parecem adequadas ao fim proposto. Faz-se a ressalva de que seria possível, no entanto, terem-se utilizadas definições diferentes das escolhidas.

Um possível aspecto questionável com relação ao cômputo da RUP e da E_fE poderia estar relacionado ao fato de que os recursos (homens-hora e equipamentos-hora), da maneira como foram computados, não são necessariamente consumidos exclusivamente na produção das saídas (peças montadas). Em outras palavras, toma-se como saídas os produtos do Grupo 2 de tarefas definidas na Figura 3 do Capítulo 4, mas toma-se como entradas homens-hora e equipamentos-hora consumidos em tarefas de qualquer um dos grupos. Com

essa postura, corre-se o risco da indução de valores diários mal representativos para a produtividade da mão de obra e dos equipamentos⁶³.

Nesse caso, a situação a princípio sugere considerar apenas os recursos consumidos pelo Grupo 2 de subprocessos para cômputo do indicador ou, alternativamente, a quebra do indicador para cada subprocesso e o uso de regras de crédito. No entanto, ambas as opções seriam de difícil operacionalização prática. Além disso, deve-se considerar que, no longo prazo, os indicadores cumulativos tendem a suavizar possíveis distorções nos indicadores diários.

Com relação à definição dos fatores potencialmente influenciadores, apesar de esse autor acreditar que tanto a listagem ampla quanto a seleção de fatores a serem estudados tenha sido feita de maneira adequada, é fato que o uso da análise técnica do autor como critério para listagem e seleção dos fatores carrega um viés de subjetividade que poderia ser questionado. Na listagem ampla, essa subjetividade foi diminuída por meio do uso de entrevistas com especialistas e de uma ampla revisão bibliográfica que embasasse a listagem. Na seleção dos fatores a serem estudados, no entanto, essa subjetividade apareceu de forma mais significativa. Seria possível talvez ter-se utilizado de outras técnicas de pesquisa nesse momento (como o método Delphi, por exemplo) de forma que a seleção dos fatores fosse realizada com menor subjetividade. Entretanto, deve-se considerar que essa seleção precisava ser pensada também em função dos dados disponíveis, de forma que outras definições poderiam ter impossibilitado o estudo pela simples falta de acesso do pesquisador aos dados necessários.

Com relação à coleta de dados por meio das técnicas de amostragem de trabalho e estudo do tempo, nesse estudo optou-se por não determinar o número de observações necessárias para obtenção de um determinado erro relativo e confiança, uma vez que essas informações foram utilizadas de maneira complementar ao método principal baseado no Modelo dos Fatores, não exigindo

⁶³ Por exemplo, se em um dia decide-se concentrar exclusivamente a equipe e o equipamento de içamento no descarregamento de um grande lote de peças que acabou de chegar, não se terá nenhuma peça efetivamente montada ao final do dia. Com isso, pelo critério adotado obtém-se uma RUP e E/E altíssimas, indicativas de uma má produtividade, quando muitas vezes a equipe e o equipamento trabalharam o dia todo fazendo o descarregamento de diversas peças.

tamanho rigor. Além disso, o uso de fórmulas paramétricas para determinação do erro e confiança seria questionável para esse tipo de dado, sob o qual não se conhece e pouco se pode assumir sobre a distribuição de probabilidades.

Além da definição adequada das medidas, deve-se considerar a confiabilidade das fontes de evidência para coleta dos dados. Nesse sentido, o uso de múltiplas fontes de evidência, por permitir o cruzamento de informações, serviria de garantia à confiabilidade dos dados coletados para composição dos indicadores de produtividade e fatores. No método proposto, os dados oriundos dos estudos de caso são coletados por meio de pesquisa de campo e pesquisa documental em diferentes fontes, o que em tese permite o cruzamento de informações. No entanto, na prática nem sempre esse cruzamento foi possível, de forma que nem todas as informações advindas da pesquisa documental ou do campo puderam ser contrastadas.

Observam-se ainda algumas diferenças em relação à quantidade e formato da informação obtida para cada caso, em especial com relação ao período base dos indicadores, ao número de dias de coleta e aos fatores considerados. Isso se deveu a dificuldade na obtenção de dados junto às empresas. De fato, dados na indústria da construção são notoriamente escassos e de difícil obtenção. No entanto, apesar de se saber que quanto maior a homogeneidade das informações obtidas nos casos melhor a qualidade das análises do estudo, acredita-se que essas diferenças não tenham comprometido a qualidade do produto final.

- Validade interna

Segundo Yin (2011), o critério de validade interna trata do estabelecimento de relações causais legítimas, isto é, diferenciadas de relações espúrias. Em geral esse critério é observado apenas em estudos de caráter explicativo, preocupados em estabelecer relações de causa e efeito, não fazendo muito sentido para estudos exploratórios ou descritivos - como é o caso dessa pesquisa.

Primeiramente, aproveita-se esse critério para chamar atenção à preocupação desse autor com a natureza descritiva dessa pesquisa, sendo o método de análise

de dados proposto um reflexo direto dessa natureza. Assim, observa-se que, desde o estabelecimento da hipótese de pesquisa, em nenhum momento é dito que se pretende estabelecer *formalmente* relações de causa e efeito entre a produtividade e os fatores. Na realidade, a pesquisa se propõe a analisar a variação conjunta entre fatores e indicadores de produtividade, tendo-se optado, portanto, pela ferramenta estatística de análise de correlação.

Assim, deve-se atentar para o fato de que, apesar da correlação entre duas variáveis poder ser vista como sugestiva de uma relação de causa e efeito entre essas variáveis, do ponto de vista formal impera a máxima “*correlation does not imply causation*”, isto é, a correlação não necessariamente implica em uma relação de causa e efeito. Assim que, ao longo do texto, tomou-se cuidado em se referir aos fatores estudados como *potencialmente* influenciadores da produtividade, até mesmo depois de constatadas as correlações com os indicadores de produtividade.

Por outro lado, o critério de validade interna pode ser tomado sob o ponto de vista mais amplo de se o método de análise proposto permite ao pesquisador chegar a conclusões legítimas quanto à hipótese de pesquisa. Nesse sentido, esse trabalho tomou uma série de medidas, como a exclusão de *outliers* do banco de dados e o uso de técnicas complementares que permitiram, através de análises comparativas (Modelo dos Fatores x Medição do Trabalho, Estudos de Caso x Pesquisa Bibliográfica), conferir maior embasamento às informações resultantes das análises. A adoção do coeficiente de Spearman para análise de correlação entre produtividade e fatores, ao invés do Coeficiente de Pearson, mais comumente adotado, também constitui uma ação importante uma vez que se trata de um coeficiente não paramétrico e menos sensível a presença de *outliers*.

Ainda com relação ao coeficiente de Spearman, a consideração de que coeficientes acima de 20% poderiam ser considerados significativos foi, de fato, uma escolha subjetiva por parte do autor, com base na observação do comportamento dos dados para diferentes graus de correlação. Observa-se na bibliografia em geral que não há consenso sobre os valores de coeficientes de correlação que podem ser considerados mais ou menos significativos, de forma que cabe a cada pesquisador

definir um critério de maneira consciente e que seja próprio para cada estudo em particular.

Um possível questionamento ao método de análise proposto poderia estar relacionado a não utilização de outras ferramentas estatísticas, como regressões e análises de variância, ou mesmo a correlação múltipla. De fato, outros estudos de produtividade na construção civil fizeram uso dessas ferramentas (SOUZA, 1996; LIBRAIS, 2001; MAEDA, 2002; PALIARI, 2007; entre outros). A opção pela utilização unicamente de análise de correlação simples se deu pelo fato de essa ferramenta ser suficientemente adequada às análises requeridas pelo objetivo dessa pesquisa. Além disso, o uso de ferramentas estatísticas mais sofisticadas, apesar de poderem ser utilizadas desde que definidas de forma clara a população e amostra as quais se referem, costumam estar associadas à generalização estatística que, como comentado, não se aplica a pesquisas por estudos de caso.

Com relação às análises de correlação, nota-se que é a ferramenta torna-se menos confiável quando se tem grande número de fatores a serem avaliados e poucos dados, como foi o caso das análises interobras. Além disso, é preciso sempre manter em mente os possíveis efeitos sinérgicos entre os fatores potencialmente influenciadores que podem não estar sendo enxergados por meio da análise.

- Validade externa

O critério de validade externa se relaciona ao problema de estabelecer um domínio para o qual as descobertas de um estudo podem ser generalizadas, isto é, se as descobertas do estudo de caso são generalizáveis além do caso imediato.

Conforme explicado na seção de metodologia do capítulo de introdução dessa dissertação, estudos de caso não servem de base para generalização estatística, isto é, os casos não constituem uma amostra probabilística com base na qual seria possível extrair conclusões sobre a população através do uso de ferramentas estatísticas que permitissem esse tipo de inferência a um dado nível de significância. Por essas razões, YIN (2001) afirma que não convém o uso do termo “amostra” para o conjunto de casos em um estudo de casos múltiplos.

Por outro lado, estudos de caso podem ser generalizados a proposições teóricas. Para estudos de casos múltiplos, pode-se buscar uma lógica de replicação, isto é, que a validade do estudo se deva a semelhanças nos resultados obtidos em diferentes casos. Nessa linha, pode-se dizer que se observou a replicação teórica nos resultados obtidos pelos casos múltiplos constituintes dessa pesquisa, uma vez que os indicadores de produtividade obtidos em cada obra variaram em conjunto com os mesmos fatores potencialmente influenciadores.

Com relação ao número de casos supostos necessários e suficientes para a pesquisa, conforme explicado anteriormente, trata-se de uma escolha discricionária e judiciosa por parte do pesquisador. Acredita-se que a escolha de se considerar seis casos, que somam mais de 400 dias de montagem de estrutura de aço, para a realização desse estudo, mostrou-se acertada do ponto de vista em que gerou resultados consistentes com os objetivos propostos pela pesquisa. No entanto, novamente chama-se atenção para o fato de que carece uma forma objetiva de se determinar a “representatividade” desses casos em relação a outros possíveis casos (sendo essa uma característica intrínseca a metodologia por Estudos de Caso).

Por fim, acredita-se que seja interessante traçar um paralelo entre a pesquisa por estudo de caso e as pesquisas por amostragem estatística.

Considere-se a “população” desse estudo como sendo todos os indicadores de produtividade, definidos da mesma forma que nessa pesquisa, para todos os dias de produção, de todas as obras de montagem de estruturas de aço para edifícios definidas conforme o escopo desse trabalho. Os casos escolhido representam uma amostra não probabilística escolhida por julgamento e conveniência por parte do pesquisador. Da mesma forma, os dias de produção selecionados para compor os períodos de estudo constituem uma nova amostra, também não probabilística por julgamento e conveniência. Os próprios fatores potencialmente influenciadores selecionados para estudo constituem uma amostra de outro universo (que conteria todos os fatores possíveis existentes). Em tese, os indicadores de produtividade constituiriam variáveis aleatórias dependentes, enquanto que os fatores constituiriam variáveis aleatórias independentes.

Como esses processos de amostragem não têm base probabilística, não se permite a determinação objetiva da representatividade da amostra. Por essa mesma razão, não se possibilita a derivação de inferências para a população estudada por meios formais do ponto de vista matemático. Nada impede, no entanto, que sejam utilizadas técnicas da estatística descritiva para tratamento dos dados dos estudos de caso. E nada impede também que sejam feitas generalizações, desde que fique claro que não se tratam de generalizações estatísticas.

Com relação a ter-se utilizado todos os casos de uma mesma empresa, pode-se questionar que esse fato gere uma fraqueza da pesquisa em termos da validade externa. De forma a tentar contornar esse problema foi realizada a coleta complementar, conforme indicada nos Capítulos 5 e 6. Novamente, nota-se que a dificuldade em se obter dados na indústria da Construção Civil exigiu do pesquisador flexibilizar o método de coleta e análise de dados que fora proposto.

- Confiabilidade

Por fim, o critério de confiabilidade se relaciona a garantia de que as operações de um estudo – como os procedimentos de coleta, processamento e análise de dados – podem ser repetidas, apresentando os mesmos resultados. Um pré-requisito para garantir a confiabilidade de um método é documentar seus procedimentos, tornando as etapas as mais operacionais possíveis (YIN. 2001).

Com relação a esse critério, acredita-se que essa dissertação tenha obtido bons resultados, uma vez que sua metodologia bem como o método de coleta, processamento e análise de dados foram minuciosamente descritos. Além disso, apresenta-se no APÊNDICE C dessa dissertação os dados coletados em sua forma bruta, de forma a permitir a verificação do processamento e análise de dados por qualquer interessado.

9.3. Sugestão para estudos futuros

Esse autor acredita que existem diversas possibilidades em termos de desdobramentos e extrapolações desse trabalho, dentre os quais cabe mencionar:

- Ampliação do banco de dados de produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios, por meio da aplicação do método de coleta, processamento e análise de dados aqui definido para outras obras, podendo-se analisar ainda outros fatores que constavam da listagem ampla, mas que não foram selecionados nesse estudo;
- Ampliação do banco de dados de produtividade na montagem de estruturas de aço para outros recursos, tipologias de obra e sistemas estruturais não considerados no escopo desse trabalho;
- Desenvolvimento de ferramentas práticas para diagnóstico, explicação, controle, prognóstico e programação da produtividade do serviço de montagem de estruturas de aço para edifícios;
- Desenvolvimento de estudos da produtividade de outros serviços de construção;
- Apoio ao aprimoramento da concepção do produto e do processo de construção de estruturas de aço.

REFERÊNCIAS

ABINOX. **Camada Passiva** – a responsável pela notável resistência à corrosão do aço inoxidável. [S.l.]: [s.n.], [20--]. 4 p.

ABRAMAT. **Perfil da Cadeia Produtiva da Construção e da Indústria de Materiais e Equipamentos**. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção e FGV Projetos, 2013. 61p.

ALLEN, E.; IANO, J.; **Fundamentos da engenharia de edificações**: materiais e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 989 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **A6/ A6M** – Standard Specification for General Requirements for Rolled Steel Bars, Plates, Shapes and Sheet Piling. 2014.

_____. **A36/ A36M** - Standard Specification for Carbon Structural Steel. 2014.

_____. **A242 / A242M** - Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel. 2013.

_____. **A307** - Standard Specification for Carbon Steel Bolts, Studs, and Threaded Rod 60000 PSI Tensile Strength. 2014.

_____. **A325** - Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength. 2014.

_____. **A490** - Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength. 2014.

_____. **A500/ A500M** – Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes. 2013.

_____. **A501/ A501M** - Standard Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing. 2014.

_____. **A572 / A572M** - Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel. 2013.

_____. **A588 / A588M** - Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance. 2010.

_____. **A913 / A913M** - Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Steel Shapes of Structural Quality, Produced by Quenching and Self-Tempering Process (QST). 2014.

_____. **A992 / A992M** - Standard Specification for Structural Steel Shapes. 2011.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **A02.4** – Standard symbols for welding, brazing and non-destructive examination. 2007.

_____. **A03.0** – Standard welding terms and definitions. 2001.

_____. **A5.1** - Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. 2012.

_____. **A05.18** - Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding. 2008.

_____. **B01.10** – Guide for nondestructive examination of welds. 2009.

_____. **B02.1** – Specification for Welding Procedure and Performance Qualification. 2014.

_____. **D01.1 - D01.9** – Structural Welding - diversos. 2010.

ANCORA. **Catálogo de fixadores**. 2014.

APERAM. **Aços inoxidáveis**: aplicações e especificações. [S.l.]: [s.n.], [20--]. 58 p.

ARAÚJO, L. O. C.; **Método para a Previsão e Controle da Produtividade da Mão-de-Obra na Execução de Fôrmas, Armação, Concretagem e Alvenaria**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ARAÚJO, L. O. C.; **Método para a proposição de diretrizes para melhoria da produtividade da mão-de-obra na produção de armaduras**. 2005. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ARCELOR MITTAL. **Sections and Merchant Bars – Sales Programme**. 2014. Catálogo de perfis e barras de aço comercializados pela Arcelor Mittal na Europa.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5000** - Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica. 1981.

_____. **NBR 5008** - Bobinas e chapas grossas laminadas a quente de aço baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – Requisitos. 2009.

_____. **NBR 5884** – Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – Requisitos Gerais. 2013.

_____. **NBR 5920** - Bobinas e chapas finas laminadas a frio e de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – Requisitos. 2009.

_____. **NBR 5921** - Bobinas e chapas finas a laminadas a quente de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – Requisitos. 2009.

_____. **NBR 6355** – Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio – Padronização. 2012.

_____. **NBR 6362** - Perfis de aço laminado a quente soldados e formados a frio – Terminologia. 1982.

_____. **NBR 6648** - Bobinas e chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural — Especificação. 2014.

_____. **NBR 6649** - Bobinas e chapas finas a frio de aço-carbono para uso estrutural — Especificação. 2014.

_____. **NBR 6650** - Bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural — Especificação. 2014.

_____. **NBR 7007** – Aço-carbono e microligados para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural. 2011.

_____. **NBR 8800** - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2008.

_____. **NBR 8261** - Tubos de aço-carbono, formado a frio, com e sem solda, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais. 2010.

_____. **NBR 11294** – Barras de aço ao carbono e ligado, redondas, quadradas e sextavadas, laminadas a quente. 1990.

_____. **NBR 14323** - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. 2013.

_____. **NBR 15279** – Perfis estruturais de aço soldados por alta frequência (eletrofusão) – Perfis I, H e T - Requisitos. 2005.

_____. **NBR 15980** – Perfis Laminados de Aço para Uso Estrutural – Dimensões e Tolerância. 2011.

BELLEI, I.H.; PINHO, F.O.; PINHO, M.O.; **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008. 559 p.

BELLEI, I. H.; **Interfaces aço-concreto**. 2. ed. Rio de Janeiro: IABr/ CBCA, 2009. 93 p. Série Manual de Construção em Aço.

BRITTO, J. (Coord.). **Produtividade, Competitividade e Inovação na Indústria**. Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Economia, 2008/2009. 201 p. Relatório integrante da pesquisa “Perspectivas do Investimento no Brasil”, em parceria com o Instituto de Economia da UNICAMP, financiada pelo BNDES. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivo_s/empresa/pesquisa/pib/pib_produtividade.pdf>. Acesso em 21 dez. 2014.

CABRAL, S. V. S.; BRAGA, B. H.; LIMA, P. H. A.; CABRAL, T. O.; **Estruturas Vagonadas em Aço**: Concepção, Dimensionamento e Aplicações. Contribuição Técnica apresentada no Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, São Paulo, 2012.

CAÇADOR, F. **Edifícios de múltiplos andares em ritmo acelerado**. São Paulo, 02 set. 2014. Palestra proferida por ocasião do Painel 02 do Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, São Paulo, 2014.

CALLISTER, Jr. W. D.; **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 705 p.

CAPES. **Mestrado Profissional: o que é**. Brasília: 2014. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/avaliacao/sobre-a-avaliacao/mestrado-profissional-o-que-e>>. Acesso em: 21 dez. 2014.

CARDOSO, F. F.; **Montagem de estruturas de aço para edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia, Companhia Siderúrgica Paulista, 1989. Publicação Técnica PT16 do Núcleo de Tecnologia da Construção Metálica. 101 p.

CARDOSO, F. F.; MESSAROS, R. M.; SILVA, V. P.; **Uso do aço na construção**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia, Companhia Siderúrgica Paulista, 1988. Publicação Técnica PT04 do Núcleo de Tecnologia da Construção Metálica. 81 p.

CARRARO, F.; **Produtividade da mão-de-obra no serviço de alvenaria**. 1998. 226 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CASTELO, A. M.; **Economia da construção**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2014. Notas de aula em PowerPoint, ministradas na disciplina PCC5963 do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil da EPUSP.

CBIC/ FGV. **Banco de dados**. 2008-2013. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2014. Com base em dados publicados pela Fundação Getúlio Vargas.

CBIC/ IBGE. **Banco de dados**. 2000-2013. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2014. Com base em dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

CBIC/ MTE. **Banco de dados**. 2000-2012. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2014. Com base em dados publicados pelo Ministério do Trabalho e Emprego.

CBIC/ SINDUSCONS. **Banco de dados**. 2008-2013. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2014. Com base em dados publicados pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil estaduais.

CISER. **Catálogo geral de produtos**. 2014.

COCA, L. M. S.; **Análise de forças e estratégias competitivas na indústria de estruturas metálicas**. 2004. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo, 2004.

CONGRESSO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO, 10ª edição, 2012, **ConstruBusiness**. [S.l.: s.n.], 2012. Evento promovido pela FIESP.

CONTADOR, J. C. (coordenador); **Gestão de operações**: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

CORRÊA, H. L.; **A história da gestão de produção e operações**. São Paulo: FGV, EAESP, NPP, 2003.

DIAS, L. A. M.; **Estruturas de aço**: conceitos, técnicas e linguagem. 9. ed. São Paulo: Zigurate Editora, 1997. 316 p.

DREWIN, F. J.; **Construction productivity**. New York: Elsevier Publishing Co, 1985.

ERNST & YOUNG. **Estudo sobre a produtividade na construção civil**: desafios e tendências no Brasil. [S.l.: s.n.], [2012 ou 2013].

EXAME. **Construção civil vive crise sem precedentes no Brasil**. Revista Exame. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/109202/noticias/a-crise-e-a-crise-da-construcao>>. Acesso em: 12 jul. 2015.

FALEIROS, J. P. M.; JUNIOR, J. R. T.; SANTANA, B. M.; **O crescimento da indústria brasileira de estruturas metálicas e o boom da construção civil**: um panorama do período 2001-2010. [S.l.]: BNDES Setorial 35, 2012. p. 47-84.

FGV. **Índice Geral de Preços – Mercado**. 2008-2013. Disponível em: <http://portaldefinancas.com/igp_m_fgv.htm>. Acesso em: 10 out. 2014.

FILHO, O. T. B.; SILVA, A. C. V.; **Ligações para estruturas de aço** – guia prático para estruturas com perfis laminados. 2. ed. [S.l.]: Gerdau, 2005.

FRUCHTENGARTEN, J. **Sistemas Estruturais**. [S.l.: s.n.], [19--]. Apostila para a disciplina PEF2404 – Estruturas metálicas e de madeira da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GNECCO, C.; MARIA NO, R.; FERNANDES, F.; **Tratamento de Superfície e Pintura**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2003. 94 p. Série Manual de Construção em Aço.

HALLIGAN, D. W. DEMSETZ, L. A.; BROWN, J. D.; PACE, C. B.; **Action-response models and loss of productivity in construction**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE 120(1), pp. 47-64. 1994.

HENDRICKSON, C.; MARTINELLI, D.; REHAK, D.; **Hierarchical rule-based activity duration estimation**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE 113(2), pp. 288-301. 1987.

IBGE. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2007**: Volume 17. Rio de Janeiro: 2009. 84p.

_____. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2008**: Volume 18. Rio de Janeiro: 2010. 94p.

_____. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2009**: Volume 19. Rio de Janeiro: 2011. 98p.

_____. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2010**: Volume 20. Rio de Janeiro: 2012. 96p.

_____. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2011**: Volume 21. Rio de Janeiro: 2013. 98p.

_____. **Sistema nacional de Índices de Preços ao Consumidor**. 2008-2013. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultinpc.sh>. Acesso em: 20 dez. 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Ligações em estruturas metálicas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/ CBCA, 2011. 2 v. 59p e 84p. Revisão de Alexandre Luiz Vasconcellos. Série Manual de Construção em Aço.

_____. **O aço – produtos por forma geométrica**. 2014. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/produtos--forma-geometrica.asp>>. Acesso em: 25 dez. 2014.

_____. **O aço – parque siderúrgico**. 2014. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/parque.asp>>. Acesso em: 25 dez. 2014.

_____. **Relatório de Sustentabilidade 2014**. Rio de Janeiro: IAB, 2014.

_____. **Sucata e a indústria brasileira do aço**. 2013. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/340838/>>. Acesso em 11 jan. 2015.

_____. **Sustentabilidade do aço**. Rio de Janeiro: IAB, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8501 - Preparation of steel substrates before application of paints and related products -- Visual assessment of surface cleanliness**. 2007.

_____. **ISO 12944 - Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems**. 2007.

ISAIA, G. C. (Organizador); **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. 2 v. 1773 p.

IST. **Estudo dos tempos**. Notas de aula do IST do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em:

<<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571245991/Estudo%20dos%20Tempos.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

KELLOGG, J. C.; HOWELL, G. E. ; TAYLOR, D. C.; **Hierarchy model of construction productivity**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE. vol.107, n.C01, pp.137-152. 1981.

LEE, S.; **Understanding and quantifying the impact of changes on construction labor productivity: integration of productivity factors and quantification methods**. Dissertation for Doctor of Philosophy in Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley. 2007.

LEE, M. J.; HANNA, A.; LOH, W. Y.; **Decision tree approach to classify and quantify cumulative impact of change orders on productivity**. Journal of Computing in Civil Engineering. April, 2004. pp. 132-144.

LIBRAIS, C. F.; **Método prático para estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de revestimento interno de paredes e pisos com placas cerâmicas**. 2001. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LIMA, Y. D. C.; SOUZA, A. S. C.; **Análise comparativa de soluções de laje para edifícios estruturados em aço**. Contribuição Técnica apresentada no Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, São Paulo, 2010.

LIRA, A. S.; **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MAEDA, F. M.; **Produtividade da mão-de-obra nos serviços de revestimento interno de paredes e tetos em argamassa e em gesso**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MALONEY, W. F.; McFILLLEN, J.; **Motivational impact of work crews**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE 113(2), pp. 208-221. 1987.

MANZINI, E. J.; **Entrevista semi-estruturada: análise de objetivos e de roteiros**. Marília: [s.n.], [20--]. Trabalho produzido no âmbito do Departamento de Educação Especial, Programa de Pós Graduação em Educação, UNESP, Marília, com apoio do CNPq.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.; **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 311 p.

MARGARIDO, A. F. **O uso do aço na arquitetura**. [S.l.]: FUPAM, [20--].

MAURI, R. V.; SILVA, V. P.; **Resistência ao fogo das estruturas de aço**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2003. 78 p. Série Manual de Construção em Aço.

MOSELHI, O.; HEGAZY, T.; FAZIO, P.; **Neural Networks as tools in construction**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE 117(4), pp. 606-625. 1991.

MROZOWSKI, T.; SYAL, M.; KAKAKHEL, S. A.; **Construction management of steel construction**. Chicago: AISC, 1999. 3 v. 106 p.

MUSCAT, A. R. N.; **Produtividade e gestão da produção**. Apostila do NPGCT-USP, São Paulo, 1987. 32p.

NARDIN, S. de; SOUZA, A. S. C.; EL DEBS, A. L. C. H.; EL DEBS ; M. K.; **Estruturas mistas aço-concreto: origem, desenvolvimento e perspectivas**. In: 47o Congresso Brasileiro do Concreto, Volume IV - Estruturas Mistas, Recife, setembro 2005, IBRACON, 2005. p. V69-84, ISBN 85-98576-07-7.

NARDIN, S. de; SOUZA, A. S. C.; EL DEBS, A. L.; **Comportamento conjunto em elementos mistos de aço e concreto**: dispositivos mecânicos. Congresso Latino Americano de Construção Metálica, 2008, São Paulo.

NOVAIS, P. R. S.; **Avaliação das principais discontinuidades encontradas nas juntas soldadas, causas e possíveis soluções**. Contribuição Técnica apresentada no Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, São Paulo, 2010.

OBATA, A. H.; **Indicadores de Produtividade da Mão-de-Obra para a Moldagem de Estruturas de Concreto Armado e Indicadores de Qualidade dos Produtos Moldados**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

OGERSHOK, D; PRAY, R. **2005 National Construction Estimator**. Craftsman Book Company, Carlsbad, CA. 2005.

PAGE, J. S.; **Estimator's General Construction Man-Hour Manual**. Second Edition. Gulf Professional Publishing. Houston, TX. 1997.

PALIARI, J. C.; **Método para prognóstico da produtividade da mão-de-obra e consumo unitário de materiais : sistemas prediais hidráulicos**. 2008. 621 p. 2 v. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PANNONI, F. D.; **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 4. ed. [S.l.]: Gerdau, 2007. Pertencente a Coletânea do Uso do Aço. 90 p.

_____. **Projeto e Durabilidade**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2009. 72 p. Série Manual de Construção em Aço.

PIMENTA, G. S.; **Corrosão**. [S.l.]: [s.n], [20--]. 40 p.

PINHO, M. O.; **Transporte e Montagem**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2005. 144 p. Série Manual de Construção em Aço.

PINHO, M. O.; **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico – Engenharia de Montagem**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008. 19 p.

PINHO, F. O.; PENNA, F.; **Viabilidade econômica**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2008. 84 p. Série Manual de Construção em Aço.

PINTO, B. M.; CIBRÃO, R. **Inovação e Produtividade: o caso da indústria transformadora portuguesa**. 2006. 153 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2006.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G.; **Estruturas Mistas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/ CBCA, 2012. 2 v. 68 p e 75p. Série Manual de Construção em Aço.

REIS, F. S. B.; **Produtividade da mão de obra e consumo unitário de materiais no serviço de coberturas com telhado**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RICCI, M.; **Estudo de tempos** – aula introdutória – visão geral. Notas de aula do curso de engenharia de produção mecânica da UBC/ Inpe. Disponível em: <<http://www2.dem.inpe.br/mcr/UBC/EPM/T&M.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

RSMEANS. **RSMeans Building Construction Cost Data**. R.S. Means Company, 2008, 837p.

SABBATINI, F. H.; **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos** – formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 207 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANCHES, R. A. **Defeitos em solda detectáveis através de inspeção visual**. 2010. 62 p. Monografia de conclusão de curso – Centro Universitário Luterano de Manaus, Manaus, 2010.

SARVIEL, E.; **Construction estimating reference data**. Craftsman Book Company, Carlsbad, CA. 2014.

SCIGLIANO, W. A.; **Manual para utilização de guias** – “o que é preciso para se usar guias”. 2. ed. São Paulo, Ed. do Autor, 2008.

SENAI. **Tecnologia de Solda – Processo Eletrodo Revestido**. Recife: SENAI.PE/DITEC/DET, 1998. 90 p.

SERTECH. **Supervisor de Operações de Içamento**. Curitiba: [s.n.], 2013. Apostila do curso de supervisor de operações de içamento oferecido pela empresa Sertech Consultoria e Treinamentos.

SILVA, L. L. R.; **Método de intervenção para a melhoria da eficiência na execução de revestimentos de argamassa de fachada**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, V. P.; **Dimensionamento de estruturas de aço**. São Paulo, 2012. Apostila para a disciplina PEF2404 – Estruturas metálicas e de madeira da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA, V. P.; PANNONI, F. D.; **Estruturas de aço para edifícios: aspectos tecnológicos e de concepção**. São Paulo: Bluncher, 2010. 295 p.

SINAPI. **Custos de composições analítico**. Emissão: 13/05/2015. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil da Caixa Econômica Federal.

SINAPI. **Manual de Metodologias e Conceitos**. Versão 005. 2015. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil da Caixa Econômica Federal.

SINK, D. S.; TUTTLE, T. C.; **Planning and measurement in your organization of the future**. Norcross: Industrial Engineering and Management Press, 1989.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009. Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveira.

SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS. **SSPC-VIS 1** - Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Dry Abrasive Blast Cleaning. 2002.

SOUZA, U. E. L.; **Como aumentar a eficiência da mão-de-obra – manual de gestão da produtividade na construção civil**. São Paulo: PINI, 2006.

SOUZA, U. E. L.; **Como reduzir perdas nos canteiros – manual de gestão do consumo de materiais na construção civil**. São Paulo: PINI, 2005.

SOUZA, U. E. L.; **Metodologia para o estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de formas para estruturas de concreto armado**. 1996. 280 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. **Joints in Steel Construction – Composite Connections**. Ascot: SCI, 1998.

STEINGRABER, R. **Inovação e produtividade: o papel dos sistemas de inovação para a indústria brasileira**. 2009. 216 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SUMANTH, D.J. **Productivity engineering and management**. New York: McGraw-Hill, 1984.

SWEDISH STANDARDS INSTITUTION. **SIS 05 5900** – Preparation of Steel Substrates Before Application Of Paints & Related Products - Visual Assessment Of Surface Cleanliness. 1967.

TANGEN, S. **Desmystifying productivity and performance**. Journal of Productivity and Performance Management, v.54, n.1. 2004.

TANGEN, S. **Understanding the concept of productivity**. Proceedings of the 7th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS2002), Taipei, 2002.

TCPO. **Tabela de composição de preços para orçamentos**. 13. ed. São Paulo: PINI, 2008.

THOMAS, H. R.; **Construction Learning Curves**. Practice Periodical on Structural Design and Construction, Vol. 14, No.1, February, 2009.

THOMAS, H. R.; MALONEY, W. F.; HORNER, R. M. W.; SMITH, G. R.; HANDA, V. K.; SANDERS, S. R.; **Modeling Construction Labor Productivity**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 116, No. 4, December, 1991.

THOMAS, H. R.; MATHEWS, C. T.; WARD, J. G.; **Learning curve models of construction productivity**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 112, No. 2, June, 1986.

THOMAS, H. R.; RILEY, D. R.; SANVIDO, V. E.; **Loss of labor productivity due to delivery methods and weather**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 125, No. 1, January/ February, 1999.

THOMAS, H. R.; SINHA, S. K.; **Are construction sites and manufacturing facilities the same?**. 10th Symposium of Construction Innovation and Global Competitiveness. CRC Press, 2003.

THOMAS, H. R.; SMITH, G. R.; **Loss of construction labor productivity due to inefficiencies and disruptions: the weight of expert opinion**. PTI Report 9019, Pennsylvania Transportation Institute. December, 1990.

THOMAS, H. R.; YIAKOUMIS, I.; **Factor Model of Construction Productivity**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 113, No. 4, December, 1987.

THOMAS, H. R.; ZAVRSKI, I.; **Construction baseline productivity: theory and practice**. Journal of Construction Engineering and Management, Sept/ Oct 1999.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Apostila da disciplina CIV621 – Construções Metálicas I**. [S.l.]: [s.n.], [20--]. 150 p.

VASCONCELLOS, A. L.; **Administração e gestão de construções metálicas**. 2014. Apostila do curso homônimo, oferecido pela Associação Brasileira de Construção Metálica, em junho de 2014.

WALSYWA. **Catálogo de fixadores mecânicos**. 2014.

YIN, R. K.; **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Tradução de Daniel Grassi. 105 p.

APÊNDICE A

Aspectos Complementares das Estruturas de Aço para Edifícios

O objetivo deste apêndice é apresentar uma revisão bibliográfica com conceitos relativos a aspectos tecnológicos e construtivos dos aços estruturais e das estruturas em aço para edifícios, de forma a complementar os conceitos apresentados no Capítulo 2 – Aspectos Tecnológicos e Construtivos das Estruturas de Aço para Edifícios. Da mesma forma, não se pretende aqui esgotar nem aprofundar cada um dos assuntos tratados, e sim apresentá-los de maneira abrangente e resumida. Dessa forma, complementa-se o conhecimento relativo aos aspectos técnicos das estruturas de aço para edifícios, cujo estudo foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa, sem, no entanto, prejudicar a unidade nuclear do trabalho.

Este apêndice está estruturado em dez temas:

- A1. Cadeia produtiva das estruturas de aço
- A2. Produção do aço estrutural - o processo siderúrgico
- A3. Tratamentos térmicos
- A4. Corrosão
- A5. Proteção contra a corrosão
- A6. Propriedades dos aços estruturais
- A7. Tipos de aços estruturais
- A8. Proteção contra incêndio de aços estruturais
- A9. Projeto de estruturas de aço para edifícios
- A10. Vantagens e desvantagens do uso de estruturas de aço para edifícios

A1. Cadeia produtiva das estruturas de aço

O setor produtor do aço representa cerca de 4% do PIB do país (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013). A indústria de aço tem como seu principal cliente a construção civil, que correspondeu a 37,7% do consumo deste insumo em 2012 (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2014).

Diversos produtos de aço são utilizados na construção civil, sejam componentes com função estrutural – vergalhões, telas soldadas e treliças para estruturas de concreto armado, formas para sistemas de laje mista, sistemas light steel framing, barras de transferência, cordoalhas para protensão, conectores, chapas, perfis, tubos e barras estruturais – sejam componentes não estruturais - arames recozidos, cabos, treliças utilizadas como espaçadores, treliças planas para juntas de alvenaria, telas soldada galvanizada para ligação estrutura-alvenaria e para reforço de revestimento de argamassa, chapas lisas e corrugadas para revestimentos de pisos e paredes, tubos para encanamentos e seus acessórios, andaimes, telhas, painéis arquitetônicos, forros, esquadrias e seus acessórios, calhas e rufos, telas para cercamentos e alambrados, tela para gabiões, eletrocalhas, produtos em aço inoxidável (revestimentos, mobiliário urbano, cubas, metais sanitários, coifas, ralos, etc.), guias e montantes para drywall, entre outros.

Os aços de interesse para este trabalho, que trata da montagem de estruturas de aço de edifícios, são os aços com função estrutural, também denominados aços estruturais. Segundo definição do American Institute of Steel Construction, o termo aço estrutural compreende os elementos de aço de uma estrutura essenciais para suportar as cargas de projeto (MROZOWSKI et al., 1999). Isaia (2010) complementa afirmando que os aços estruturais apresentam-se como adequados para o uso em elementos que suportam cargas devido à sua resistência, ductibilidade e outras propriedades. Assim, chama-se atenção para o fato de que nem todos os produtos comercializados pela indústria siderúrgica são utilizados pela construção civil para a montagem de estruturas.

Estruturas de aço são utilizadas na construção de pontes, viadutos, torres, pórticos, grandes antenas, edifícios e galpões industriais e comerciais. Assim, a cadeia produtiva do setor de estruturas de aço representa uma fatia da cadeia produtiva da construção civil, e é uma das principais consumidoras de produtos de aço estrutural.

A Figura 176 apresenta uma representação esquemática para a cadeia produtiva de estruturas de aço no Brasil, mostrando seus principais agentes e suas inter-relações.

Figura 176. Representação esquemática da cadeia produtiva de estruturas de aço (elaboração do próprio autor).

Os dois principais agentes da cadeia produtiva de estruturas de aço são a indústria siderúrgica e os fabricantes de estruturas, cuja caracterização será feita nos itens subsequentes.

A1.1. Indústria siderúrgica

Segundo o Instituto Aço Brasil (2014), no ano de 2013 a indústria brasileira de aço foi responsável por 2,1% da produção mundial, o que posiciona o país como o nono maior produtor. O parque produtor de aço brasileiro é constituído por 29 usinas, administradas por 11 grupos empresariais:

1. Grupo Gerdau
2. CSN - Companhia Siderúrgica Nacional
3. Thyssenkrupp CSA Siderúrgica do Atlântico
4. ArcelorMittal Brasil
5. Usiminas
6. Votorantim Siderurgia
7. SINOBRAS – Siderúrgica Norte Brasil
8. Vallourec
9. Aperam
10. Villares Metals
11. Vallourec e Sumitomo Tubos do Brasil

Os aços são comercializados pelas indústrias siderúrgicas nas seguintes formas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2014):

- Produtos semi-acabados (placas, blocos e tarugos);
- Produtos planos em aços carbono (chapas e bobinas/ revestidas e não revestidas) e em aços especiais / ligados (chapas e bobinas);
- Produtos longos de aços carbono (barras, perfis laminados, fio máquina, vergalhões, trefilados e tubos sem costura) e em aços especiais / ligados (barras, fio-máquina, trefilados e tubos sem costura);

Os Quadros 55 e 56 indicam a divisão dos produtos de siderurgia entre os produtores brasileiros. Nota-se que apenas quatro grupos empresariais dominam a produção de chapas de aço não revestidas, principal material utilizado na produção de perfis soldados e dobrados. Já os perfis laminados médios e pesados, fundamentais na produção de estruturas de aço, são produzidos por apenas três empresas. Tais fatores mostram o grande grau de concentração apresentado por esta indústria.

Quadro 55. Produtos planos e empresas produtoras (IAB, 2013).

Produtos		Produtos Planos					
		Empresas					
		Thyssenkrup CSA	Aperam	CSN	ArcelorMittal Tubarão	Grupo Gerdau	USIMINAS
Placas		X	X	X	X	X	X
Chapas e bobinas não revestidas	Chapas e bobinas grossas		X	X	X		X
	Chapas e bobinas a quente		X	X	X		X
	Chapas e bobinas a frio		X	X	X		X
	Folhas não revestidas			X			X
Chapas e bobinas revestidas	Folhas para embalagens			X			X
	Chapas zincadas a quente			X	X		X
	Chapas eletro-galvanizadas						X
	Chapas ligas alumínio-zinco			X			
	Chapas pré-pintadas			X			
Chapas e bobinas especiais	Chapas outros aços ligados						
	Chapas inoxidáveis						
	Chapas silicosas						

Quadro 56. Produtos longos e empresas produtoras (IAB, 2013).

Produtos Longos								
Produtos		Empresas						
		ArcelorMittal Aços Longos	Grupo Gerdau	SINOBRAS	Votorantim Siderurgia	Vallourec	Villares Metals	Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil
Barras	Lingotes, Blocos e Tarugos	X	X	X	X	X	X	X
	Aço carbono	X	X		X	X	X	
	Aço construção mecânica ligado		X			X	X	
	Aço inoxidável		X				X	
	Aço para ferramenta e matrizes		X				X	
Perfis	Leves	X	X		X			
	Médios e Pesados	X	X		X			
	Fio-Máquina	X	X	X	X		X	
	Vergalhões	X	X	X	X			
	Tubo sem costura					X		X
Trefilados	Arame	X	X	X	X			
	Barras	X	X				X	

A1.2. Fabricantes de estruturas de aço

Em se tratando dos fabricantes de estruturas de aço, observa-se um mercado bastante pulverizado, diferente da indústria siderúrgica. Segundo pesquisa do BNDES coinduzida por Faleiros et al. (2010), no ano de 2009 as sete principais empresas fabricantes de estruturas de aço do país - Alufer, Brafer, Codeme, ICEC, Medabil, Metasa e Usiminas Mecânica - não chegavam a 46% de *market share*. O Quadro 57 apresenta alguns dados desta pesquisa.

Quadro 57. Principais empresas fabricantes de estruturas de aço (BNDES, 2010).

Ranking 2009	Grupo/ empresa	Faturamento (R\$ mil) - 2009	Serviços	Sede	Fundação	Unidades Fabris
1	Medabil	494.605	ST, FE, M, II	RS	1967	Nova Bassano (RS), Nova Araça (RS), Extrema (MG)
2	ICEC	480.083	ST, FE, M, II	SP	1979	S. J. Rio Preto (SP), Bady bassit (SP), Mirassol (SP), Cariacica (ES), Campo grande (RJ)
3	Usiminas	238.112	FE, M	MG	1969	Cubatão (SP), St. Do Paraíso (MG)
4	Metasa	224.846	FE, M, d	RS	1975	Marau (RS), Santo André (SP)
5	Brafer	212.912	ST, FE, M, C, II, G	PR	1976	Araucária (PR), Rio de Janeiro (RJ)
6	Codeme	179.531	ST, FE, M, C, II, G	MG	1980	Betim (MG), taubaté (SP)
7	Alufer	89.563	FE, M	SP	1962	Itu (SP)
8	EMTEC	11.353	ST, FE, M, C	SP	2000	Bady Brassit (SP)

Legenda

ST – serviços técnicos/ FE – fabricação de estruturas/ M – montagem; C – cobertura/ II – insumos e implementos/ G – galvanizadores

Segundo Coca (2004), as empresas fabricantes de estruturas de aço encontram-se num mercado com alto grau de competição, havendo uma alta rivalidade entre concorrentes, no qual compradores e fornecedores tem alto poder de barganha e as estruturas de concreto constituem um forte produto substituto.

A2. Produção do aço estrutural - o processo siderúrgico

Segundo Callister (2008), os aços são ligas de ferro-carbono que podem conter concentrações apreciáveis de outros elementos de liga, podendo ter diferentes composições e sofrer tratamentos térmicos diversos. As propriedades mecânicas dos aços são sensíveis ao teor de carbono, que é normalmente inferior a 1,0% em massa, e às concentrações dos demais elementos de liga (tais como cobre, níquel, manganês, molibdênio, fósforo, silício, enxofre, titânio, vanádio, nióbio, entre outros). O Quadro 58 indica o impacto dos ligantes nas propriedades dos aços.

Os aços são em geral classificados de acordo com a concentração de carbono, quais sejam: aços com baixo ($[C] < 0,25\%$), médio ($0,25\% < [C] < 0,60\%$) e alto ($0,60\% < [C] < 1,40\%$) teor de carbono. Como exemplos de utilizações usuais, pode-se citar: chapas para a indústria automobilística e aços estruturais para construção civil, como aços de baixo teor de carbono; engrenagens, trilhos de trem e peças estruturais de elevada resistência, como aços de médio teor de carbono; ferramentas e molas como aços de alto teor de carbono (SILVA e PANNONI, 2010).

Os aços denominados comuns ou aços carbono possuem apenas concentrações residuais de impurezas além do carbono e de um pouco de manganês. Para os chamados aços-liga, mais elementos de liga são adicionados intencionalmente em concentrações específicas (CALLISTER, 2008).

Quadro 58. Efeito dos elementos de liga nas propriedades do aço (adaptado de MARGARIDO, 20--).

elemento	propriedade	escoamento	dureza	ductibilidade	facilidade de entalhe	soldabilidade	resistência à abrasão	resistência à ruptura	resistência à fadiga	resistência à corrosão	fragilidade	resistência a altas temperaturas	envelhecimento
1. carbono		↑	↑	↓	↓	↓							
2. alumínio					↑								
3. boro			↑										
4. cromo			↑			↓	↑	↑		↑			
5. colúmbio		↑											
6. cobre			↑	↓	↓	↓		↑	↑	↑			
7. hidrogênio											↑		
8. manganês			↑		↑	↓		↑	↑				
9. molibdênio		↑	↑			↑	↑						
10. níquel			↑		↑	↓		↑		↑			
11. fósforo			↑	↓		↓		↑	↑				
12. silício			↑		↑	↓		↑					
13. enxofre		indesejável no aço											
14. titânio							↑	↑					↓
15. vanádio								↑					
16. oxigênio				↓	↓								↑
17. nitrogênio								↑					↓
18. tungstênio			↑				↑	↑				↑	

De acordo com Silva (2012), as principais matérias-primas envolvidas na fabricação do aço são os minérios de ferro (principalmente a hematita – Fe_2O_3) e o carvão mineral. Atualmente, utiliza-se também a sucata ferrosa e o carvão vegetal como matérias primas para o processo. A obtenção dos produtos comerciais de aço, a partir dessas matérias primas, decorre de uma série de operações de transformação metalúrgica e conformação mecânica realizadas nas indústrias siderúrgicas. Em linhas gerais, a fabricação do aço compreende o aproveitamento do ferro pela eliminação progressiva de grande parte das impurezas do minério de ferro. Depois de eliminadas essas impurezas, o aço na forma líquida recebe adições que lhe conferem as características desejadas, sendo então solidificado e trabalhado para a forma requerida.

O processo siderúrgico é complexo, e existem diversos caminhos para a transformação do minério de ferro em aço. Segundo Isaia (2010), os aços estruturais são produzidos por duas rotas principais: a siderurgia integrada e a siderurgia semi-integrada ou por forno elétrico.

O processo mais importante, que compreende 65% de todo o aço produzido no mundo, é o da siderurgia integrada, com alto-forno e aciaria equipada com conversor. Esse processo pode ser resumido em quatro grandes etapas (SILVA, 2012; DIAS, 1997; SILVA e PANNONI, 2010):

1. Preparo das matérias primas:

Na coqueria o carvão mineral é transformado em coque siderúrgico, resíduo sólido resultante de um processo de aquecimento do carvão em uma bateria de fornos contíguos, na ausência de oxigênio.

Na sinterização, os finos de minério de ferro são aglutinados a fim de conferir-lhes granulometria adequada ao processo siderúrgico, formando o chamado sinter, ainda composto principalmente por óxidos de ferro.

Na pelotização, o minério de ferro passa por um processo de compressão, moldagem e tratamento térmico, formando pellets de minério de ferro.

2. Produção de ferro-gusa (redução)

Coque, sinter, pellets e escorificante⁶⁴ são colocados na extremidade superior do alto-forno. Pela parte inferior é insuflado ar, que faz com que os materiais passem por uma reação de redução exotérmica que os funde, tendo como produto final principal o ferro-gusa líquido (massa de ferro ainda rica em carbono e impurezas) e, como produto secundário, a escória de alto-forno, que pode ser aproveitada na fabricação de cimento. A temperatura no interior dos alto-fornos chega aos 1500°C.

3. Produção de aço (refino)

Na aciaria, ocorre o processo de refino do ferro-gusa, com a redução do teor de carbono e das quantidades de impurezas por meio de injeções de oxigênio puro na carga líquida. Nesse momento ocorre também a adição de quantidades controladas de elementos de liga. O processo ocorre dentro de um conversor a oxigênio, transformando o ferro-gusa em aço líquido.

Para o ajuste fino da composição do aço, os produtos provenientes dos conversores passam pela denominada metalurgia secundária, no forno-panela, onde se completa

⁶⁴ Escorificantes, fundentes e fluxantes são cargas minerais, em geral calcários, adicionadas para promover a formação da escória.

o processo de refino e homogeneização que confere ao aço as características químicas e pureza adequadas.

Em seguida, o aço flui através de uma máquina de lingoteamento contínuo⁶⁵, onde é resfriado e transformado em placas, blocos ou tarugos.

4. Conformação mecânica

Operações de conformação são aquelas nas quais a forma de uma peça metálica é alterada por deformação plástica. Existem diversos processos de conformação, tais como forjamento, laminação, extrusão e trefilação. O processo de deformação da peça pode ser realizado a quente (com temperatura acima da qual ocorre recristalização) ou a frio. No trabalho a quente, é possível grandes deformações com menor gasto de energia, mas em geral parte do material sofre oxidação, resultando em perdas e acabamento superficial ruim. No trabalho a frio, o metal sofre encruamento⁶⁶, além de possibilitar melhor controle dimensional da peça acabada e melhor acabamento superficial (CALLISTER, 2008).

O processo de conformação mecânica mais amplamente utilizado para os aços estruturais é a laminação, no qual as placas ou tarugos são transformados em chapas ou perfis laminados por meio de compressão entre cilindros metálicos (trabalho a quente).

As chapas fabricadas pelas siderúrgicas são adquiridas por fabricantes de estruturas de aço que, por meio de corte e soldagem ou dobramento, as transformam nos componentes utilizados para as estruturas (perfis dobrados, perfis soldados, entre outros). Os perfis laminados já saem com sua seção transversal definida da usina siderúrgica, mas ainda necessitam sofrer cortes e furações nas fábricas de estruturas de aço. Os produtos siderúrgicos podem ainda passar por tratamentos térmicos ou de proteção contra a corrosão.

Já o processo semi-integrado corresponde a 34% da produção de aço mundial (SILVA e PANNONI, 2010). No Brasil, consiste da tecnologia utilizada pelo maior

⁶⁵ O lingoteamento convencional é raramente utilizado no Brasil, em geral apenas em pequenas usinas.

⁶⁶ Segundo Callister (2010), encruamento é “o fenômeno segundo o qual um metal dúctil se torna mais duro e mais resistente quando deformado plasticamente”. Este fenômeno ocorre nas deformações a frio, e é explicado por conta de modificações nas discordâncias presentes na microestrutura do aço.

número de usinas siderúrgicas. Este processo utiliza como matérias primas a sucata ferrosa e o ferro de redução direta (produzido a partir de pellets de minério de ferro nos chamados fornos de redução direta). As matérias primas entram diretamente na aciaria equipada com forno elétrico a arco de fusão, onde são fundidas e transformadas em aço líquido. A partir daí, o processo se desenvolve de forma idêntica às usinas integradas, havendo a metalurgia secundária, lingoteamento, conformação do aço em produtos comercializáveis e posterior transformação nas fábricas de estruturas de aço.

A3. Tratamentos térmicos

Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, com condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinados. As propriedades dos aços dependem, em princípio, da sua microestrutura⁶⁷. Os tratamentos térmicos modificam, em maior ou menor escala, a microestrutura dos aços, resultando, em consequência, na alteração mais ou menos pronunciada de suas propriedades. Existem diversos tipos de tratamentos térmicos para aços, tais como recozimento, normalização, têmpera e revenido. Podem-se mencionar também as técnicas de endurecimento por precipitação. No caso dos aços estruturais, os principais objetivos dos tratamentos térmicos são a remoção de tensões internas residuais⁶⁸, o aumento da resistência mecânica, a melhora da ductilidade, mudança da dureza, melhora da usinabilidade, melhora da resistência ao desgaste e modificação de propriedades elétricas (MARGARIDO, 20--).

A4. Corrosão

⁶⁷ Em termos de microestrutura, o aço possui diversas fases possíveis (ferrita- α , ferrita- γ , austenita, perlita, cementita, martensita, bainita, etc.) que se alteram em função da composição química e do tratamento térmico ao qual são submetidos (durante ou após sua produção).

⁶⁸ O surgimento de tensões internas residuais se deve as diferentes velocidades de resfriamento de chapas e perfis laminados após o processo de laminação ou também às operações de soldagem e corte realizadas posteriormente (SILVA, 2012).

A corrosão consiste na deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio (ISAÍÁ, 2010). Para Callister (2008), a corrosão metálica trata-se do ataque destrutivo e não intencional de um metal, geralmente iniciado a partir da superfície, e no qual ocorre uma perda efetiva de material, seja ela por dissolução ou pela formação de uma incrustação ou película de material não metálico.

A corrosão dos metais é extremamente onerosa para a sociedade, sendo o custo da corrosão em países industrializados sido estimado como sendo de aproximadamente 3,5% de seu produto interno bruto (PANNONI, 2009).

Segundo Pannoni (2007), os metais não costumam ser encontrados na natureza no estado puro, sendo os minérios, em geral, óxidos metálicos. Assim, de um ponto de vista puramente termodinâmico, a corrosão reflete a tendência de um metal produzido e conformado de reverter ao seu estado original, de menor energia livre. Para isso, o metal reage com elementos não metálicos presentes no meio.

Dependendo do tipo de ação do meio corrosivo sobre o metal, os processos corrosivos podem em geral ser divididos segundo dois mecanismos: corrosão eletroquímica ou corrosão química (ISAÍÁ, 2010).

Na corrosão química ocorrem reações químicas diretas entre o material metálico e o meio corrosivo (O_2 atmosférico, por exemplo), sem geração de corrente elétrica. Em geral, verifica-se em situações na qual o metal esteja em temperaturas bastante elevadas, como as que ocorrem, por exemplo, durante seu processo de fabricação ou em equipamentos como fornos e caldeiras (PIMENTA, 20--). Tem-se como produto da corrosão a formação de uma película, como a carepa⁶⁹ de laminação dos aços.

⁶⁹ Segundo Dias (1997) e Pannoni (2007), carepa é uma película lisa, dura, impermeável e aderente, formada por camadas de óxidos sobrepostas, de cor cinza-azulada, muito dura, aderente e lisa, que se forma por oxidação química no processo laminação a quente do aço, em geral recobrindo-o por inteiro. Por si só a carepa proporcionaria uma boa proteção contra a corrosão, mas devido à dilatação diferencial do aço e da carepa, o sucessivo aquecimento e resfriamento natural do meio ambiente podem ocasionar sua fissuração e a exposição do aço à umidade e ao oxigênio. Além disso, por ser muito lisa, a carepa não fornece a rugosidade necessária para a perfeita ancoragem mecânica das tintas.

Já a corrosão eletroquímica é o mecanismo mais comum de corrosão encontrado na natureza. Ocorre geralmente em temperaturas ambiente, e caracteriza-se por ocorrer na presença de água no estado líquido, e por isso pode ser denominada corrosão aquosa. Trata-se de uma reação de oxirredução, com transferência de elétrons entre espécies químicas através de um eletrólito (solução eletricamente condutora – contendo sais, ácidos ou bases), isto é, a formação de uma pilha de corrosão. A reação anódica envolve a oxidação do metal (ânodo), que se dissolve como íons em meio aquoso. A reação catódica envolve a redução do oxidante (cátodo) presente no meio aquoso. Os produtos de corrosão são, em geral, hidróxidos ou óxidos hidratados do metal corroído. No caso de haver a presença de outros íons no meio, pode haver ainda a formação de sulfetos, sulfatos, cloretos, entre outros. Os principais oxidantes são: íons H^+ em meio ácido, O_2 em meio ácido, neutro ou alcalino, íons de metais mais nobres ou íons em estado mais oxidado presentes na solução. No entanto, deve-se notar que a própria superfície do aço pode conter inúmeras micro-áreas anódicas e catódicas, devido à desuniformidades em sua microestrutura (GNECCO et al., 2003).

Os principais meios corrosivos, responsáveis pelo aparecimento do eletrólito, são: a atmosfera, os solos, as águas naturais e a água do mar. Deve-se notar, no entanto, que as condições do meio em que uma estrutura de aço se encontra determinam fortemente sua maior ou menor susceptibilidade à corrosão. Assim, ambientes com alta umidade, alta concentração de poluentes, com valores muito altos ou muito baixos de pH, sujeitos a ações abrasivas e à variações de temperatura, por exemplo, são considerados mais agressivos às estruturas de aço em termos de corrosão.

Segundo Isaia (2010), os processos corrosivos eletroquímicos apresentam os mesmos mecanismos (isto é, formação de áreas anódicas e catódicas, circulação de íons e elétrons), mas a perda de massa e o modo de ataque sobre o material pode se dar de formas diferentes. Assim, considerando a aparência da superfície corroída, pode-se ter:

- Corrosão Uniforme – a superfície metálica atacada perde massa de maneira mais ou menos uniforme em toda sua extensão. Ocorre em materiais homogêneos expostos a ambientes homogêneos. É de fácil visualização e

detecção. Pode-se destacar como exemplo de corrosão uniforme a corrosão atmosférica de estruturas de aço.

- Corrosão Localizada - ocorre quando o metal é colocado em presença de um ambiente não homogêneo. Segundo Pannoni (2007) e Dias (1997), esta diferença pode advir de múltiplas origens, tanto ao nível do material - ligas multifásicas, presença de inclusões, defeitos localizados em revestimentos protetores, pares bimetálicos, regiões de dobras, regiões com polimentos diferentes, diferenças de forma (região plana menos suscetível do que região pontiaguda), carepa - quanto ao ambiental - variação local de composição química, de pH ou da temperatura -. Dependendo da forma assumida pela superfície corroída, pode ainda ser classificada em: corrosão por pites, corrosão por alvéolos e corrosão por placas.

Em termos do modo de ataque sobre o material, cabe destacar, dentre as diversas possibilidades existentes:

- Corrosão atmosférica - segundo Pannoni (2007), a corrosão atmosférica dos aços-carbono se trata da reação do oxigênio, constituinte da atmosfera, à temperatura ambiente, com o metal, estando a superfície recoberta por uma película (macroscópica ou microscópica) de água e agentes poluentes dissolvidos (tais como CO₂, H₂S, SO₂, névoa salina, cloretos, fuligem, etc.). A corrosão atmosférica depende de diversos fatores, tais como os constituintes da atmosfera, a umidade e o tempo de exposição. Pode ser descrita esquematicamente pela reação global: $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{FeOOH}$. O composto FeOOH, produto desta reação, pode ser considerado como sendo hematita hidratada ($\text{FeOOH} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$) e designado genericamente como ferrugem⁷⁰.
- Corrosão por concentração diferencial - trata-se dos processos corrosivos ocasionados por variação na concentração de íons de ar (aeração diferencial) ou metal (concentração iônica diferencial) no eletrólito. Em geral causam corrosão localizada. Três locais importantes nos quais se manifesta esta forma de corrosão nas estruturas de aço são: na interface de saída de uma

⁷⁰ Na realidade, a ferrugem é uma mistura complexa de fases cristalinas e amorfas de óxidos e hidróxidos de ferro, cuja composição exata pode variar.

estrutura do solo ou da água para a atmosfera; em frestas, possivelmente encontradas em juntas soldadas com chapas sobrepostas, juntas rebitadas, ligações flangeadas e roscadas, revestimentos com chapas aparafusadas, entre outros; sob filmes de revestimentos, especialmente de pintura. (PIMENTA, 20--).

- Corrosão galvânica - denomina-se corrosão galvânica o processo corrosivo resultante do contato elétrico em meio aquoso de metais com diferentes potenciais eletroquímicos, resultando na corrosão do metal menos nobre (DIAS, 1997)⁷¹. Nota-se que a rigor não é verdadeiro dizer que a simples junção de metais distantes na série galvânica provoca problemas de corrosão. Para que isso ocorra, é preciso à presença do eletrólito.

Podem-se mencionar ainda outras formas de corrosão possíveis em estruturas de aço, tais como a corrosão associada ao escoamento de fluidos, a corrosão intergranular e a corrosão de peças submetidas à tensão. No entanto, uma discussão mais aprofundada deste assunto foge do escopo deste trabalho.

A5. Proteção contra a corrosão

Um metal é mais resistente à corrosão quanto menor for a taxa de corrosão a que ele está submetido quando exposto a um meio corrosivo.

O princípio básico por trás do controle da corrosão química está no controle do crescimento da película protetora. Neste caso, destacam-se duas soluções em termos de proteção contra a corrosão: o uso de elementos de liga que melhorem a resistência à corrosão dos aços e o emprego de revestimentos refratários e isolantes (PIMENTA, 20--).

Já no caso da corrosão eletroquímica, o controle da corrosão está associado a paralisar ou diminuir a intensidade da pilha de corrosão. É importante destacar dois

⁷¹ A relação de reatividade entre metais varia de acordo com o ambiente no qual se está inserido. Como exemplo de série galvânica, pode-se citar, tendo como meio a água do mar, do metal mais nobre/catódico para o mais anódico: platina – ouro – grafita – titânio – prata – aço inoxidável passivo – níquel – bronze – cobre – latões – estanho – chumbo – aço inoxidável ativo – ferro fundido – **ferro e aço** – alumínio – zinco – magnésio. (CALLISTER, 2008)

fenômenos que estão relacionados à resistência à corrosão eletroquímica: a polarização e a passivação.

A polarização é a modificação de um potencial de um eletrodo devido a variações de concentração, sobrevoltagem de um gás ou variação de resistência ôhmica. Segundo Pimenta (20--), a polarização promove a aproximação dos potenciais das áreas catódicas e anódicas, produzindo o aumento da resistência ôhmica do circuito, limitando a velocidade do processo corrosivo (caso não existisse este fenômeno, a corrente seria semelhante à de um curto circuito).

A passivação é a modificação do potencial de um eletrodo no sentido de menor atividade (torna-se mais catódico ou mais nobre) devido à formação de uma película de produto de corrosão denominada película passivante, que diminui a taxa de corrosão (PIMENTA, 20--).

Em se tratando da proteção de estruturas metálicas contra a corrosão eletroquímica, podem-se minimizar os efeitos da ação deste fenômeno por meio da seleção adequada do material para um determinado meio, por cuidados de detalhamento no projeto de estruturas metálicas ou por meio de técnicas de proteção contra a corrosão. Apresentam-se abaixo algumas práticas para proteção contra a corrosão eletroquímica de estruturas metálicas, com foco no aço, tomando como base os trabalhos de Dias (1997), Silva e Pannoni (2010), Callister (2008), Bellei et al. (2008), Pimenta (20--), Pannoni (2007), Gnecco et al. (2003) e Pannoni (2009). Ao final desta seção, o Quadro 59 apresenta uma síntese dos conceitos expostos, relativos à proteção contra a corrosão de metais.

.

A5.1. Seleção do material

Trata-se de escolher previamente um material que apresente baixa taxa de corrosão no meio específico ao qual estará exposto. É o caso, por exemplo, do uso de aços patináveis e aços inoxidáveis.

- Aços patináveis (ou aclimáveis)

São aços com baixo teor de carbono, de alta resistência e baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica. A adição de alguns elementos de liga como cobre, níquel e cromo, reduz o efeito da corrosão por mecanismo de passivação, de forma que quando estes aços são expostos à atmosfera, ocorre a formação de uma película protetora aderente de óxidos, de cor marrom escuro avermelhada, denominada pátina. Comercialmente, tais aços receberam o nome de “Cor-Ten”. O uso de estruturas em aço patinável se dá tanto por questões estéticas ligadas a coloração da pátina, como também por sua maior resistência mecânica e à corrosão.

Segundo Silva e Pannoni (2010), a formação da pátina protetora depende basicamente de três tipos de fatores: a composição química do próprio aço; fatores ambientais, como a composição química do meio (altas concentrações de SO_2 – como em zonas industriais – e NaCl – em zonas costeiras – podem prejudicar a formação da pátina) e a ocorrência de períodos alternados de umedecimento e secagem (áreas cobertas ou sob umedecimento constante, por exemplo, não favorecem a formação da pátina); fatores ligados a geometria da peça (seções abertas ou fechadas, drenagem correta das águas, e outros fatores que influenciem a ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem).

Em geral, dispensa-se o uso de outros tipos de tratamento anticorrosivo. No entanto, em ambientes que não permitam a correta formação da pátina (atmosferas com altas concentrações de gases corrosivos industriais ou névoa salina, aplicações em que o aço fica submetido a umedecimento constante, etc.) ou por questões estéticas, é possível submeter estruturas de aço patinável à pintura. O desempenho do aço patinável pintado costuma ser superior ao de aços-carbono estruturais pintados da mesma forma.

- Aços inoxidáveis (ou inox)

Segundo a Abinox (20--), aço inox é o termo empregado para identificar uma família de ligas que possuem em sua composição pelo menos 10,5% de cromo, no máximo 30% de níquel, com teor de carbono controlado, além de outros elementos como, molibdênio, titânio e nióbio que podem ser acrescentados a sua estrutura a fim de se obter determinadas características.

O cromo garante ao material elevada resistência à corrosão, através de mecanismo de passivação. A camada protetora formada é constituída por óxidos e hidróxidos dos metais Cr e Fe, extremamente fina, estável, auto regenerável e transparente, mantendo o aspecto brilhante e polido do aço mesmo após muito tempo de uso.

A formação da película protetora se dá em função do nível de oxidação do meio. Para níveis baixos de ação oxidante, antes de formada a película protetora, o aço inox é dito ativo, e tem sua velocidade de corrosão semelhante a do aço carbono comum. Aumentando a ação oxidante, ocorre à formação da película e obtém-se o aço inox passivo, com alta resistência à corrosão. A aplicação correta de um determinado tipo de inox passa pelo entendimento de qual nível de oxidação do ambiente deixará o aço na condição ativa ou passiva. Assim, apesar de a camada passiva formar-se espontaneamente, para algumas aplicações críticas é interessante a realização do tratamento químico que acelere a passivação, por meio de banhos em soluções ácidas fortemente oxidantes.

Segundo a Aperan (20--), podem-se dividir os aços inoxidáveis em dois grandes grupos, de acordo com sua composição e estrutura cristalina: a série 400 e a série 300. A série 400 é a dos aços inoxidáveis ferríticos, aços magnéticos de estrutura CCC, constituídos basicamente de ligas Fe-Cr. A série 300 é a dos aços inoxidáveis austeníticos, aços não magnéticos de estrutura CFC, constituídos basicamente de ligas Fe-Cr-Ni. Os aços inoxidáveis da série 400 podem ser divididos em dois grupos: os ferríticos propriamente ditos, que em geral apresentam o cromo mais alto e o carbono mais baixo, e os martensíticos, nos quais predomina o cromo mais baixo e o carbono mais alto. Existem ainda outros tipos, como os aços inox duplex e PH.

Para o aço inoxidável que necessita ser submetido a uma operação de soldagem este deve ser decapado antes de passivado, de forma a eliminar o queimado onde ocorreu a redução localizada do cromo na região da solda. A decapagem consiste na remoção de uma fina camada de metal da superfície do aço inoxidável, através da aplicação de misturas de ácidos (ABINOX, 20--).

Existem diversos tipos de acabamento para peças em aço inox. Esta questão é bastante relevante, pois influencia em algumas características do material como sua facilidade de limpeza, estética e resistência à corrosão.

A5.2. Cuidados no detalhamento do projeto estrutural e na execução

O projeto estrutural pode e deve incorporar princípios e detalhamentos que auxiliem na prevenção e manutenção anticorrosão. Da mesma forma, na etapa de execução, as definições estabelecidas em projetos devem ser respeitadas, e as técnicas utilizadas estarem de acordo com os princípios de proteção estabelecidos. Detalham-se abaixo alguns requisitos relevantes:

- Acessibilidade para manutenção

Os componentes de aço devem ser projetados de forma a permitir a inspeção e o reparo das proteções anticorrosivas, em especial as pinturas. Especificamente, deve-se considerar:

- A garantia do espaço necessário para a utilização dos equipamentos usados nas operações de manutenção. Dentre os principais tipos de operações de manutenção comumente empregadas, pode-se citar: o jateamento abrasivo, o uso de ferramental elétrico como pistola de pinos e lixadeira elétrica, a limpeza por meio de escovamento ou lixa manual, a metalização, a aplicação de tinta por spray, pincel ou rolo.
- A instalação de passarelas ou plataformas de vistoria;
- A iluminação da estrutura para permitir a inspeção visual;
- A garantia de uma distância mínima entre peças e das dimensões de aberturas de acesso.
- Que em locais inacessíveis preveja-se proteção contra a corrosão compatível com a vida útil do edifício.

- Evitar ou tratar frestas estreitas

Frestas estreitas são pontos potenciais para o ataque corrosivo devido à retenção de umidade e sujeira e consequente formação de células de aeração diferencial. Não

sendo possível evitá-las, pode-se proceder com o selamento da fresta por meio de selante epoxídico, poliuretânico ou de silicone, ou por meio de um calço de aço soldado.

Um caso comum de formação de frestas é aquele que surge em juntas sobrepostas. Nestes casos, deve-se dar preferência pela execução de juntas de topo ou, não sendo possível, proceder com o selamento da junta. Em se tratando de corrosão, ligações soldadas permitem melhor vedação de frestas, sendo portanto preferíveis às parafusadas. Especial atenção deve ser dada a formação de frestas na interface entre concreto e aço, no caso de estruturas híbridas ou mistas e na interface com a fundação. A Figura 177 indica alguns detalhes construtivos que devem ser evitados, bem como possíveis soluções, em se tratando de frestas.

Figura 177. Exemplos de detalhes construtivos de frestas (adaptado de PANNONI, 2009).

- Prever interface com outros subsistemas (em especial instalações)

O projeto deve considerar a influência adversa de componentes não estruturais, como as instalações prediais, sobre a corrosão da estrutura. Gotejamento de líquidos condensados, vazamentos de tubulações, emissão de gases oriundos de combustão, vapores e substâncias químicas são alguns dos fatores que podem facilitar a corrosão. A criação de pontos quentes e frios na estrutura, ocasionada, por exemplo, pela passagem de tubulação de água quente ou fria ou por sistemas de climatização, também deve ser evitada, pois pode promover a condensação de eletrólitos sobre a estrutura.

- Prevenir a retenção de água e sujeira

Geometrias que retenham água e sujeira devem ser evitadas. Não sendo possível, devem-se criar disposições construtivas que favoreçam a secagem ou drenagem do eletrólito acumulado. Dentre as principais precauções que podem ser tomadas, destacam-se:

- Evitar uso de materiais porosos e absorventes em contato direto com a estrutura metálica;
- Projetar superfícies horizontais inclinadas ou chanfradas;
- Eliminar seções abertas no topo, ou arranjá-las em posição inclinada;
- Eliminar bolsas e recessos na estrutura; Em especial, deve-se tomar cuidado com as geometrias formadas pela instalação de enrijecedores.
- Prever a drenagem e ventilação das diversas partes da estrutura.

A Figura 178 ilustra alguns exemplos de detalhes construtivos para evitar acúmulo de água e sujeira.

Figura 178. Exemplos de detalhes construtivos para evitar acúmulo de água e sujeira (adaptado de PANNONI, 2009 e PANNONI, 2007).

- Considerar a aplicação de sistemas de revestimento

A geometria das peças deve considerar o revestimento anticorrosivo que será empregado. Alguns pontos a serem observados:

- Contornos arredondados são preferíveis aos cantos vivos, pois permitem a uniformidade do sistema de proteção. Isso ocorre por conta da tensão superficial da tinta, que faz com que as arestas recebam uma camada de tinta menos espessa do que aquela depositada sobre as superfícies planas. O

revestimento aplicado sobre os cantos vivos apresenta, além disso, menor resistência aos danos mecânicos. A Figura 179 ilustra essa questão.

- Peças que passarão por galvanização devem ser previamente projetadas para isto, de forma que sua geometria seja adequada aos banhos químicos e de zinco fundido.
- O uso de furos para drenagem das peças é uma boa solução para evitar ao cúmulo de água e sujeira, mas estes devem ser feitos com um diâmetro mínimo de forma a permitir a correta aplicação de sistema de revestimento.

Figura 179. Aplicação de sistema de pintura sobre arestas de peças de aço (PANNONI, 2009).

- Cuidados na execução de soldas

A execução de soldas é um ponto de grande atenção para evitar a criação de pontos propensos à corrosão. Primeiramente, devem-se evitar cordões de solda intermitentes ou descontínuos, que podem reter água e sujeira. Além disso, a solda deve ser feita com qualidade e permitir a acessibilidade.

Os cordões de solda não devem possuir imperfeições, como asperezas, espirros e furos, que dificultem o recobrimento do sistema de pintura escolhido. Soldas feitas em campo costumam ser irregulares e tornam o recobrimento da tinta desuniforme (pouca tinta nos “picos” e muita tinta nos “vales”), comprometendo a vida útil do sistema.

Outro problema é ocasionado pela escória, liberada pelo eletrodo, quando não for convenientemente retirada. As escórias são higroscópicas (absorvem água), permitindo que o vapor de água migre tinta adentro, até a interface metal/escória, o que possibilita a corrosão. A Figura 180 ilustra alguns exemplos de problemas na execução de soldas.

Figura 180. Exemplos de execução de solda (adaptado de SILVA, 2012 e PANNONI, 2009).

- Prevenção da corrosão galvânica

Pares bimetalicos devem ser evitados, de forma a prevenir a corrosão galvânica. Não sendo possível evitá-los, recomenda-se o selamento das juntas (de forma a impedir a entrada do eletrólito e, conseqüentemente, a ocorrência de corrosão), intercalar os dois metais ou ligas com um isolante elétrico não poroso e de composição não agressiva (arruelas plásticas, fitas adesivas especiais, cerâmicas, componentes de borracha sintética, PTFE⁷², nylon, entre outros), a introdução de uma peça intermediária no contato, que possa ser facilmente substituída ou que tenha um potencial intermediário, a aplicação de pintura no contato entre as peças ou o encapsulamento do par bimetalico com massa epoxídica. Outra medida interessante de projeto é superdimensionar o componente menos nobre da ligação bimetalica, de forma a se garantir contra um possível ataque corrosivo, ou projetá-lo de forma que seja facilmente substituível. Deve-se lembrar, no entanto, que pares galvânicos expostos em ambientes sem eletrólitos, como no interior de uma edificação, apresentam pouca probabilidade de apresentar problemas de corrosão. Algumas situações comumente encontradas na construção civil e que devem ser evitadas de forma a prevenir a corrosão galvânica:

- Parafusos de aço galvanizado unindo estruturas de aços patináveis;
- Aços inoxidáveis acoplados ao aço carbono;
- Uso de aços inoxidáveis sem se conhecer o nível de oxidação ligado a sua condição ativa/ passiva;
- Defeitos na aplicação de revestimentos metálicos nobres;
- Conexão de materiais novos e antigos - diferenças de composição ou condições superficiais entre metais similares podem resultar na formação de célula galvânica. Por exemplo, o aço carbono de superfície limpa é em geral anódico com relação ao aço enferrujado.

⁷² Politetrafluoretileno, polímero conhecido pelo nome comercial Teflon.

- Reversão do Zinco a 60°C – em temperaturas acima de 60°C o potencial eletroquímico do zinco decresce, de forma que em peças de aço galvanizado sujeitas a estas temperaturas (tubulação de água quente, por exemplo) pode ocorrer à reversão entre catodo e anodo, com o aço tornando-se anódico em relação ao zinco.
- Produtos de corrosão (ferrugem) sobre outros metais devem ser evitados por conta da característica higroscópica desse material.
- Evitar pequenos anodos ligados a grandes catodos. Parafusos devem ser feitos preferencialmente de material compatível, isto é, levemente catódico em relação às peças que une.
- No caso de ligações soldadas, deve-se atentar para compatibilidade entre o tipo de solda empregado e o metal base.

A5.3. Técnicas de proteção contra a corrosão

As técnicas de proteção de metais contra a corrosão costumam seguir três mecanismos:

1. Aumento da resistência à corrosão do metal por meio de proteção catódica ou anódica.
2. Interposição de barreira de outro material entre o metal e o meio corrosivo;
3. Redução da ação corrosiva do meio.

Apresentam-se abaixo algumas das principais técnicas de proteção contra a corrosão eletroquímica de metais.

A5.3.1. Uso de revestimentos

Os revestimentos constituem-se em películas interpostas entre o metal e o meio corrosivo, protegendo-o contra a corrosão, seja por mecanismo de aumento da resistência à corrosão do metal, seja por mecanismo de barreira. É o caminho mais amplamente empregado na proteção de estruturas de aço. Podem-se separar os tipos de revestimento contra a corrosão em três grupos (PIMENTA, 20--):

A4.3.1.1. Revestimentos metálicos

Consiste na técnica de se revestir um metal-base que se deseja proteger com uma película de outro metal. Não ocorre corrosão galvânica entre a película e o metal-base devido à ausência de eletrólito entre eles. Os revestimentos metálicos podem ser divididos em duas categorias: revestimentos nobres e revestimentos de sacrifício (SILVA e PANNONI, 2010).

O revestimento nobre é produzido com metal mais nobre do que o metal base, fornecendo proteção por mecanismo de barreira. Assim, a película protetora deve ser a mais perfeita possível, isto é, isenta ao máximo de poros e trincas, e quanto maior a espessura melhor a ação protetora.

No revestimento de sacrifício, o mecanismo de proteção é não só por barreira, mas também pelo aumento da resistência a corrosão do metal, uma vez que a película metálica protetora confere proteção catódica ao metal-base, isto é, o metal usado no revestimento é mais anódico (tem maior tendência de se oxidar, perder elétrons) do que o metal protegido. Não há necessidade que a película seja perfeita (totalmente isenta de poros e trincas), uma vez que havendo algum dano superficial à película que exponha o metal protegido ao meio corrosivo, o metal de revestimento passa a ceder elétrons ao metal protegido exposto, de forma a evitar sua oxidação. Quanto maior a espessura do revestimento, mais tempo durará a proteção catódica.

Os processos de revestimento metálicos mais comuns são por imersão em metal fundido, por eletrodeposição (galvanoplastia) e por metalização (metal fundido, pulverizado e aspergido por equipamento de projeção).

A galvanização (também chamada de zincagem, galvanização a fogo ou galvanização por imersão a quente) é o processo de revestimento do aço com uma camada de zinco metálico por meio da imersão em banho de zinco fundido. Neste processo, o zinco reage metalurgicamente com o aço, formando camadas de ligas Zn-Fe, de concentração decrescente de Fe até a formação de uma camada exterior de zinco puro. Produz uma coloração brilhante, acinzentada ou prateada, e fornece proteção catódica ao aço. O zinco possui ainda ele mesmo boa resistência à corrosão por ser formador de película protetora.

A espessura do revestimento obtido pode variar com a espessura do aço a ser revestido (espessuras usuais são de 75 a 125 μm para peças não planas e 25 μm para chapas). O processo de produção pode ser contínuo⁷³ (em geral utilizado para bobinas de aço galvanizado produzidas em siderúrgica) ou intermitente⁷⁴ (em geral utilizado em fábricas galvanizadoras, para diversos tipos de peça). Para obtenção de maiores espessuras de revestimento, pode-se utilizar de procedimento de aumento da rugosidade superficial do aço ou da adição de ligantes que aumentem a reação com o zinco. Para obtenção de espessuras menores (como pode ser necessário para parafusos, por exemplo), pode-se realizar procedimento de centrifugação.

Dentre as vantagens deste processo, pode-se citar, segundo Silva e Pannoni (2010): o menor custo inicial e de manutenção; vida longa; facilidade de preparação superficial; rapidez de aplicação; alta adesão do revestimento ao aço; proteção catódica. Como desvantagens, destaca-se: a impossibilidade de realizar esse procedimento em canteiro de obras; a impossibilidade de alteração da coloração do zinco sem o uso de pintura; a dimensão dos componentes a serem protegidos ser limitada as dimensões da cuba de zinco (apesar de ser possível a galvanização em etapas ou o projeto de peças em módulos); a possibilidade da alta temperatura do banho causar distorções dimensionais nas peças; o fato de procedimentos de soldagem ocasionarem a perda da camada de revestimento (que deve ser retocada por metalização ou uso de tintas a base de zinco).

Em geral, em estruturas de aço para edifícios, a galvanização é utilizada apenas para componentes de ligação como parafusos, porcas, arruelas e partes externas de chumbadores.

⁷³ Bastante utilizado para bobinas de aço galvanizado produzidas em siderúrgica. Esse tipo de bobina de aço em geral é utilizada para produção de telhas, forros, esquadrias, painéis de fechamento, perfis estruturais leves (light steel framing) e perfis não estruturais (drywall).

⁷⁴ O processo intermitente compreende a imersão em sucessivas cubas de produtos químicos, visando à limpeza e posterior revestimento das peças. As etapas sucessivas que constituem o processo são: limpeza alcalina (para desengraxamento), lavagem em água fria, decapagem ácida (para retirada de óxidos), lavagem em água fria, fluxagem (banho em solução de amônia e zinco visando à neutralização da oxidação das peças antes da imersão no banho de zinco e uniformização das camadas a serem formadas), resfriamento e secagem (banho em solução passivadora destinada a retardar a corrosão inicial do zinco. Em se tratando de processo úmido, pode não ocorrer nesse momento, apenas no final do processo), imersão em banho de zinco fundido a 445°C, resfriamento e secagem final.

Outra forma de revestimento metálico que pode ser destacada é o chamado galvalume, que se trata da imersão do aço em uma liga de zinco e alumínio fundido, o que confere ainda maior proteção contra a corrosão para determinados ambientes. Este processo é comumente utilizado para produção de telhas de aço.

A5.3.1.2. Revestimentos não metálicos inorgânicos

Consiste na interposição de uma película não metálica inorgânica entre o meio corrosivo e o metal que se deseja proteger. A proteção se dá em geral por meio de mecanismo de barreira ou proteção anódica. Dentre os principais processos de revestimento não metálico inorgânico, podem-se destacar, segundo Pimenta (20--):

- Anodização = consiste em tornar mais espessa a camada passivante de metais formadores de película protetora, através da imposição forçada de um princípio de corrosão, que pode se dar por meio de banhos em produtos químicos oxidantes ou pela imposição de uma corrente anódica na peça que se deseja proteger (a corrente é aplicada e cessa após a formação da película desejada). Comumente utilizado no alumínio.
- Cromatização = consiste na passivação do metal por meio do banho em soluções ácidas contendo cromatos. No caso do ferro e do aço, a proteção ocorre com a formação de película protetora de Fe_2O_3 e Cr_2O_3 .
- Fosfatização = consiste na adição de uma camada de fosfatos à superfície metálica, que inibe processos corrosivos e aumenta a rugosidade da superfície, tornando-se uma excelente base para a pintura. Muito usada na indústria automobilística e de eletrodomésticos.
- Revestimento com argamassa de cimento = consiste na aplicação de uma camada de argamassa de cimento, com espessura da ordem de 3 a 6 mm, sobre a superfície metálica que se deseja proteger. Muito empregado para a parte interna de tubulações. Além disso, por ser um material bastante utilizado para proteção passiva contra incêndio para estruturas de aço de edifícios, costuma também fazer papel de revestimento anticorrosão nessas estruturas.
- Revestimento com concreto = utilizado em pilares mistos ou como solução de proteção contra incêndio, costuma também fazer papel de revestimento anticorrosão nessas estruturas.

Por fim, pode-se mencionar ainda o revestimento com vidro (utilizado na indústria química), o revestimento com esmalte vítreo (utilizado em utensílios domésticos) e o revestimento com material cerâmico (em geral silicoso, resistente a ácidos, utilizado para revestimento de pisos e canais de efluentes).

A5.3.1.3. Revestimentos não metálicos orgânicos

Consiste na interposição de uma película de natureza orgânica entre o meio corrosivo e o metal que se deseja proteger. Em geral, destacam-se três grupos de proteção por revestimento orgânico, segundo Pimenta (20--):

- Pintura - é o principal tipo de proteção anticorrosiva utilizada para estruturas aéreas, em geral com revestimentos com espessuras que variam entre 160 a 500 μm . Este tipo de proteção envolve basicamente duas etapas: a preparação da superfície do substrato e a aplicação do sistema de pintura.
- Revestimento com borrachas – recobrimento da superfície com uma camada de borracha por meio de processo de vulcanização, em geral utilizado para equipamentos e tubulações de meios altamente corrosivos encontrados em indústrias químicas.
- Revestimento para tubulações enterradas e submersas – tubulações enterradas e submersas, como aquelas de oleodutos, gasodutos e adutoras, em geral exigem revestimentos de alta espessura. Dentre os principais tipos de revestimento utilizados pode-se citar: revestimento com esmalte de alcatrão de hulha (coal-tar), revestimento com asfaltos, revestimento com fitas plásticas (polietileno, PVC, poliéster), revestimento com espuma rígida de poliuretano, revestimento por tinta à base de coal-tar epóxi, revestimento de polietileno ou polipropileno extrudado e revestimento com tinta epóxi em pó (Fusion Bonded Epoxi).

Assim, as estruturas de aço na construção civil tem na pintura sua principal forma de proteção anticorrosiva. Para a seleção da melhor solução de preparo de superfície e pintura a ser utilizado em uma estrutura, deve-se considerar uma série de fatores (PANNONI, 2009):

- A agressividade do ambiente no qual a estrutura está inserida;
- Os custos iniciais e de manutenção do sistema;

- Os tipos de danos mecânicos ou químicos aos quais o sistema de proteção estará exposto;
- As condições de aplicação do sistema de pintura (temperatura, umidade, etc.);
- A dimensão e forma dos componentes metálicos estruturais;
- A possibilidade de intervenções periódicas de manutenção;
- Os sistemas de tratamento e pintura disponíveis no local da construção e montagem ou no fabricante;
- As condições do substrato antes da pintura.

Dentre as principais fontes que podem ser utilizadas para a correta especificação do tratamento e pintura, destacam-se:

- Normas e guias do Steel Structures Painting Council (SSPC);
- Norma ISO 12944:2007 – Proteção contra a corrosão de estruturas de aço por meio de sistemas de pintura;
- Norma ISO 8501:2007 – Preparação de substratos de aço antes da aplicação de tintas e produtos relacionados;
- Norma SIS 05 5900 – Pictorial Surface Preparation Standards of Painting Steel Surfaces, do Instituto Sueco de Normalização.
- Boletins técnicos fornecidos pelos produtores de tintas;

Detalham-se abaixo três aspectos fundamentais relacionados ao uso de sistemas de proteção por pintura em estruturas de aço: a classificação da agressividade ambiental do meio no qual a estrutura está inserida; as técnicas de preparo da superfície existentes; os tipos de sistema de pintura disponíveis.

1. Classificação da agressividade ambiental

Existem algumas classificações que buscam qualificar as atmosferas de acordo com seu grau de agressividade em termos de corrosão de estruturas de aço. Em geral, dois enfoques podem ser utilizados: a classificação por meio da medida de concentração de determinadas substâncias químicas corrosivas na atmosfera e a classificação segundo a taxa de corrosão do meio para corpos de prova metálicos padronizados.

Este segundo enfoque é adotado pela norma ISO12944, que apresenta seis categorias de corrosividade: C1 (muito baixa)⁷⁵, C2 (baixa), C3 (média), C4 (alta), C5-I (muito alta industrial), C5-M (muito alta marinha). Para cada categoria de corrosividade, podem-se associar algumas soluções de preparo da superfície e de sistemas de pintura que atendam às exigências de durabilidade requeridas.

2. Técnica de preparo da superfície

Segundo Gnecco et al. (2003), as tintas aderem aos metais através de ligações físico-químicas (interação entre grupos de moléculas das resinas das tintas e átomos do metal) e mecânicas (o que implica na necessidade de certa rugosidade na superfície metálica). Assim, o preparo da superfície é realizado com dois objetivos principais: a limpeza da superfície e o aumento da rugosidade superficial. A limpeza visa à remoção de materiais que possam prejudicar o contato da tinta com o aço, tais como contaminantes (óleos, graxas, gorduras, suor, pós, compostos solúveis), carepa de laminação e resíduos de tintas antigas. Já o aumento da rugosidade visa o aumento da superfície de contato entre a tinta e o aço, melhorando a aderência e o desempenho do sistema de pintura.

As normas SIS 05 5900, ISO 8501e VIS 1 SSPC são importantes referências em se tratando do preparo de superfícies de aço. Estas normas se referem à aparência da superfície de aço antes e após a limpeza, estabelecendo padrões de graus de corrosão (anteriores à limpeza) e graus de limpeza.

Em se tratando dos graus de corrosão, a SIS 05 5900 estabelece:

- Grau A: superfície com carepa de laminação intacta;
- Grau B: superfície com carepa de laminação se destacando e com a presença de ferrugem;
- Grau C: superfície com corrosão generalizada e sem carepa;

⁷⁵ Em geral, estruturas localizadas no interior de edificações condicionadas para o conforto humano estão pouco sujeitas a corrosão, sendo consideradas de classe C1.

- Grau D: superfície com corrosão generalizada e com pontos profundos de corrosão (pites ou alvéolos) em função de corrosão localizada.

Os padrões de grau de limpeza estão divididos conforme as técnicas utilizadas para o preparo da superfície. Segundo as normas técnicas mencionadas, detalham-se abaixo as técnicas de preparo e os graus de limpeza correspondentes.

- Limpeza por ferramentas manuais: realizada através movimentos circulares de lixas a prova d'água, escovas manuais ou mantas não tecidas sintéticas impregnadas com abrasivos. No caso das lixas, realiza-se a aplicação sequenciada de lixas de diferentes granas (granulometria do abrasivo), indo da mais grossa (menor grana) para a mais fina (maior grana) (GNECCO et al., 2003).

Grau de limpeza obtido por esta técnica:

- St 2 (SP2)⁷⁶ – Limpeza Manual = remove carepa de laminação parcialmente solta, restos de pintura parcialmente soltos e ferrugem parcialmente solto mediante o uso de ferramentas manuais. Em geral aceita para algumas atividades de repintura, ou para aplicação de tintas a base de óleo ou betuminosas em meios não agressivos.

- Limpeza por ferramentas mecânicas: podem-se utilizar ferramentas mecânicas (elétricas ou a ar comprimido), escovas rotativas, lixadeiras rotativas ou pistola de agulhas.

Grau de limpeza obtido por esta técnica:

- St 3 (SP3) – Limpeza Mecânica⁷⁷ = remove carepa de laminação parcialmente solta, restos de pintura parcialmente soltos e ferrugem parcialmente solto mediante o uso de ferramentas mecânicas. Costuma ser antieconômico para grandes áreas, sendo em geral aplicado para áreas pequenas e de difícil acesso (porcas, parafusos, cantos de tubulação) em que o jateamento não é possível ou é antieconômico e na limpeza de cordões de solda.

- Limpeza por jateamento abrasivo: pode-se dar por ar comprimido ou por turbinas centrífugas. Os abrasivos mais utilizados são a areia (de baixo

⁷⁶ A primeira sigla (Sa e St) se refere à denominação nas normas SIS 05 5900 e ISO 8501 e a sigla entre parênteses (SP) se refere à norma VIS 1 SSPC.

⁷⁷ É possível obter um grau de limpeza St2 com ferramentas mecânicas (gastando menos tempo na operação de limpeza) e St3 com ferramentas manuais (gastando-se mais tempo na operação).

reaproveitamento e podendo causar problemas respiratórios e silicose), a granalha de aço do tipo shot (esféricas) ou grit (angulares) e o óxido de alumínio (sinterball). As turbinas centrífugas são rotores com palhetas que giram em alta velocidade e arremessam as granalhas de aço contra as peças. Deve-se atentar para o perfil de rugosidade desejado na superfície, que deve ser de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ da espessura total da camada de tinta somadas todas as demãos (uma rugosidade excessiva pode deixar picos fora da camada de tinta, que estarão sujeitos à corrosão, enquanto uma rugosidade muito baixa pode prejudicar a aderência). O jateamento com abrasivo pode ser feito a seco ou a úmido, com ou sem o uso de substâncias inibidoras de corrosão (nitrito de sódio, por exemplo). O jateamento úmido tem por vantagem a diminuição de problemas de saúde relacionados à remoção de compostos solúveis com a lavagem, mas apresenta a desvantagem de acelerar a corrosão da superfície antes da aplicação da pintura. Para superfícies já jateadas anteriormente, em que se deseja apenas a remoção de tinta velha, pode-se optar pelo hidrojateamento, com ou sem inibidores de corrosão. Deve-se atentar para o intervalo de tempo entre o fim do jateamento e a aplicação da pintura, pois após o jateamento a superfície torna-se mais exposta (GNECCO et al., 2003).

Graus de limpeza obtidos por esta técnica:

- Sa 1 (SP7) – Jato ligeiro “brush off” = executado de forma rápida, quase uma escovada com o jato, removendo contaminantes mal aderidos e dando um suave brilho metálico para a superfície.
- Sa 2 (SP6) – Jato comercial = executado de forma um pouco mais minuciosa do que o jato ligeiro, deve resultar em ao menos 65% da superfície isenta de vestígios visíveis e o restante apenas leves sinais de contaminantes, dando a superfície uma coloração acinzentada.
- Sa 2½ (SP10) – Jato ao metal quase branco = mais minucioso que o anterior, de forma que pelo menos 95% da superfície resulte isenta de qualquer vestígio visível e o restante apresente apenas ligeiras sombras, veios ou descoloração. Deverá resultar em uma superfície de cor cinza claro.
- Sa 3 (SP5) – Jato ao metal branco = é o grau máximo de limpeza, correspondendo a 100% de remoção de vestígios visíveis, obtendo-se uma superfície cinza clara e uniforme.

Existem ainda outras técnicas de preparo da superfície interessantes de serem mencionadas. A limpeza a fogo (SP4) consiste na rápida aplicação de uma chama de maçarico sobre a superfície metálica, causando a desagregação da carepa. A decapagem química (SP8) e a Fosfatização, já mencionadas anteriormente, também são técnicas utilizadas na preparação da superfície para pintura.

As técnicas de preparo apresentadas não conseguem remover contaminantes como óleos, graxas e gorduras. Assim, antes da aplicação de qualquer técnica de preparo deve-se realizar o desengraxamento (SP1), utilizando-se de solventes, detergentes, produtos para limpeza, entre outros. Da mesma forma, após o término de aplicação da técnica de preparação, o pó resultante deve ser retirado por meio de ferramenta de aspiração ou sopro.

3. Tipos de sistema de pintura

Segundo Gnecco et al. (2003), tinta é uma suspensão homogênea de partículas sólidas dispersas em um líquido (veículo), que depois de aplicada sobre uma superfície passa por um processo de secagem ou cura, e se transforma em um filme sólido, fino, aderente e flexível, tendo função de proteção e decorativa. São compostas por quatro grupos de matérias primas: resinas, pigmentos, solventes e aditivos. Resina e solvente compõe o denominado veículo da tinta. Segue abaixo a caracterização de cada um destes componentes, de acordo com Dias (1997) e Gnecco et al. (2003):

- Resina: é a parte não volátil do veículo, responsável pela aglomeração dos pigmentos e formação do filme, proporcionando impermeabilidade, continuidade e flexibilidade à tinta. As resinas mais importantes para a pintura de aço são as alquídicas, acrílicas, epóxis, poliuretânicas, de etil silicato de zinco e silicones. Utilizam-se ainda para algumas situações resinas de borracha clorada ou vinílicas (látex).
- Pigmento: pós orgânicos e inorgânicos finamente divididos, em suspensão no veículo que, após a secagem, são aglomerados pela resina formando com esta o filme sobre o substrato. Podem ser coloridos, anticorrosivos ou inertes (cargas, com função de proporcionar as tintas certas propriedades

específicas). Têm função estética e de proteção anticorrosiva. Dentre os pigmentos comumente utilizados nas tintas de proteção ao aço carbono, pode-se citar o óxido de chumbo (zarcão), o cromato de zinco, o cromato de chumbo, o fosfato de zinco, o zinco metálico (tintas de galvanização à frio), o óxido de ferro e compostos lamelares. Um determinado tipo de pigmento pode ser combinado com mais de um tipo de resina.

- Solvente: líquidos voláteis que solubilizam a resina, reduzindo a viscosidade da tinta e dando fluidez para sua aplicação. Em geral, se dá o nome de solvente ao produto utilizado na fabricação da tinta, e diluente ou thinner ao solvente adicionado a tinta no momento de sua aplicação para obter uma viscosidade desejada. As tintas costumam ser compostas por um conjunto de solventes, mais ou menos voláteis. Os solventes comumente utilizados nas tintas de proteção ao aço carbono são de diferentes naturezas químicas: hidrocarbonetos alifáticos (aguarrás), hidrocarbonetos aromáticos (xileno e tolueno), glicóis, acetatos, cetonas e alcoóis, todos sendo compostos orgânicos 100% voláteis. Atualmente, utiliza-se ainda tintas a base de água, similares às tintas a base de solventes, produzidas por meio de tecnologia para emulsionar e dispersar a resina na água.
- Aditivos: produtos sólidos ou líquidos adicionados em pequenas quantidades para conferir propriedades especiais às tintas (secantes, antioxidantes, plastificantes, antimofos, nivelantes, espessantes, antibolhas, antinata, etc.).

As tintas podem ser monocomponentes (quando fornecidas em uma só embalagem) ou bicomponentes (quando fornecidas em duas embalagens, sendo uma do componente base/pigmentado e outra de agente de cura/catalisador). As tintas se solidificam por três mecanismos: simples evaporação do solvente, oxidação e reação entre resinas.

Segundo Dias (1997), em se tratando da pintura de estruturas metálicas, podem-se classificar as tintas de acordo com sua posição:

- Primer: primeira demão aplicada sobre a superfície metálica, em geral trata-se de produto fosco que contém pigmentos anticorrosivos.
- Intermediárias: em geral são tintas de alta espessura, aplicadas entre o primer e o acabamento com o objetivo de melhorar a proteção do sistema de pintura

por meio do seu aumento de espessura. Em geral são tintas neutras, sem pigmentos, e mais baratas do que as demais.

- Acabamento ou esmalte: é a tinta que dá a aparência final ao substrato, com cor e textura definidas.

Segundo Silva e Pannoni (2010), os primers costumam ser classificados de acordo com o principal pigmento anticorrosivo participante, enquanto as tintas intermediárias e de acabamento são classificadas de acordo com a resina empregada.

Em termos de aplicação, as tintas requerem cuidados no armazenamento e utilização. Antes do uso, é preciso proceder com operações de homogeneização e diluição da tinta. Deve-se atentar para o tempo de vida útil da mistura e o tempo de espera para aplicação, bem como o intervalo entre demãos. Também se devem observar as condições de aplicação, tais como temperatura e umidade. Dentre os principais métodos de aplicação, destacam-se o uso de trincha/ pincel, rolo, pulverização convencional, pulverização sem ar (airless) e pintura eletrostática (Dias, 1997). Cabe ainda mencionar os aços pré-pintados, que já recebem recobrimento de pintura na siderúrgica, por meio de processo em linha contínua.

Cada sistema de pintura possui vantagens e desvantagens, bem como indicações de uso dependendo da agressividade ambiental a qual a estrutura estará exposta, e do tipo de reparação de superfície que melhor se adéqua a certo sistema. No entanto, considera-se que o aprofundamento deste assunto foge ao escopo deste trabalho.

A5.3.2. Proteção catódica por corrente imposta e metal de sacrifício

A proteção catódica é uma técnica que consiste em tornar o metal a ser protegido em catodo de uma pilha, forçando uma forte polarização. Uma técnica comum que se utiliza deste mecanismo é o uso de revestimentos de sacrifício, conforme tratado anteriormente. No entanto, outras duas técnicas ainda merecem destaque: a proteção por corrente imposta e a proteção por metal de sacrifício.

Na proteção por metal de sacrifício, o metal a ser protegido é conectado eletricamente a outro metal mais reativo naquele ambiente específico. O metal mais reativo, denominado anodo de sacrifício, cede elétrons ao outro metal, protegendo-o contra a corrosão. Já na proteção por corrente imposta, a fonte de elétrons é uma corrente imposta a partir de uma fonte de energia externa de corrente contínua. Para que haja corrente, é preciso que o circuito elétrico esteja fechado. Desta forma, a proteção catódica costuma ser empregada em estruturas enterradas ou submersas, de forma que o meio forme um eletrólito contínuo (CALLISTER, 2008).

A5.3.3. Proteção anódica por corrente imposta

Consiste na aplicação de uma corrente anódica externa na estrutura a proteger, que favorece a passivação do metal, aumentando sua resistência à corrosão. Este tipo de proteção só pode ser usado em metais formadores de película protetora, tais como titânio e ligas de ferro-cromo-níquel. Em outras palavras, a corrente aplicada torna o metal um anodo (retira elétrons) que, ao se oxidar, forma uma película protetora tornando-se mais resistente à corrosão do meio. A corrente deve ser aplicada e mantida (o que difere este processo do processo de anodização, apesar de ambos seguirem o mesmo mecanismo), de forma a manter a passividade do metal – isto é, se a película for rompida, nova película é formada. A proteção anódica costuma ser utilizada em meios fortemente corrosivos como tanques de armazenamentos de ácidos.

A5.3.4. Uso de inibidores, controle de ar dissolvido e controle de pH

Segundo Pimenta (20--), o uso de inibidores de corrosão é em geral utilizado em situações nas quais se tem um meio corrosivo líquido que trabalha em circuito fechado. Os inibidores são compostos químicos que promovem a polarização do meio, ou formam películas protetoras sobre as áreas anódicas ou catódicas. Podem também atuar como sequestradores de oxigênio do meio, promovendo sua desaeração. O próprio controle do pH destes meios pode ser uma forma de minimização do processo corrosivo.

Quadro 59. Esquema síntese dos conceitos relativos à proteção contra a corrosão de metais. Foi dado destaque para a galvanização, pintura e revestimentos cimentícios, principais soluções utilizadas na proteção de componentes das estruturas de aço para edifícios (elaboração do próprio autor).

A6. Propriedades dos aços estruturais

O aço apresenta diferentes propriedades cujo conhecimento é fundamental para sua aplicação como material de construção. As propriedades mais importantes para o projeto e execução de estruturas de aço na engenharia são as propriedades mecânicas, isto é, àquelas associadas à capacidade do material de resistir a forças mecânicas. Como exemplo desse tipo de propriedade, pode-se citar: resistência, ductilidade, rigidez, tenacidade, resiliência, dureza, fluência, relaxação e resistência à fadiga.

A Figura 181 apresenta a forma de um diagrama tensão-deformação de engenharia, típico para aços estruturais submetidos a ensaio de tração axial. Como se pode observar, o aço estrutural apresenta um comportamento elasto-plástico, com ruptura dúctil e patamar de escoamento. Alguns aços podem eventualmente não apresentar patamar de escoamento tão bem definido, em especial em se tratando de aços submetidos a tratamentos térmicos. Para deformações compressivas, cisalhantes ou torcionais, a curva tensão-deformação é bastante semelhante, com a ressalva de que, na compressão, não se atinge um valor máximo já que não há estricção da seção do corpo de prova ensaiado (Callister, 2008).

A resistência pode ser definida como a capacidade de um material suportar cargas sem romper ou apresentar excessiva deformação plástica. No caso dos aços estruturais, duas medidas de resistência são importantes: a resistência ao escoamento (f_y), utilizada como resistência de projeto, e a resistência à ruptura (f_u). Em geral, os aços estruturais utilizados na construção civil possuem resistências ao escoamento que variam entre 200 e 700 MPa.

A ductilidade é a medida do grau de deformação plástica suportada pelo material até a ruptura, isto é, a capacidade de um material se deformar sem se romper. A ductilidade tem grande importância nas estruturas de aço, pois permite a redistribuição de tensões locais elevadas, servindo de aviso prévio à ruptura final e, conseqüentemente, prevenindo acidentes (a estrutura se deforma consideravelmente antes de romper efetivamente).

1. Limite de proporcionalidade (f_p) = ponto de separação entre regimes elástico e plástico.
2. Resistência ao escoamento (f_y) = ponto a partir do qual começa a ocorrer o escoamento da seção de aço.
3. Resistência a ruptura ou resistência última (f_u) = ponto onde ocorre a máxima tensão e a partir do qual ocorre estricção da seção do corpo de prova.
4. Ruptura do corpo de prova.

Figura 181. Diagrama tensão-deformação de engenharia genérico para ensaio de tração axial de um corpo de prova de aço estrutural. Gráfico fora de escala (elaboração do próprio autor).

Têm-se ainda outras propriedades mecânicas importantes, como por exemplo: rigidez (indicada pelo módulo de elasticidade), tenacidade (capacidade de absorver energia até a ruptura, indicado pela área abaixo do gráfico tensão x deformação), resiliência (capacidade de absorver energia quando deformado elasticamente, indicado pela área abaixo do trecho elástico do gráfico), dureza (resistência a deformação plástica localizada, como penetração ou risco, não sendo tão determinante para estruturas de aço na construção civil mas fundamental para outras atividades, como a estampagem industrial), fluência (deformação elástica ao longo do tempo sob tensão constante), relaxação (perda de tensão sob deformação constante) e resistência a fadiga (resistência a aplicação de esforços cíclicos, que podem levar a ruptura frágil). Também pode ser relevante a relação de deformações expressa pelo Coeficiente de Poisson.

Ainda, cabe mencionar algumas propriedades não mecânicas, mas cujo conhecimento é fundamental para aplicação do aço como material estrutural, tais como a soldabilidade (facilidade da execução de uma junta por meio de processo de

soldagem, sem defeitos e livre de fissuras ou falhas), a massa específica, a capacidade de dilatação e a condutividade térmica. A Tabela 61 apresenta alguns valores típicos de propriedades dos aços estruturais.

Tabela 61. Valores típicos para propriedades de aços estruturais (elaboração do próprio autor com base em BELLEI et al., 2008)

Propriedade	Valores Típicos
Resistência ao Escoamento	$f_y = 200 - 700 \text{ MPa}$
Módulo de Elasticidade Longitudinal	$E = 200.000 \text{ MPa}$
Módulo de Elasticidade Transversal	$G = 77.200 \text{ MPa}$
Coeficiente de Poisson	$\nu = 0,3$
Coeficiente de Dilatação Térmica	$\beta = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}^{-1}$
Condutividade Térmica	52 W/mK
Massa Específica	$\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$

A7. Tipos de aços estruturais

Existem diversas normas nacionais e estrangeiras para especificação de aços, fixando as condições exigíveis (espessuras, composição química, limites de escoamento e ruptura, entre outros) para encomenda, fabricação e fornecimento desse material. As principais entidades especificadoras de aços estruturais utilizados no Brasil são a ASTM (American Society for Testing and Materials) e a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Para aços sem qualificação estrutural, comumente são utilizadas as especificações da SAE (Society of Automotive Engineers). Além disso, as próprias siderúrgicas criaram, para alguns aços, denominações comerciais próprias.

De acordo com Isaia (2010), os aços estruturais utilizados na construção civil podem ser divididos em três grupos:

- Aços comuns com baixo teor de carbono: possuem teor de carbono abaixo de 0,25% em massa.
- Aços com baixo teor de carbono, de alta resistência e baixa liga: aços de baixa liga são aqueles que recebem elementos de liga com teor inferior a 2% em massa. Oferecem alta resistência ($f_y > 300 \text{ MPa}$). Podem ou não receber tratamento térmico especial após a laminação, caso no qual pode-se obter resistências ainda maiores ($f_y \sim 700 \text{ MPa}$).

- Aços com baixo teor de carbono, de alta resistência e baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica: também conhecidos como aços patináveis ou aclimáveis, conforme mencionado no item 3.4.1.

O Quadro 60 indica as principais normas brasileiras para especificação de aços estruturais. No Quadro 61, apresentam-se as principais normas americanas de especificação de aços estruturais. Cabe ressaltar que, dentro de uma mesma norma, pode haver mais de um tipo de aço especificado⁷⁸.

Quadro 60. Normas brasileiras de especificação de aços estruturais (elaboração do próprio autor).

Norma	Conteúdo
ABNT NBR5000	Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica
ABNT NBR5008	Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais
ABNT NBR5920	Chapas finas a frio de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais
ABNT NBR5921	Chapas finas a quente de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais
ABNT NBR6648	Chapas grossas de aço carbono para uso estrutural
ABNT NBR6649	Chapas finas a frio de aço carbono para uso estrutural
ABNT NBR6650	Chapas finas a quente de aço carbono para uso estrutural
ABNT NBR7007	Aços para perfis laminados para uso estrutural
ABNT NBR8261	Perfil tubular, de aço carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais
COS-AR-COR	Aços de alta resistência à corrosão atmosférica, especificado pela COSIPA
USI-SAC	Aços de alta resistência à corrosão atmosférica, especificado pela USIMINAS
CSN-COR/ AÇO COR	Aços de alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica, especificado pela CSN

Quadro 61. Principais normas americanas de especificação de aços estruturais (elaboração do próprio autor).

Norma	Tipo de aço
ASTM A36	Aços-carbono - o tipo mais comumente utilizado para estruturas de aço
ASTM A500	Aços-carbono
ASTM A501	Aços para tubos estruturais
ASTM A572	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica
ASTM A992	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica
ASTM A242	Aços de baixa liga, alta resistência mecânica e resistentes contra à corrosão atmosférica
ASTM A588	Aços de baixa liga, alta resistência mecânica e resistentes contra à corrosão atmosférica
ASTM A913	Aços de baixa liga temperados e auto-revenidos
ASTM A307	Conectores de aço de baixo teor de carbono rosqueados externa e internamente
ASTM A325	Parafusos de alta resistência para ligações em estruturas de aço, incluindo porcas adequadas e arruelas planas endurecidas
ASTM A490	Parafusos de alta resistência de aço-liga temperado e revenido, para ligações em estruturas de aço
SAE-1020	Aço utilizado para chumbadores, de resistência $f_y = 250 \text{ Mpa}$ e $f_u = 387 \text{ Mpa}$

A8. Proteção contra incêndio de aços estruturais

O aço, bem como outros materiais estruturais, tem sua resistência e rigidez reduzidas quando submetido a altas temperaturas. A Figura 182 ilustra esta questão,

⁷⁸ Por exemplo, a norma ABNT NBR 7007 especifica quatro tipos de aço: MR250 ($f_y = 250 \text{ MPa}$, $f_u = 400\text{-}560 \text{ MPa}$), AR350 ($f_y = 35 \text{ MPa}$, $f_u = 450 \text{ MPa}$), AR350COR ($f_y = 350 \text{ MPa}$, $f_u = 485 \text{ MPa}$) e AR415 ($f_y = 415 \text{ MPa}$, $f_u = 520 \text{ MPa}$). Da mesma forma, a ASTM A570 especifica seis tipos de aço (grades Gr 30, Gr 33, Gr 36, Gr 40, Gr 45, Gr 50 – com valores de f_y variando de 210 a 340 MPa e f_u variando de 340 a 450 MPa).

mostrando a redução relativa da resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade de materiais estruturais submetidos à elevação de temperaturas.

Figura 182. Redução relativa da resistência e do módulo de elasticidade de materiais estruturais submetidos ao aumento de temperatura (SILVA e PANONNI, 2010).

A evolução das temperaturas atingidas em um incêndio varia dependendo da situação. Apenas para ilustrar genericamente, é sensato afirmar que a temperatura dos gases em um incêndio pode chegar à ordem dos 1000°C. A temperatura dos elementos estruturais expostos ao incêndio, por sua vez, também depende de uma série de fatores (uso ou não de revestimento, posição do elemento, entre outros), mas pode chegar próxima a dos gases quentes. Assim, observa-se que em situações de incêndio pode-se ter uma significativa redução da resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade do aço destes elementos, trazendo sérias implicações em termos de segurança estrutural.

Por esta razão, a norma ABNT NBR 14323:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio fornece recomendações para o dimensionamento das estruturas de aço nesta situação. Maiores detalhes deste assunto fogem ao escopo deste estudo, mas é importante mencionar as implicações que a proteção contra incêndio das estruturas de aço pode apresentar em termos construtivos.

Segundo Silva e Panonni (2010), um sistema de segurança contra incêndio de um edifício consiste em um conjunto de meios ativos (chuveiros automáticos, brigada contra incêndio, sistema de detecção e alarme, etc.) e passivos (resistência ao fogo das estruturas, compartimentação de ambientes, saídas de emergência, etc.). Em se tratando da resistência ao fogo de uma estrutura, pode-se optar por dimensionar a

estrutura para resistir às temperaturas elevadas – o que pode levar a um aumento considerável no peso da estrutura e, por consequência, em seu custo – ou revestir o elemento estrutural com materiais de proteção térmica⁷⁹. Segundo Mauri e Silva (2003), estes materiais devem apresentar, em termos gerais: baixa condutividade térmica, alto calor específico, baixa massa específica aparente, adequada resistência mecânica, garantia de integridade durante a evolução do incêndio e custo compatível.

Os revestimentos para proteção térmica podem ser de tipo contorno (material disposto segundo a superfície da peça) ou tipo caixa (material formando um invólucro sobre a peça). As principais soluções comumente empregadas, de acordo com Silva e Panonni (2010), Dias (1997) e Bellei et al (2008) são:

- Materiais a base de argamassas

Basicamente, destacam-se dois tipos, em geral aplicados por meio de projeção: as argamassas tipo cimentitious e as argamassas a base de fibras. As argamassas projetadas tipo cimentitious são argamassas de gesso ou cimento, que podem ou não receber a adição de vermiculita expandida. No caso de receberem a vermiculita, faz-se necessário o uso de tela metálica sobre a estrutura de aço para melhorar a aderência. As argamassas projetadas à base de fibras são argamassas com adição de fibras minerais de lã de rocha. Os materiais de proteção passiva a base de argamassas costumam resultar em uma superfície rugosa, sem acabamento, apresentar condutividade térmica em torno de 0,2 W/mK, densidade em torno de 300 kg/m³ e espessuras que variam de 1 a 6 cm, dependendo do tempo de resistência ao fogo que se deseje conferir à estrutura.

- Alvenarias

Em geral são utilizados tijolos ou blocos cerâmicos ou de concreto celular. A resistência ao fogo conferida depende da espessura dos blocos e da forma com que são colocados.

- Tintas intumescentes

Trata-se de tintas reativas ao calor, que em temperaturas a partir dos 200°C intumescem, isto é, sofrem expansão volumétrica, tornando-se um material

⁷⁹ No mercado, este tipo de revestimento é denominado simplesmente como “proteção passiva”.

poroso. São aplicadas sobre a superfície das peças de aço, como se fosse uma pintura espessa (espessuras podem variar de 0,25 a 5 mm, dependendo do tempo de resistência ao fogo que se deseje conferir), juntamente com primer e tinta de acabamento adequada. Com isso, oferece um bom acabamento final, mas com a desvantagem de ser um produto de alto custo.

- Mantas

Em geral de materiais fibrocerâmicos ou de lã de rocha, trata-se de mantas flexíveis aplicadas como contorno ou caixa, com fixação por meio de pinos de aço previamente fixados à estrutura ou telas de aço para estruturação. As mantas de lã de rocha apresentam densidade média de 96 kg/m^3 e condutividade térmica em torno de $0,099 \text{ W/mK}$. Já as mantas de material fibrocerâmico apresentam densidade média de 64 kg/m^3 e condutividade térmica em torno de $0,087 \text{ W/mK}$, sendo aplicadas em camadas de 10 a 60 mm. As mantas conferem acabamento rústico à estrutura.

- Painéis rígidos

Painéis rígidos de materiais fibrosos, como a lã de rocha, fibrossilicato ou vermiculita com cimento, para uso como revestimento tipo caixa, presos por meio de parafusos. Os painéis rígidos de lã de rocha, por exemplo, apresentam densidades de 50 a 80 kg/m^3 e propriedades térmicas semelhantes às mantas, também conferindo acabamento rústico à estrutura.

- Placas de gesso acartonado resistente ao fogo (placa rosa)

Solução interessante para uso em áreas internas, não expostas à umidade, e que necessitam de bom acabamento. Também muito utilizado para forros. Possuem condutividade térmica em torno de $0,15 \text{ W/mK}$, com densidade em torno de 68 a 96 kg/m^3 .

- Concreto

O concreto foi um dos primeiros materiais a serem utilizados como proteção passiva de estruturas de aço, inicialmente sem função estrutural e, posteriormente, por meio de elementos estruturais mistos. Apresenta o inconveniente do alto peso específico.

- Combinações de sistemas

São possíveis soluções que combinam mais de um dos sistemas apresentados acima.

Existem ainda outras soluções de proteção contra incêndio das estruturas, como o posicionamento da estrutura na parte externa da edificação ou mesmo o uso de sistemas de refrigeração por água (DIAS, 1997). No entanto, estas soluções são pouco utilizadas se comparadas ao uso de materiais de revestimento para proteção térmica.

A9. Projeto de estruturas de aço para edifícios

De maneira geral, o processo tradicional de projeto de uma estrutura de aço para edifício compreende três atividades distintas (BELLEI et al., 2008 e DIAS, 1997):

1. Projeto de Engenharia ou Projeto Estrutural

Baseando-se no projeto arquitetônico do edifício, o projeto estrutural compreende a concepção da estrutura, definição das cargas atuantes e cálculo dos esforços solicitantes, dimensionamento dos elementos estruturais, com a definição do tipo de aço, das características geométricas e tipos de componentes a serem utilizados, definição e dimensionamento das ligações e definição do plano de cargas nas fundações. Ao final, são produzidos desenhos (em geral esquemas unifilares, mas pode variar dependendo do grau de detalhamento desejado), e pode-se obter uma listagem básica de componentes e uma previsão do peso total da estrutura.

No processo de projeto estrutural, busca-se uma solução ótima para a estrutura, com base em critérios diversos – menor custo total, menor peso, menor tempo de construção, maior facilidade de fabricação e montagem, entre outros – cuja importância deve ser avaliada com base em cada empreendimento e cada cliente. O Projeto Estrutural deve estar inserido no processo de projeto do empreendimento, devendo ser desenvolvido de forma progressiva, integrada e simultânea às demais disciplinas de projeto (arquitetura, instalações, fundações, etc.).

Atualmente, existem duas filosofias de projeto correntemente em uso e reconhecidas pelo American Institute of Steel Construction (AISC): o projeto pelos estados limites (Load and Resistance Factor Design) e o projeto pelas resistências admissíveis

(Allowable Strength Design). No Brasil, o dimensionamento de estruturas de aço para edifícios é normatizado pela ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, que adota a filosofia de projeto pelos estados limites. Assim, as estruturas de aço de edifícios devem ser dimensionadas buscando-se o atendimento aos Estados Limites Últimos e Estados Limites de Serviço, além da estabilidade global da edificação e da resistência contra incêndio.

2. Projeto de Fabricação

Tomando como base o Projeto Estrutural liberado para execução, estuda-se o melhor método e processo para fabricação dos componentes, sendo desenvolvido um Projeto de Fabricação, com o detalhamento de todos os componentes da estrutura. Este projeto contém desenhos com detalhes como linhas de centro, linhas de furação, posicionamento das furações, detalhes das chapas de ligação e do corte de peças. Ainda, são produzidas listas de encomenda de material, estudos para o corte otimizado de chapas, listas de componentes para conexões (como parafusos e eletrodos) tabelas de controle do processo de fabricação e do despacho de peças para a montagem.

3. Projeto ou Diagrama de Montagem

O Projeto de Montagem consiste em uma representação esquemática, sob a forma de diagramas, mostrando o sistema estrutural, numeração ou identificação de cada peça, seu posicionamento e sequência de montagem. Possivelmente, pode ainda fornecer informações complementares como: peso das peças, raio máximo de trabalho do equipamento de montagem, detalhes de procedimentos de montagem, etc.

A10. Vantagens e desvantagens do uso de estruturas de aço para edifícios

A escolha do método construtivo mais adequado para a estrutura de uma obra é uma questão difícil de ser avaliada, sendo comumente realizada por meio de análises simplistas como o comparativo de custos de construção diretamente ligados a produção da estrutura. É difícil comparar de forma assertiva métodos construtivos em termos de custos. Considerando-se o caráter sistêmico de um edifício, a adoção

de um determinado método construtivo para execução da estrutura pode acarretar em implicações para os demais subsistemas, impactar no resultado da obra como um todo ou mesmo trazer ganhos ou perdas intangíveis.

Ao julgar potenciais vantagens e desvantagens oferecidas por um determinado tipo de método construtivo deve-se considerar sua aplicação de maneira contextualizada, isto é, aplicada a um empreendimento específico de certa empresa. Assim, determinado aspecto da estrutura em aço percebido como vantajoso para certo empreendimento pode tornar-se indiferente ou até desvantajoso para outro.

Neste trabalho, identificaram-se quatro características inerentes as estruturas de aço que trazem uma série de implicações. Estas implicações podem ser ou não consideradas vantajosas, devendo ser ponderadas em função do empreendimento em análise.

1. Alta resistência do aço em comparação com outros materiais estruturais

Principais implicações em relações a outros partidos estruturais:

- Estrutura mais leve, o que reduz as cargas nas fundações. Segundo Pinho e Penna (2008), estruturas de aço pesam de 6 a 10 vezes menos do que as estruturas de concreto. Ainda segundo o autor, como as estruturas de concreto representam cerca de 40% do peso próprio da edificação, e o peso próprio representa cerca de 70% da carga total, têm-se uma redução das cargas verticais da ordem de 20%.

Ponderações: essa redução é mais relevante para solos com baixa capacidade de suporte. Quanto maior a influencia de ações horizontais na solicitação das fundações, menor a relevância da redução das cargas de peso próprio.

- Possibilidade de vãos mais amplos com vigas de menor altura, ganhos de pé direito e aumento de área útil por conta de pilares de seção mais esbelta.

Ponderações: para um edifício com alto grau de compartimentação, a possibilidade de vãos amplos pode não ser relevante. Ganhos de pé direito e área devem ser analisados em função dos gabaritos e áreas máximas de construção.

2. Estrutura pré-fabricada com montagem em canteiro de obras

Principais implicações em relações a outros partidos estruturais:

- Redução no tempo de construção, seja por conta da montagem ser um processo relativamente rápido de produzir a estrutura (que constitui caminho crítico da obra), seja pela possibilidade da entrada antecipada dos serviços subsequentes (ausência de escoramentos).

Ponderações: em um empreendimento de base imobiliária, a diminuição no prazo beneficia o resultado financeiro do empreendimento por permitir o início antecipado do recebimento das receitas. Em edifícios residenciais, por outro lado, a diminuição no prazo pode não ser interessante, pois pode acabar por desrespeitar o tempo para formação de poupança dos potenciais compradores. A potencial redução de tempo entre lançamento do empreendimento e fim da construção pode ser vista como um fator de diminuição de riscos inerentes ao produto imobiliário. A redução de prazo de obra acarreta diminuição de custos indiretos.

- Maior limpeza e organização do canteiro de obras decorrente da ausência de entulhos, escoras e fôrmas.
- Maior precisão dimensional dos componentes e menores tolerâncias de montagem acarretando menor consumo de revestimentos e problemas de compatibilização.
- O aço é um material homogêneo de produção controlada, possibilitando maior garantia de qualidade. As próprias estruturas são fabricadas em ambiente industrial, o que favorece o controle do processo.
- Em comparação a outras estruturas pré-fabricadas, a estrutura em aço além de ser mais leve apresenta a vantagem de permitir emendas, facilitando o içamento de peças e montagem de vigas grandes.

3. Componentes em aço são mais caros quando comparados aos de outros tipos de materiais, e há maior necessidade de mão de obra especializada para produção da estrutura. Ainda, há aumento de tributação e necessidade de desembolso antecipado (sinal), por se tratar de pré-fabricado.

Principais implicações em relações a outros partidos estruturais:

- Maiores custos diretos de material e mão de obra.

Ponderações: os ganhos de custo e financeiros obtidos por conta dos outros aspectos mencionados podem compensar ou mesmo superar os maiores custos com material e mão de obra. Deve-se atentar também para ganhos/perdas de custo nos outros subsistemas da edificação, por conta da interface com a estrutura de aço. Em se tratando de estrutura mista, deve-se considerar a provável perda do poder de barganha do construtor em relação ao preço da mão de obra e material para execução das peças em concreto, por conta da redução significativa no volume de concreto quando comparado à estrutura convencional. Deve-se atentar para a disponibilidade dos componentes e da mão de obra especializada no local da construção.

- A estrutura em aço, bem como outras tecnologias industrializadas utilizadas na construção, está sujeita a tributação múltipla para os diferentes agentes da cadeia: fornecedor de material/ beneficiador/ montador/ construtor. Diminuição de mão de obra no canteiro não beneficia abatimento de ISS (se calculado em função da área do empreendimento) do construtor.
- A estrutura em aço, bem como outras tecnologias industrializadas utilizadas na construção, em geral exige do cliente o pagamento antecipado de parte do custo do serviço para financiar a fabricação dos componentes. Assim, do ponto de vista financeiro, a curva de desembolso é desfavorável quando comparada a de estruturas moldadas in loco.

4. O aço é um material 100% reciclável e as estruturas apresentam maior facilidade em desmontar, reforçar, substituir elementos e realizar ampliações.

Principais implicações em relações a outros partidos estruturais:

- Estrutura mais flexível e sustentável nas fases de uso e pós-ocupação.

APÊNDICE B

Entrevistas semiestruturadas

Este apêndice apresenta o roteiro seguido na realização das entrevistas semiestruturadas para levantamento de potenciais fatores influenciadores da produtividade no serviço de montagem de estrutura de aço para edifícios, bem como uma tabulação das informações obtidas.

B1. Roteiro

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL
GRUPO DE PESQUISA: TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO

ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA PARA LEVANTAMENTO DE FATORES POTENCIALMENTE INFLUENTES NA PRODUTIVIDADE DA MONTAGEM DE ESTRUTURAS DE AÇO PARA EDIFÍCIOS

Pesquisa para Dissertação de Mestrado “Produtividade na Montagem de Estruturas de Aço para Edifícios”

AUTOR. Eng. Caio Mingione

ORIENTADOR. Prof. Dr. Ubiraci Espinelli Lemes de Souza

OBJETIVO: fazer um levantamento preliminar, com base na opinião de profissionais com experiência na área de montagem de estruturas de aço para edifícios, dos fatores potencialmente influenciadores na produtividade da mão de obra, dos equipamentos e das perdas de material nessa atividade.

DADOS:

1. Nome completo:
2. Empresa:
3. Porte da Empresa (pequeno/ médio/grande):
4. Cargo:
5. Tempo de experiência:
6. Número de obras que já participou na montagem de estruturas de aço:

PERGUNTA:

Em sua opinião, quais são os fatores que podem afetar a produtividade da montagem de estruturas de aço de edifícios de múltiplos pavimentos?

FATOR	COMO AFETA A PRODUTIVIDADE (MELHORA/PIORA)	QUEM AFETA? (MÃO DE OBRA, PERDA DE MATERIAL, EQUIPAMENTOS)

IMPORTANTE:

- Focar na montagem de EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS;
- Buscar levantar fatores de CONTEÚDO e de CONTEXTO.
- Buscar entender o PORQUÊ da influência destes fatores.
- Buscar entender como estes fatores afetam MÃO DE OBRA, MATERIAIS e EQUIPAMENTOS.

B2. Tabulação das informações obtidas

Tabela 62. Tabulação das informações obtidas nas entrevistas (elaboração do próprio autor).

Entrevistado	Qualificação	Anormalidades	Fatores de Contexto	Fatores de Conteúdo
Alexandre Luiz Vasconcellos	Diretor Geral da Método Estruturas	Vento extremo	Peças carregadas no sentido inverso do descarregamento	Peso da peça
		Chuva	Existência de projeto de montagem	Comprimento da peça
			Acessos da obra	Tipo de ligação: soldada/parafusada
				Geometria da estrutura
Paulo Aridan Soares Mingione	Diretor Regional da Odebrecht Realizações Imobiliárias	Chuva	Projetos prontos com antecedencia	Montagem do core antes ou depois do reticulado
		Mudanças de projeto	Logística de recebimento do material	Sequencia de execução
			Tamanho da equipe	Existencia de peças mistas aço-concreto
			Distancia do fornecedor para obra	Tipo de ligação: soldada/parafusada
				Tamanho das peças
				Soluções de ligações nas fundações e no core
				Tipo de proteção passiva
				Espessura da laje x quantidade de vigas intermediárias
			Existencia de andares tipo	
Bart Frans Moerman	Gerente de Obras da Odebrecht Realizações Imobiliárias (The One)	Chuva	Chegada das peças de forma sequencial	Tipo/ dimensionamento de equipamento para içamento
		Vento		Existencia de guindaste de apoio
		Atraso nas concretagens de peças mistas		Altura do prédio
				Saída do núcleo antes ou depois
				Distancia do núcleo para reticulado
				Tipo de ligação: soldada/parafusada
				Numero de pavimentos possíveis acima do concretado
				Colocação parcial de parafusos para liberação da grua
Roberval Vittorio	Mestre-de-obras da Odebrecht Realizações Imobiliárias (The One)	Tempo (vento, chuva)	Logística de obra - sequencia de entrega de acordo com montagem	Viga de partida ou viga de bordo
				Geometria do prédio
				Altura do prédio
				Ligações (pouco)
Wilson Ramos	Diretor da Eleve Construções Metálicas	Intempéries: chuvas e ventos	Condição física e psicologica do operário	Contaventado x aporticado
			Exigências de segurança do trabalho	Comprimento do prédio
			Grau de industrialização da obra	Tipo de ligação: soldada/parafusada
			Canteiro amplo/ Buffer	Detalhes construtivos que permitam melhores tolerâncias e ajustes
			Logistica de descarregamento das peças	Qualidade na fabricação dos elementos
			Capacitação técnica dos operários	
			Layout do canteiro	
			Equipe de gestão da obra	

APÊNDICE C

Planilhas de coleta e processamento de dados dos Estudos de Caso

C1. RJ01

Tabela 63. Dados coletados – Mão de Obra – Obra RJ01 (elaboração do próprio autor).

	MÃO DE OBRA				
	OFICIAL	AJUDANTE	SOLDADOR	MO GLOBAL	MO ADM
DIAS	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh
01/10/2014	234	68	70	372	141
02/10/2014	210	58	56	324	121
03/10/2014	211	73	74	358	113
04/10/2014	100	50	50	200	53
06/10/2014	147	74	53	274	96
07/10/2014	184	86	52	322	119
08/10/2014	208	60	60	328	151
09/10/2014	217	60	60	337	147
10/10/2014	185	74	43	302	128
11/10/2014	127	42	21	190	48
13/10/2014	175	50	57	282	116
14/10/2014	304	88	69	461	140
15/10/2014	283	84	64	431	132
16/10/2014	291	84	64	439	121
17/10/2014	274	75	45	394	92
18/10/2014	140	52	40	232	39
21/10/2014	266	75	45	386	141
22/10/2014	274	83	54	411	141
23/10/2014	284	84	64	432	150
24/10/2014	300	92	61	453	142
25/10/2014	193	47	40	280	68
27/10/2014	247	75	55	377	123
28/10/2014	279	54	64	397	123
29/10/2014	289	56	64	409	136
30/10/2014	280	47	63	390	118
31/10/2014	246	66	69	381	103
01/11/2014	147	42	45	234	53
03/11/2014	205	57	55	317	88
04/11/2014	216	49	48	313	120

05/11/2014	224	49	48	321	128
06/11/2014	240	65	48	353	128
07/11/2014	202	64	35	301	130
08/11/2014	136	60	16	212	72
10/11/2014	161	47	27	235	104
11/11/2014	207	73	36	316	104
12/11/2014	252	81	45	378	122
13/11/2014	247	81	36	364	121
14/11/2014	222	63	36	321	102
15/11/2014	168	40	24	232	48
17/11/2014	216	56	40	312	112
18/11/2014	248	72	48	368	120
19/11/2014	248	72	48	368	120
20/11/2014	252	64	32	348	112
21/11/2014	235	72	36	343	97
22/11/2014	209	58	32	299	64
24/11/2014	208	64	40	312	104
25/11/2014	240	64	48	352	128
26/11/2014	248	64	48	360	112
27/11/2014	232	64	48	344	112
28/11/2014	208	65	54	327	96
29/11/2014	148	50	39	237	63
01/12/2014	185	61	53	299	85
02/12/2014	237	70	53	360	112
03/12/2014	245	70	53	368	121
04/12/2014	243	61	53	357	122
05/12/2014	190	58	38	286	116
06/12/2014	121	45	24	190	53
08/12/2014	167	53	27	247	94
09/12/2014	211	70	45	326	111
10/12/2014	221	79	45	345	122
11/12/2014	237	79	45	361	123
12/12/2014	279	76	40	395	142
13/12/2014	192	48	24	264	81
15/12/2014	255	70	36	361	130
16/12/2014	248	71	32	351	135
17/12/2014	258	79	36	373	142
18/12/2014	224	63	35	322	142
19/12/2014	214	73	24	311	135
20/12/2014	115	40	15	170	41
22/12/2014	216	83	36	335	139
23/12/2014	160	48	32	240	104
26/12/2014	16	16	0	32	0
27/12/2014	14	21	0	35	0
29/12/2014	104	48	16	168	64

30/12/2014	104	48	16	168	64
02/01/2015	104	40	16	160	56
03/01/2015	112	32	24	168	24
05/01/2015	218	67	28	313	105
06/01/2015	246	89	35	370	106
07/01/2015	261	94	44	399	113
09/01/2015	287	92	57	436	125
10/01/2015	181	64	37	282	64
12/01/2015	250	70	50	370	101
13/01/2015	252	83	40	375	101
14/01/2015	260	80	50	390	109
15/01/2015	244	62	42	348	115
16/01/2015	217	59	41	317	105
17/01/2015	152	16	24	192	56
19/01/2015	210	46	38	294	83
20/01/2015	357	68	51	476	168
21/01/2015	250	56	44	350	101
22/01/2015	273	64	46	383	124
23/01/2015	228	70	44	342	88
24/01/2015	160	32	16	208	26
26/01/2015	228	56	28	312	86
27/01/2015	234	57	26	317	106
28/01/2015	230	65	26	321	124
29/01/2015	208	60	34	302	124
30/01/2015	194,19	54	34	282	98
31/01/2015	132,4	34	16	183	56
02/02/2015	190	46	38	274	78
03/02/2015	220	64	48	332	116
04/02/2015	220	50	38	308	116
05/02/2015	174	40	32	246	104
06/02/2015	188	42	40	270	124
07/02/2015	134	28	16	178	64
09/02/2015	200	40	40	280	90
10/02/2015	240	50	40	330	106
11/02/2015	248	58	40	346	102
12/02/2015	239	71	40	350	94
13/02/2015	218	56	38	312	81
14/02/2015	128	32	24	184	32
16/02/2015	136	40	24	200	45
17/02/2015	171	36	27	234	36
18/02/2015	208	40	32	280	72
19/02/2015	256	50	38	344	94
20/02/2015	221,3	65	30	316	77
21/02/2015	144	40	16	200	40
23/02/2015	230	52	30	312	68

24/02/2015	234	86	20	340	77
25/02/2015	248	90	30	368	94
26/02/2015	233	89	30	352	96
27/02/2015	192	80	20	292	85
28/02/2015	136	56	16	208	40
02/03/2015	215	80	18	313	78
03/03/2015	258	80	45	383	79
04/03/2015	260	90	54	404	79
05/03/2015	251	90	54	395	97
06/03/2015	250	97	60	407	106
07/03/2015	184	49	40	273	56

TOTAIS	27.437,39	8.020,30	5.155,50	40.613,19	12.726,45
---------------	------------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------

Tabela 64. Dados coletados – Equipamentos e QS – RJ01 (elaboração do próprio autor).

	EQUIPAMENTO			QUANTIDADE DE SERVIÇO				
	GRUA 1	GRUA 2	GRUA 3	PESO	PILAR	VIGAS	OUTROS	PEÇAS
DIAS	Eq.h	Eq.h	Eq.h	t	unid	unid	unid	unid
01/10/2014	11,75	14,25	4,75	7,2	1	21	0	22
02/10/2014	13,00	20,00	9,00	4,9	2	12	0	14
03/10/2014	9,75	10,00	2,75	13,2	2	43	0	45
04/10/2014	8,00	7,25	4,50	8,0	0	33	0	33
06/10/2014	10,00	19,00	10,00	11,8	0	40	0	40
07/10/2014	13,00	11,75	11,00	21,9	11	30	0	41
08/10/2014	10,00	15,00	9,50	20,0	3	60	0	63
09/10/2014	15,50	8,75	10,25	21,3	5	63	0	68
10/10/2014	16,00	14,00	10,50	17,7	15	52	1	68
11/10/2014	16,00	8,00	8,00	5,7	0	21	5	26
13/10/2014	10,50	8,25	10,50	8,5	0	47	0	47
14/10/2014	13,00	5,00	6,00	7,1	0	23	5	28
15/10/2014	14,00	8,50	8,50	4,5	0	14	3	17
16/10/2014	13,00	19,00	7,00	7,6	2	17	4	23
17/10/2014	16,00	16,25	7,75	9,6	6	10	0	16
18/10/2014	0,50	5,00	8,00	2,3	7	3	3	13
21/10/2014	0,50	11,25	6,00	4,9	0	43	0	43
22/10/2014	10,00	19,00	8,50	27,0	17	47	0	64
23/10/2014	10,50	10,50	10,50	12,7	4	30	0	34
24/10/2014	10,75	17,00	10,00	12,8	0	62	0	62
25/10/2014	6,00	7,50	8,00	17,2	9	35	0	44
27/10/2014	3,75	16,00	15,00	21,9	7	68	0	75

28/10/2014	10,25	13,25	10,00
29/10/2014	3,50	12,25	10,00
30/10/2014	10,75	6,25	4,50
31/10/2014	16,00	13,50	1,00
01/11/2014	13,00	8,00	2,50
03/11/2014	15,25	13,00	8,75
04/11/2014	16,00	13,00	9,25
05/11/2014	16,00	13,50	9,00
06/11/2014	16,00	16,75	13,00
07/11/2014	12,75	17,00	9,00
08/11/2014	12,00	12,00	7,50
10/11/2014	15,00	12,00	9,00
11/11/2014	16,00	9,00	9,00
12/11/2014	12,00	14,00	9,00
13/11/2014	15,50	17,00	9,00
14/11/2014	16,00	5,00	7,75
15/11/2014	8,50	7,50	8,00
17/11/2014	16,00	18,00	9,00
18/11/2014	16,00	14,75	9,00
19/11/2014	16,00	11,50	9,00
20/11/2014	11,00	9,50	8,00
21/11/2014	14,50	2,50	9,00
22/11/2014	4,50	10,00	8,00
24/11/2014	10,00	12,00	8,75
25/11/2014	14,25	18,00	9,00
26/11/2014	16,00	18,00	15,25
27/11/2014	16,00	15,00	15,25
28/11/2014	16,00	8,00	5,75
29/11/2014	11,75	12,00	8,50
01/12/2014	16,00	13,25	10,00
02/12/2014	16,00	15,75	7,50
03/12/2014	15,50	16,75	10,00
04/12/2014	16,00	17,00	11,00
05/12/2014	16,25	16,00	10,00
06/12/2014	13,00	10,00	8,00
08/12/2014	16,00	11,00	9,50
09/12/2014	16,00	9,25	9,75
10/12/2014	12,25	11,00	5,50
11/12/2014	16,00	11,25	14,75
12/12/2014	13,00	11,50	14,00
13/12/2014	12,00	0,50	7,50
15/12/2014	16,00	9,50	8,25
16/12/2014	16,00	9,00	17,50
17/12/2014	16,00	10,00	15,25
18/12/2014	14,00	10,00	10,00

7,9	0	54	0	54
9,5	0	74	0	74
5,7	0	21	0	21
12,1	7	27	0	34
13,0	2	34	0	36
10,3	0	53	0	53
21,3	0	76	0	76
13,4	1	71	0	72
19,5	5	46	0	51
14,3	5	33	1	39
13,8	8	24	0	32
12,8	5	43	5	53
13,8	1	49	3	53
9,9	0	60	0	60
14,6	2	37	2	41
9,4	6	18	0	24
11,6	9	18	0	27
20,5	2	56	4	62
17,6	6	40	0	46
9,3	1	26	0	27
4,8	4	12	1	17
10,4	0	55	0	55
13,2	0	65	0	65
16,8	11	39	3	53
16,7	3	46	0	49
23,0	10	86	0	96
11,4	9	50	0	59
4,6	0	30	0	30
18,0	3	69	0	72
18,0	4	66	2	72
21,4	5	67	3	75
17,6	5	60	1	66
16,0	5	39	6	50
12,9	2	38	0	40
13,9	0	39	0	39
21,4	6	114	2	122
10,3	4	65	0	69
23,1	12	46	7	65
8,1	1	21	5	27
20,2	13	56	0	69
15,5	6	32	0	38
8,7	13	49	2	64
25,5	2	79	7	88
8,1	5	35	0	40
14,1	0	46	3	49

19/12/2014	8,00	4,00	8,00	22,5	12	30	5	47
20/12/2014	8,00	5,00	5,00	2,0	0	20	0	20
22/12/2014	11,50	10,00	10,00	10,3	4	20	2	26
23/12/2014	5,00	7,00	8,00	9,0	3	34	0	37
26/12/2014	0,00	9,00	8,00	5,2	0	20	0	20
27/12/2014	0,00	8,00	0,00	5,2	2	17	0	19
29/12/2014	10,00	9,00	9,00	18,9	19	34	0	53
30/12/2014	9,00	9,00	8,75	12,1	10	15	6	31
02/01/2015	9,00	8,00	7,50	8,2	0	36	1	37
03/01/2015	7,75	8,00	8,00	7,9	1	34	0	35
05/01/2015	10,00	9,50	10,00	13,1	0	61	3	64
06/01/2015	16,00	10,00	11,00	19,3	3	55	6	64
07/01/2015	16,00	11,00	10,75	10,5	1	60	0	61
09/01/2015	15,00	0,50	11,00	15,7	8	46	2	56
10/01/2015	13,00	3,50	8,00	10,4	0	26	0	26
12/01/2015	15,00	10,75	10,75	16,5	4	66	2	72
13/01/2015	15,00	7,50	11,50	7,0	0	24	0	24
14/01/2015	14,25	11,00	11,00	19,2	7	45	4	56
15/01/2015	15,00	11,00	11,00	13,6	3	41	8	52
16/01/2015	15,00	11,00	10,00	19,5	0	66	16	82
17/01/2015	13,00	8,00	7,25	15,1	0	48	5	53
19/01/2015	15,00	11,00	8,75	15,6	5	40	6	51
20/01/2015	15,50	9,00	9,00	24,5	8	52	1	61
21/01/2015	15,00	13,00	0,50	11,7	2	45	6	53
22/01/2015	14,75	11,00	11,00	19,0	13	55	0	68
23/01/2015	15,00	10,00	10,00	11,8	3	55	3	61
24/01/2015	13,00	9,00	0,50	16,1	4	48	0	52
26/01/2015	9,00	11,00	9,25	13,5	0	68	0	68
27/01/2015	16,00	9,25	11,00	15,6	0	54	8	62
28/01/2015	16,00	11,25	10,75	20,9	13	53	9	75
29/01/2015	14,75	14,00	11,00	15,8	3	48	6	57
30/01/2015	16,00	14,00	9,50	9,5	0	30	4	34
31/01/2015	6,25	6,50	6,50	10,6	3	43	2	48
02/02/2015	14,25	14,00	11,00	13,1	2	69	5	76
03/02/2015	16,00	14,00	13,50	8,1	2	34	3	39
04/02/2015	15,75	4,50	11,00	17,6	10	40	1	51
05/02/2015	15,50	9,00	9,00	15,7	6	51	3	60
06/02/2015	16,00	10,00	9,50	13,6	7	34	2	43
07/02/2015	11,00	8,00	8,00	13,0	13	26	4	43
09/02/2015	15,00	14,00	11,00	17,1	3	65	1	69
10/02/2015	16,00	14,00	11,00	17,7	3	61	4	68
11/02/2015	16,00	13,50	11,00	11,9	0	56	1	57
12/02/2015	16,00	14,00	10,50	19,5	4	57	2	63
13/02/2015	11,00	10,00	10,00	8,2	2	31	8	41
14/02/2015	8,00	8,00	8,00	7,4	0	24	5	29

16/02/2015	10,50	9,00	0,50	8,2	3	16	4	23
17/02/2015	9,00	9,00	0,50	10,0	3	32	0	35
18/02/2015	9,00	8,00	0,50	12,1	1	25	3	29
19/02/2015	16,00	11,00	11,00	21,8	5	59	8	72
20/02/2015	15,50	6,75	0,50	2,6	0	23	0	23
21/02/2015	13,00	5,75	0,50	15,4	14	38	1	53
23/02/2015	16,00	10,25	0,50	7,6	1	24	3	28
24/02/2015	16,00	11,00	0,50	19,7	7	76	0	83
25/02/2015	16,00	10,25	0,50	14,6	4	64	0	68
26/02/2015	16,00	11,00	2,50	19,9	1	76	4	81
27/02/2015	15,75	9,50	0,50	5,3	0	34	0	34
28/02/2015	0,50	8,00	1,50	6,9	0	12	18	30
02/03/2015	15,25	10,00	0,50	12,6	1	34	0	35
03/03/2015	16,00	10,00	0,50	9,7	2	23	0	25
04/03/2015	16,00	10,00	0,50	13,9	4	39	3	46
05/03/2015	16,00	10,00	9,25	13,7	0	46	3	49
06/03/2015	14,25	9,75	4,00	3,6	0	37	5	42
07/03/2015	11,00	8,00	0,50	4,1	0	12	9	21

1.662,00 1.405,25 1.045,75

1.711,87 503,00 5.545,00 283,00 6.331,00

Tabela 65. Dados processados – RJ01 (elaboração do próprio autor).

INDICADORES DE PRODUTIVIDADE															
RUPof, peso					RUPof, peça				EfE, peso				EfE, peça		
DIAS	DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT
01/10/2014	32,36	32,36	-	11,88	10,64	10,64	-	3,33	4,25	4,25	-	1,84	1,40	1,40	0,53
02/10/2014	43,13	36,69	-	11,88	15,00	12,33	-	3,33	8,63	6,01	-	1,84	3,00	2,02	0,53
03/10/2014	15,97	25,88	15,97	11,88	4,69	8,09	-	3,33	1,70	3,76	1,70	1,84	0,50	1,18	0,50
04/10/2014	12,52	22,67	12,52	11,88	3,03	6,62	3,03	3,33	2,47	3,45	-	1,84	0,60	1,01	0,60
06/10/2014	12,41	19,98	12,41	11,88	3,68	5,86	3,68	3,33	3,29	3,41	-	1,84	0,98	1,00	-
07/10/2014	8,40	16,20	8,40	11,88	4,49	5,57	-	3,33	1,63	2,83	1,63	1,84	0,87	0,97	-
08/10/2014	10,41	14,87	10,41	11,88	3,30	5,02	3,30	3,33	1,73	2,58	1,73	1,84	0,55	0,87	0,55
09/10/2014	10,21	13,95	10,21	11,88	3,19	4,63	3,19	3,33	1,62	2,39	1,62	1,84	0,51	0,79	0,51
10/10/2014	10,42	13,46	10,42	11,88	2,72	4,30	2,72	3,33	2,28	2,37	2,28	1,84	0,60	0,76	0,60
11/10/2014	22,33	13,84	-	11,88	4,88	4,34	-	3,33	5,63	2,51	-	1,84	1,23	0,79	-
13/10/2014	20,47	14,24	-	11,88	3,72	4,28	3,72	3,33	3,42	2,57	-	1,84	0,62	0,77	0,62
14/10/2014	42,80	15,62	-	11,88	10,86	4,65	-	3,33	3,38	2,61	-	1,84	0,86	0,78	-
15/10/2014	62,60	17,02	-	11,88	16,65	5,05	-	3,33	6,86	2,74	-	1,84	1,82	0,81	-
16/10/2014	38,15	18,03	-	11,88	12,65	5,38	-	3,33	5,11	2,85	-	1,84	1,70	0,85	-
17/10/2014	28,58	18,63	-	11,88	17,13	5,72	-	3,33	4,17	2,92	-	1,84	2,50	0,90	-

18/10/2014	60,11	19,19	-	11,88	10,77	5,83	-	3,33	5,80	2,96	-	1,84	1,04	0,90	-	0,53
21/10/2014	54,80	20,17	-	11,88	6,19	5,86	-	3,33	3,66	2,98	-	1,84	0,41	0,87	0,41	0,53
22/10/2014	10,16	18,84	10,16	11,88	4,28	5,71	4,28	3,33	1,39	2,77	1,39	1,84	0,59	0,84	0,59	0,53
23/10/2014	22,30	19,05	-	11,88	8,35	5,84	-	3,33	2,47	2,75	-	1,84	0,93	0,84	-	0,53
24/10/2014	23,36	19,29	-	11,88	4,83	5,75	-	3,33	2,94	2,76	-	1,84	0,61	0,82	0,61	0,53
25/10/2014	11,23	18,73	11,23	11,88	4,39	5,68	-	3,33	1,25	2,66	1,25	1,84	0,49	0,81	0,49	0,53
27/10/2014	11,25	18,11	11,25	11,88	3,29	5,48	3,29	3,33	1,58	2,57	1,58	1,84	0,46	0,78	0,46	0,53
28/10/2014	35,42	18,61	-	11,88	5,17	5,46	-	3,33	4,25	2,62	-	1,84	0,62	0,77	0,62	0,53
29/10/2014	30,40	19,00	-	11,88	3,91	5,35	3,91	3,33	2,71	2,62	-	1,84	0,35	0,74	0,35	0,53
30/10/2014	49,48	19,59	-	11,88	13,33	5,51	-	3,33	3,80	2,64	-	1,84	1,02	0,74	-	0,53
31/10/2014	20,40	19,63	-	11,88	7,24	5,56	-	3,33	2,53	2,64	-	1,84	0,90	0,75	-	0,53
01/11/2014	11,31	19,28	11,31	11,88	4,08	5,52	4,08	3,33	1,81	2,61	1,81	1,84	0,65	0,75	-	0,53
03/11/2014	19,94	19,30	-	11,88	3,87	5,44	3,87	3,33	3,60	2,64	-	1,84	0,70	0,74	-	0,53
04/11/2014	10,13	18,74	10,13	11,88	2,84	5,28	2,84	3,33	1,79	2,59	1,79	1,84	0,50	0,73	0,50	0,53
05/11/2014	16,68	18,66	-	11,88	3,11	5,16	3,11	3,33	2,87	2,60	-	1,84	0,53	0,72	0,53	0,53
06/11/2014	12,30	18,34	12,30	11,88	4,71	5,14	-	3,33	2,35	2,58	2,35	1,84	0,90	0,72	-	0,53
07/11/2014	14,10	18,18	14,10	11,88	5,18	5,14	-	3,33	2,70	2,59	-	1,84	0,99	0,73	-	0,53
08/11/2014	9,86	17,90	9,86	11,88	4,25	5,12	4,25	3,33	2,28	2,58	2,28	1,84	0,98	0,74	-	0,53
10/11/2014	12,59	17,74	12,59	11,88	3,04	5,05	3,04	3,33	2,81	2,58	-	1,84	0,68	0,74	-	0,53
11/11/2014	15,04	17,66	15,04	11,88	3,91	5,01	3,91	3,33	2,47	2,58	-	1,84	0,64	0,73	0,64	0,53
12/11/2014	25,53	17,83	-	11,88	4,20	4,98	4,20	3,33	3,55	2,60	-	1,84	0,58	0,73	0,58	0,53
13/11/2014	16,88	17,80	-	11,88	6,02	5,01	-	3,33	2,84	2,61	-	1,84	1,01	0,73	-	0,53
14/11/2014	23,51	17,92	-	11,88	9,25	5,07	-	3,33	3,04	2,62	-	1,84	1,20	0,74	-	0,53
15/11/2014	14,46	17,83	14,46	11,88	6,22	5,09	-	3,33	2,07	2,60	2,07	1,84	0,89	0,74	-	0,53
17/11/2014	10,52	17,53	10,52	11,88	3,48	5,03	3,48	3,33	2,09	2,58	2,09	1,84	0,69	0,74	-	0,53
18/11/2014	14,12	17,42	14,12	11,88	5,39	5,04	-	3,33	2,26	2,57	2,26	1,84	0,86	0,74	-	0,53
19/11/2014	26,59	17,58	-	11,88	9,19	5,10	-	3,33	3,91	2,60	-	1,84	1,35	0,75	-	0,53
20/11/2014	52,72	17,89	-	11,88	14,82	5,19	-	3,33	5,96	2,63	-	1,84	1,68	0,76	-	0,53
21/11/2014	22,65	17,98	-	11,88	4,27	5,16	4,27	3,33	2,51	2,62	-	1,84	0,47	0,75	0,47	0,53
22/11/2014	15,81	17,93	15,81	11,88	3,22	5,10	3,22	3,33	1,70	2,60	1,70	1,84	0,35	0,74	0,35	0,53
24/11/2014	12,36	17,77	12,36	11,88	3,92	5,07	3,92	3,33	1,83	2,58	1,83	1,84	0,58	0,74	0,58	0,53
25/11/2014	14,40	17,67	14,40	11,88	4,90	5,06	-	3,33	2,48	2,58	-	1,84	0,84	0,74	-	0,53
26/11/2014	10,77	17,42	10,77	11,88	2,58	4,95	2,58	3,33	2,14	2,56	2,14	1,84	0,51	0,73	0,51	0,53
27/11/2014	20,37	17,47	-	11,88	3,93	4,93	3,93	3,33	4,06	2,59	-	1,84	0,78	0,73	-	0,53
28/11/2014	45,24	17,67	-	11,88	6,93	4,95	-	3,33	6,47	2,62	-	1,84	0,99	0,73	-	0,53
29/11/2014	8,24	17,41	8,24	11,88	2,06	4,86	2,06	3,33	1,80	2,59	1,80	1,84	0,45	0,72	0,45	0,53
01/12/2014	10,30	17,22	10,30	11,88	2,57	4,79	2,57	3,33	2,18	2,58	2,18	1,84	0,55	0,72	0,55	0,53
02/12/2014	11,08	17,03	11,08	11,88	3,16	4,74	3,16	3,33	1,84	2,56	1,84	1,84	0,52	0,71	0,52	0,53
03/12/2014	13,89	16,95	13,89	11,88	3,71	4,72	3,71	3,33	2,40	2,56	2,40	1,84	0,64	0,71	0,64	0,53
04/12/2014	15,20	16,91	15,20	11,88	4,86	4,72	-	3,33	2,75	2,56	-	1,84	0,88	0,71	-	0,53
05/12/2014	14,69	16,87	14,69	11,88	4,75	4,72	-	3,33	3,27	2,57	-	1,84	1,06	0,72	-	0,53
06/12/2014	8,71	16,72	8,71	11,88	3,10	4,70	3,10	3,33	2,23	2,57	2,23	1,84	0,79	0,72	-	0,53
08/12/2014	7,80	16,47	7,80	11,88	1,37	4,55	1,37	3,33	1,71	2,54	1,71	1,84	0,30	0,70	0,30	0,53
09/12/2014	20,46	16,52	-	11,88	3,06	4,51	3,06	3,33	3,39	2,55	-	1,84	0,51	0,70	0,51	0,53
10/12/2014	9,57	16,32	9,57	11,88	3,40	4,49	3,40	3,33	1,25	2,52	1,25	1,84	0,44	0,69	0,44	0,53

11/12/2014	29,27	16,45	-	11,88	8,78	4,53	-	3,33	5,19	2,54	-	1,84	1,56	0,70	-	0,53
12/12/2014	13,82	16,39	13,82	11,88	4,04	4,52	4,04	3,33	1,91	2,53	1,91	1,84	0,56	0,70	0,56	0,53
13/12/2014	12,41	16,32	12,41	11,88	5,05	4,52	-	3,33	1,29	2,50	1,29	1,84	0,53	0,69	0,53	0,53
15/12/2014	29,15	16,45	-	11,88	3,98	4,51	3,98	3,33	3,86	2,52	-	1,84	0,53	0,69	0,53	0,53
16/12/2014	9,71	16,25	9,71	11,88	2,82	4,47	2,82	3,33	1,66	2,49	1,66	1,84	0,48	0,69	0,48	0,53
17/12/2014	32,00	16,39	-	11,88	6,45	4,49	-	3,33	5,12	2,52	-	1,84	1,03	0,69	-	0,53
18/12/2014	15,91	16,39	15,91	11,88	4,57	4,49	-	3,33	2,41	2,52	-	1,84	0,69	0,69	-	0,53
19/12/2014	9,52	16,22	9,52	11,88	4,55	4,49	-	3,33	0,89	2,48	0,89	1,84	0,43	0,69	0,43	0,53
20/12/2014	58,97	16,31	-	11,88	5,75	4,50	-	3,33	9,23	2,49	-	1,84	0,90	0,69	-	0,53
22/12/2014	21,02	16,36	-	11,88	8,31	4,53	-	3,33	3,06	2,50	-	1,84	1,21	0,69	-	0,53
23/12/2014	17,84	16,38	-	11,88	4,32	4,53	4,32	3,33	2,23	2,49	2,23	1,84	0,54	0,69	0,54	0,53
26/12/2014	3,11	16,30	3,11	11,88	0,80	4,51	0,80	3,33	3,30	2,50	-	1,84	0,85	0,69	-	0,53
27/12/2014	2,69	16,23	2,69	11,88	0,74	4,49	0,74	3,33	1,54	2,49	1,54	1,84	0,42	0,69	0,42	0,53
29/12/2014	5,51	16,02	5,51	11,88	1,96	4,45	1,96	3,33	1,48	2,47	1,48	1,84	0,53	0,69	0,53	0,53
30/12/2014	8,59	15,93	8,59	11,88	3,35	4,44	3,35	3,33	2,21	2,47	2,21	1,84	0,86	0,69	-	0,53
02/01/2015	12,73	15,90	12,73	11,88	2,81	4,42	2,81	3,33	3,00	2,47	-	1,84	0,66	0,69	-	0,53
03/01/2015	14,16	15,89	14,16	11,88	3,20	4,41	3,20	3,33	3,00	2,48	-	1,84	0,68	0,69	-	0,53
05/01/2015	16,60	15,90	-	11,88	3,41	4,39	3,41	3,33	2,25	2,48	2,25	1,84	0,46	0,68	0,46	0,53
06/01/2015	12,76	15,84	12,76	11,88	3,84	4,38	3,84	3,33	1,92	2,47	1,92	1,84	0,58	0,68	0,58	0,53
07/01/2015	24,82	15,93	-	11,88	4,28	4,38	4,28	3,33	3,59	2,48	-	1,84	0,62	0,68	0,62	0,53
09/01/2015	18,33	15,97	-	11,88	5,13	4,39	-	3,33	1,69	2,46	1,69	1,84	0,47	0,68	0,47	0,53
10/01/2015	17,39	15,98	-	11,88	6,96	4,41	-	3,33	2,35	2,46	2,35	1,84	0,94	0,68	-	0,53
12/01/2015	15,17	15,97	15,17	11,88	3,47	4,39	3,47	3,33	2,22	2,46	2,22	1,84	0,51	0,68	0,51	0,53
13/01/2015	35,95	16,10	-	11,88	10,50	4,43	-	3,33	4,85	2,48	-	1,84	1,42	0,68	-	0,53
14/01/2015	13,57	16,05	13,57	11,88	4,64	4,43	-	3,33	1,89	2,47	1,89	1,84	0,65	0,68	0,65	0,53
15/01/2015	17,93	16,08	-	11,88	4,69	4,43	-	3,33	2,72	2,47	-	1,84	0,71	0,68	-	0,53
16/01/2015	11,14	15,99	11,14	11,88	2,65	4,40	2,65	3,33	1,85	2,46	1,85	1,84	0,44	0,68	0,44	0,53
17/01/2015	10,10	15,92	10,10	11,88	2,87	4,38	2,87	3,33	1,88	2,45	1,88	1,84	0,53	0,67	0,53	0,53
19/01/2015	13,47	15,88	13,47	11,88	4,12	4,38	4,12	3,33	2,23	2,45	2,23	1,84	0,68	0,67	-	0,53
20/01/2015	14,56	15,86	14,56	11,88	5,85	4,40	-	3,33	1,37	2,43	1,37	1,84	0,55	0,67	0,55	0,53
21/01/2015	21,44	15,91	-	11,88	4,72	4,40	-	3,33	2,44	2,43	-	1,84	0,54	0,67	0,54	0,53
22/01/2015	14,35	15,89	14,35	11,88	4,01	4,40	4,01	3,33	1,93	2,42	1,93	1,84	0,54	0,67	0,54	0,53
23/01/2015	19,40	15,92	-	11,88	3,74	4,39	3,74	3,33	2,98	2,42	-	1,84	0,57	0,67	0,57	0,53
24/01/2015	9,97	15,84	9,97	11,88	3,08	4,37	3,08	3,33	1,40	2,41	1,40	1,84	0,43	0,67	0,43	0,53
26/01/2015	16,90	15,85	-	11,88	3,35	4,36	3,35	3,33	2,17	2,41	2,17	1,84	0,43	0,66	0,43	0,53
27/01/2015	15,00	15,84	15,00	11,88	3,77	4,35	3,77	3,33	2,32	2,41	2,32	1,84	0,58	0,66	0,58	0,53
28/01/2015	10,98	15,77	10,98	11,88	3,07	4,33	3,07	3,33	1,81	2,40	1,81	1,84	0,51	0,66	0,51	0,53
29/01/2015	13,17	15,74	13,17	11,88	3,65	4,32	3,65	3,33	2,52	2,40	-	1,84	0,70	0,66	-	0,53
30/01/2015	20,41	15,77	-	11,88	5,71	4,33	-	3,33	4,15	2,41	-	1,84	1,16	0,66	-	0,53
31/01/2015	12,53	15,74	12,53	11,88	2,76	4,32	2,76	3,33	1,82	2,41	1,82	1,84	0,40	0,66	0,40	0,53
02/02/2015	14,52	15,73	14,52	11,88	2,50	4,29	2,50	3,33	3,00	2,41	-	1,84	0,52	0,66	0,52	0,53
03/02/2015	27,20	15,80	-	11,88	5,64	4,30	-	3,33	5,38	2,43	-	1,84	1,12	0,66	-	0,53
04/02/2015	12,50	15,76	12,50	11,88	4,31	4,30	4,31	3,33	1,78	2,42	1,78	1,84	0,61	0,66	0,61	0,53
05/02/2015	11,08	15,71	11,08	11,88	2,90	4,28	2,90	3,33	2,13	2,42	2,13	1,84	0,56	0,66	0,56	0,53
06/02/2015	13,87	15,69	13,87	11,88	4,37	4,28	-	3,33	2,62	2,42	-	1,84	0,83	0,66	-	0,53

07/02/2015	10,30	15,64	10,30	11,88	3,12	4,27	3,12	3,33	2,08	2,42	2,08	1,84	0,63	0,66	0,63	0,53
09/02/2015	11,72	15,59	11,72	11,88	2,90	4,26	2,90	3,33	2,34	2,42	2,34	1,84	0,58	0,66	0,58	0,53
10/02/2015	13,55	15,57	13,55	11,88	3,53	4,25	3,53	3,33	2,31	2,41	2,31	1,84	0,60	0,66	0,60	0,53
11/02/2015	20,84	15,61	-	11,88	4,35	4,25	-	3,33	3,40	2,42	-	1,84	0,71	0,66	-	0,53
12/02/2015	12,25	15,57	12,25	11,88	3,79	4,24	3,79	3,33	2,08	2,42	2,08	1,84	0,64	0,66	0,64	0,53
13/02/2015	26,61	15,63	-	11,88	5,32	4,25	-	3,33	3,78	2,43	-	1,84	0,76	0,66	-	0,53
14/02/2015	17,24	15,63	-	11,88	4,41	4,25	-	3,33	3,23	2,43	-	1,84	0,83	0,66	-	0,53
16/02/2015	16,68	15,64	-	11,88	5,91	4,26	-	3,33	2,45	2,43	-	1,84	0,87	0,66	-	0,53
17/02/2015	17,11	15,65	-	11,88	4,89	4,26	-	3,33	1,85	2,43	1,85	1,84	0,53	0,66	0,53	0,53
18/02/2015	17,19	15,66	-	11,88	7,17	4,28	-	3,33	1,45	2,42	1,45	1,84	0,60	0,66	0,60	0,53
19/02/2015	11,72	15,61	11,72	11,88	3,56	4,27	3,56	3,33	1,74	2,41	1,74	1,84	0,53	0,66	0,53	0,53
20/02/2015	85,43	15,72	-	11,88	9,62	4,29	-	3,33	8,78	2,42	-	1,84	0,99	0,66	-	0,53
21/02/2015	9,36	15,66	9,36	11,88	2,72	4,27	2,72	3,33	1,25	2,41	1,25	1,84	0,36	0,66	0,36	0,53
23/02/2015	30,36	15,73	-	11,88	8,21	4,29	-	3,33	3,53	2,41	-	1,84	0,96	0,66	-	0,53
24/02/2015	11,88	15,68	11,88	11,88	2,82	4,27	2,82	3,33	1,40	2,40	1,40	1,84	0,33	0,65	0,33	0,53
25/02/2015	16,98	15,69	-	11,88	3,65	4,27	3,65	3,33	1,83	2,40	1,83	1,84	0,39	0,65	0,39	0,53
26/02/2015	11,71	15,65	11,71	11,88	2,88	4,25	2,88	3,33	1,48	2,38	1,48	1,84	0,36	0,65	0,36	0,53
27/02/2015	36,55	15,71	-	11,88	5,65	4,26	-	3,33	4,90	2,39	-	1,84	0,76	0,65	-	0,53
28/02/2015	19,71	15,73	-	11,88	4,53	4,26	-	3,33	1,45	2,39	1,45	1,84	0,33	0,65	0,33	0,53
02/03/2015	17,01	15,74	-	11,88	6,14	4,27	-	3,33	2,04	2,39	2,04	1,84	0,74	0,65	-	0,53
03/03/2015	26,56	15,80	-	11,88	10,32	4,29	-	3,33	2,73	2,39	-	1,84	1,06	0,65	-	0,53
04/03/2015	18,72	15,83	-	11,88	5,65	4,30	-	3,33	1,91	2,38	1,91	1,84	0,58	0,65	0,58	0,53
05/03/2015	18,26	15,85	-	11,88	5,12	4,31	-	3,33	2,56	2,39	-	1,84	0,72	0,65	-	0,53
06/03/2015	68,84	15,96	-	11,88	5,95	4,32	-	3,33	7,71	2,40	-	1,84	0,67	0,65	-	0,53
07/03/2015	44,68	16,03	-	11,88	8,76	4,33	-	3,33	4,74	2,40	-	1,84	0,93	0,65	-	0,53

C2. RJ02

Tabela 66. Dados coletados diários – Mão de Obra – Obra RJ02 (elaboração do próprio autor).

DIAS	MÃO DE OBRA				
	OFICIAL	AJUDANTE	SOLDADOR	MO GLOBAL	MO ADM
	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh
01/11/2014	135	36	18	189	72
03/11/2014	144	54	18	216	90
04/11/2014	144	54	18	216	90
05/11/2014	144	54	18	216	90
06/11/2014	144	54	18	216	90

07/11/2014	144	54	18	216	90
08/11/2014	144	54	18	216	90
10/11/2014	144	54	18	216	90
11/11/2014	144	54	18	216	90
12/11/2014	144	54	18	216	90
13/11/2014	144	54	18	216	90
14/11/2014	144	54	18	216	90
15/11/2014	144	54	18	216	90
17/11/2014	144	54	18	216	90
18/11/2014	144	54	18	216	90
19/11/2014	144	54	18	216	90
20/11/2014	108	45	18	171	81
21/11/2014	108	45	18	171	81
24/11/2014	108	45	18	171	81
25/11/2014	108	45	18	171	81
26/11/2014	108	45	18	171	81
27/11/2014	108	45	18	171	81
28/11/2014	108	45	18	171	81

TOTAIS	3.051,00	1.161,00	414,00	4.626,00	1.989,00
---------------	-----------------	-----------------	---------------	-----------------	-----------------

Tabela 67. Dados coletados diários – Equipamentos e QS – Obra RJ02 (elaboração do próprio autor).

DIAS	EQUIPAMENTO		QUANTIDADE DE SERVIÇO				
	GRUA 1	GRUA 2	PESO	PILAR	VIGAS	OUTROS	PEÇAS
	Eq.h	Eq.h	t	unid	unid	unid	unid
01/11/2014	6,42	8,50	-	4	22	2	28
03/11/2014	9,00	6,50	-	0	28	0	28
04/11/2014	9,00	8,25	-	1	19	0	20
05/11/2014	6,25	9,00	-	0	80	0	80
06/11/2014	5,58	8,50	-	4	48	2	54
07/11/2014	7,67	8,33	-	3	50	1	54
08/11/2014	9,00	2,00	-	1	32	0	33
10/11/2014	9,00	9,00	-	0	27	0	27
11/11/2014	9,00	7,92	-	0	13	0	13
12/11/2014	9,00	9,00	-	0	63	0	63
13/11/2014	5,58	9,00	-	0	25	0	25
14/11/2014	6,92	9,00	-	0	17	0	17
15/11/2014	9,00	9,00	-	0	11	0	11

17/11/2014	7,08	7,33	-	3	32	0	35
18/11/2014	7,67	6,42	-	0	22	0	22
19/11/2014	9,00	5,25	-	0	34	0	34
20/11/2014	1,25	9,00	-	0	7	0	7
21/11/2014	9,00	9,00	-	0	12	0	12
24/11/2014	9,00	9,00	-	0	10	0	10
25/11/2014	9,00	6,25	-	0	70	0	70
26/11/2014	9,00	9,00	-	0	31	0	31
27/11/2014	9,00	9,00	-	0	32	1	33
28/11/2014	9,00	9,00	-	0	23	0	23

180,42	183,25	0,00	16,00	708,00	6,00	730,00
---------------	---------------	-------------	--------------	---------------	-------------	---------------

Tabela 68. Processamento de Dados diários – Obra RJ02 (elaboração do próprio autor).

INDICADORES DE PRODUTIVIDADE														
RUPof, peso				RUPof, peça				EfE, peso			EfE, peça			
DIAS	DIARIA	ACUM	POT	DIARIA	ACUM	POT	DIARIA	ACUM	POT	DIARIA	ACUM	POT	DIARIA	ACUM
01/11/2014	-	-	-	4,82	4,82	2,67	-	-	-	0,53	0,53	-	-	0,29
03/11/2014	-	-	-	5,14	4,98	2,67	-	-	-	0,55	0,54	-	-	0,29
04/11/2014	-	-	-	7,20	5,57	2,67	-	-	-	0,86	0,63	-	-	0,29
05/11/2014	-	-	-	1,80	3,63	1,80	2,67	-	-	0,19	0,40	0,19	-	0,29
06/11/2014	-	-	-	2,67	3,39	2,67	2,67	-	-	0,26	0,37	0,26	-	0,29
07/11/2014	-	-	-	2,67	3,24	2,67	2,67	-	-	0,30	0,35	0,30	-	0,29
08/11/2014	-	-	-	4,36	3,36	2,67	-	-	-	0,33	0,35	0,33	-	0,29
10/11/2014	-	-	-	5,33	3,53	2,67	-	-	-	0,67	0,38	-	-	0,29
11/11/2014	-	-	-	11,08	3,82	2,67	-	-	-	1,30	0,41	-	-	0,29
12/11/2014	-	-	-	2,29	3,58	2,29	2,67	-	-	0,29	0,39	0,29	-	0,29
13/11/2014	-	-	-	5,76	3,71	2,67	-	-	-	0,58	0,40	-	-	0,29
14/11/2014	-	-	-	8,47	3,89	2,67	-	-	-	0,94	0,42	-	-	0,29
15/11/2014	-	-	-	13,09	4,11	2,67	-	-	-	1,64	0,45	-	-	0,29
17/11/2014	-	-	-	4,11	4,11	4,11	2,67	-	-	0,41	0,45	0,41	-	0,29
18/11/2014	-	-	-	6,55	4,22	2,67	-	-	-	0,64	0,46	-	-	0,29
19/11/2014	-	-	-	4,24	4,22	2,67	-	-	-	0,42	0,46	0,42	-	0,29
20/11/2014	-	-	-	15,43	4,36	2,67	-	-	-	1,46	0,47	-	-	0,29
21/11/2014	-	-	-	9,00	4,46	2,67	-	-	-	1,50	0,49	-	-	0,29
24/11/2014	-	-	-	10,80	4,57	2,67	-	-	-	1,80	0,51	-	-	0,29
25/11/2014	-	-	-	1,54	4,24	1,54	2,67	-	-	0,22	0,48	0,22	-	0,29
26/11/2014	-	-	-	3,48	4,21	3,48	2,67	-	-	0,58	0,49	-	-	0,29
27/11/2014	-	-	-	3,27	4,16	3,27	2,67	-	-	0,55	0,49	-	-	0,29
28/11/2014	-	-	-	4,70	4,18	2,67	-	-	-	0,78	0,50	-	-	0,29

Tabela 69. Dados coletados mensais – Mão de Obra – Obra RJ02 (elaboração do próprio autor).

	OFICIAL	AJUDANTE	SOLDADOR	MO GLOBAL	MO ADM
DIAS	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh
maio-14	3565	675	450	4690	1950
junho-14	4281	900	450	5631	2341
julho-14	4621	971	486	6078	2527
agosto-14	4288	901	451	5640	2345
setembro-14	4044	850	425	5319	2287
outubro-14	4124	867	434	5425	2333
novembro-14	3051	1161	414	4626	1989
TOTAIS	27.973,86	6.326,09	3.109,05	37.409,00	15.772,09

Tabela 70. Dados coletados mensais – Equipamento e QS – Obra RJ02 (elaboração do próprio autor).

	GRUA 1	GRUA 2
DIAS	Eq.h	Eq.h
maio-14	194,25	219,50
junho-14	229,58	223,43
julho-14	165,67	133,58
agosto-14	169,67	174,42
setembro-14	212,75	175,00
outubro-14	160,00	202,17
novembro-14	180	183
	1.312,33	1.311,35

PESO	PILAR	VIGAS	OUTROS	PEÇAS
t	unid	unid	unid	unid
70	-	-	-	420
118	-	-	-	688
181	-	-	-	899
143	-	-	-	761
169	-	-	-	834
125	-	-	-	656
122	16	708	6	730
928,00	16,00	708,00	6,00	4.988,00

Tabela 71. Processamento de dados mensais – Obra RJ02 (elaboração do próprio autor).

	RUPof, peso				RUPof, peça				EfE, peso				EfE, peça			
DIAS	MENSAL	ACUM	POT		MENSAL	ACUM	POT		MENSAL	ACUM	POT		MENSAL	ACUM	POT	
maio-14	50,93	50,93	-	25,27	8,49	8,49	-	4,85	5,91	5,91	-	2,29	0,99	0,99	-	0,45
junho-14	36,28	41,73	-	25,27	6,22	7,08	-	4,85	3,84	4,61	-	2,29	0,66	0,78	-	0,45

julho-14	25,53	33,79	25,53	25,27	5,14	6,21	5,14	4,85	1,65	3,16	1,65	2,29	0,33	0,58	0,33	0,45
agosto-14	29,98	32,72	29,98	25,27	5,63	6,05	-	4,85	2,41	2,95	2,41	2,29	0,45	0,55	0,45	0,45
Set-14	23,93	30,54	23,93	25,27	4,85	5,77	4,85	4,85	2,29	2,79	2,29	2,29	0,46	0,53	0,46	0,45
outubro-14	33,00	30,92	-	25,27	6,29	5,85	-	4,85	2,90	2,80	-	2,29	0,55	0,53	-	0,45
Nov-14	25,01	30,14	25,01	25,27	4,18	5,61	4,18	4,85	2,98	2,83	-	2,29	0,50	0,53	-	0,45

C3. RJ03

Tabela 72. Dados coletados mensais – Mão de Obra – Obra RJ03 (elaboração do próprio autor).

	MÃO DE OBRA				
	OFICIAL	AJUDANTE	SOLDADOR	MO GLOBAL	MO ADM
DIAS	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh
15/08/14	110	0	10	120,0	60,0
18/08/14	124	0	11	135,0	67,5
19/08/14	124	0	11	135,0	67,5
20/08/14	124	0	11	135,0	67,5
21/08/14	124	0	11	135,0	67,5
23/08/14	73	0	7	80,0	40,0
25/08/14	83	0	8	90,0	45,0
26/08/14	124	0	11	135,0	67,5
28/08/14	124	0	11	135,0	67,5
02/09/14	111	17	17	144,0	72,0
03/09/14	111	17	17	144,0	72,0
04/09/14	118	18	18	153,0	76,5
05/09/14	98	15	15	128,0	64,0
06/09/14	86	13	13	112,0	56,0
08/09/14	111	17	17	144,0	72,0
09/09/14	132	20	20	171,0	85,5
10/09/14	145	22	22	189,0	94,5
11/09/14	145	22	22	189,0	94,5
13/09/14	98	15	15	128,0	64,0
15/09/14	123	18	18	160,0	80,0
16/09/14	173	26	26	225,0	112,5
17/09/14	208	31	31	270,0	135,0
18/09/14	215	32	32	279,0	139,5
19/09/14	148	22	22	192,0	96,0
20/09/14	142	21	21	184,0	92,0
22/09/14	166	25	25	216,0	108,0

23/09/14	222	33	33	288,0	144,0
24/09/14	246	37	37	320,0	160,0
25/09/14	262	39	39	340,0	170,0
26/09/14	242	36	36	315,0	157,5
27/09/14	203	30	30	264,0	132,0
29/09/14	238	36	36	310,0	155,0
30/09/14	262	39	39	340,0	170,0
01/10/14	233	78	39	350,0	126,4
02/10/14	233	78	39	350,0	126,4
03/10/14	165	55	28	248,0	89,6
04/10/14	155	52	26	232,0	83,8
06/10/14	180	60	30	270,0	97,5
08/10/14	267	89	44	400,0	144,4
09/10/14	267	89	44	400,0	144,4
10/10/14	227	76	38	340,0	122,8
13/10/14	227	76	38	340,0	122,8
14/10/14	240	80	40	360,0	130,0
15/10/14	267	89	44	400,0	144,4
16/10/14	267	89	44	400,0	144,4
17/10/14	208	69	35	312,0	112,7
21/10/14	270	90	45	405,0	146,3
22/10/14	287	96	48	430,0	155,3
23/10/14	280	93	47	420,0	151,7
24/10/14	280	93	47	420,0	151,7
25/10/14	224	75	37	336,0	121,3
27/10/14	336	112	56	504,0	182,0
28/10/14	293	98	49	440,0	158,9
29/10/14	315	105	53	473,0	170,8
30/10/14	287	96	48	430,0	155,3
31/10/14	273	91	46	410,0	148,1
01/11/14	227	76	25	328,0	100,9
03/11/14	284	95	32	410,0	126,2
04/11/14	284	95	32	410,0	126,2
05/11/14	291	97	32	420,0	129,2
06/11/14	291	97	32	420,0	129,2
07/11/14	235	78	26	340,0	104,6
08/11/14	177	59	20	256,0	78,8
10/11/14	235	78	26	340,0	104,6
11/11/14	277	92	31	400,0	123,1
12/11/14	277	92	31	400,0	123,1
13/11/14	277	92	31	400,0	123,1
15/11/14	120	40	13	174,0	53,5
17/11/14	270	90	30	390,0	120,0
18/11/14	243	81	27	351,5	108,2
19/11/14	242	81	27	350,0	107,7

20/11/14	194	65	22	280,0	86,2
21/11/14	194	65	22	280,0	86,2
22/11/14	161	54	18	232,0	71,4
24/11/14	228	76	25	330,0	101,5
25/11/14	255	85	28	369,0	113,5
26/11/14	274	91	30	396,0	121,8
27/11/14	274	91	30	396,0	121,8
28/11/14	237	79	26	342,0	105,2
01/12/14	311	60	36	407,0	191,5
02/12/14	314	60	36	410,0	192,9
03/12/14	329	63	38	430,0	202,4
04/12/14	296	57	34	387,0	182,1
06/12/14	202	39	23	264,0	124,2
08/12/14	320	61	37	418,0	196,7
09/12/14	353	68	41	462,0	217,4
10/12/14	353	68	41	462,0	217,4
11/12/14	303	58	35	396,0	186,4
12/12/14	296	57	34	387,0	182,1
13/12/14	245	47	28	320,0	150,6
15/12/14	275	53	32	360,0	169,4
16/12/14	282	54	33	369,0	173,6
17/12/14	310	60	36	405,0	190,6
18/12/14	303	58	35	396,0	186,4
19/12/14	251	48	29	328,0	154,4
20/12/14	208	40	24	272,0	128,0
22/12/14	227	44	26	297,0	139,8
23/12/14	110	21	13	144,0	67,8
05/01/15	198	72	18	288,0	108,0
06/01/15	210	77	19	306,0	114,8
07/01/15	227	83	21	330,0	123,8
08/01/15	223	81	20	324,0	121,5
09/01/15	223	81	20	324,0	121,5
10/01/15	198	72	18	288,0	108,0
12/01/15	223	81	20	324,0	121,5
13/01/15	235	86	21	342,0	128,3
14/01/15	235	86	21	342,0	128,3
15/01/15	235	86	21	342,0	128,3
16/01/15	179	65	16	261,0	97,9
19/01/15	220	80	20	320,0	120,0
20/01/15	220	80	20	320,0	120,0
21/01/15	248	90	23	360,0	135,0
22/01/15	248	90	23	360,0	135,0
23/01/15	223	81	20	324,0	121,5
24/01/15	176	64	16	256,0	96,0
26/01/15	198	72	18	288,0	108,0

27/01/15	204	74	19	297,0	111,4
28/01/15	229	83	21	333,0	124,9
29/01/15	254	93	23	370,0	138,8
30/01/15	176	64	16	256,0	96,0
02/02/15	142	52	13	207,0	77,6
03/02/15	167	61	15	243,0	91,1
04/02/15	173	63	16	252,0	94,5
05/02/15	149	54	14	216,0	81,0
06/02/15	144	53	13	210,0	78,8
09/02/15	158	58	14	230,0	86,3
10/02/15	161	59	15	234,0	87,8
11/02/15	193	70	18	280,0	105,0
12/02/15	179	65	16	260,0	97,5
13/02/15	83	30	8	120,0	45,0
19/02/15	155	56	14	225,0	84,4
20/02/15	172	63	16	250,0	93,8
21/02/15	151	55	14	220,0	82,5
23/02/15	193	70	18	280,0	105,0
24/02/15	167	61	15	243,0	91,1
25/02/15	248	90	23	360,0	135,0
26/02/15	248	90	23	360,0	135,0
27/02/15	241	88	22	350,0	131,3
02/03/15	192	70	17	279,0	104,6
03/03/15	186	68	17	270,0	101,3
04/03/15	234	85	21	340,0	127,5
05/03/15	257	94	23	374,0	140,3
06/03/15	213	78	19	310,0	116,3
09/03/15	192	70	17	279,0	104,6
10/03/15	223	81	20	324,0	121,5
11/03/15	223	81	20	324,0	121,5
13/03/15	213	78	19	310,0	116,3
14/03/15	173	63	16	252,0	94,5
16/03/15	196	83	31	310,0	124,0
17/03/15	217	91	34	342,0	136,8
18/03/15	241	101	38	380,0	152,0
19/03/15	247	104	39	390,0	156,0
21/03/15	106	45	17	168,0	67,2
23/03/15	148	62	23	234,0	93,6
24/03/15	182	77	29	288,0	115,2
25/03/15	234	99	37	370,0	148,0
26/03/15	234	99	37	370,0	148,0
27/03/15	211	89	33	333,0	133,2
28/03/15	172	73	27	272,0	108,8
30/03/15	228	96	36	360,0	144,0
31/03/15	211	89	33	333,0	133,2

01/04/15	234	99	37	370,0	148,0
02/04/15	222	93	35	350,0	140,0
04/04/15	91	38	14	144,0	57,6
06/04/15	131	55	21	207,0	82,8
07/04/15	182	77	29	288,0	115,2
08/04/15	228	96	36	360,0	144,0
09/04/15	222	93	35	350,0	140,0
10/04/15	222	93	35	350,0	140,0
11/04/15	137	58	22	216,0	86,4
13/04/15	177	75	28	280,0	112,0
14/04/15	160	67	25	252,0	100,8
15/04/15	209	88	33	330,0	132,0
16/04/15	222	93	35	350,0	140,0
17/04/15	215	91	34	340,0	136,0
18/04/15	142	60	22	224,0	89,6
20/04/15	196	83	31	310,0	124,0
21/04/15	152	64	24	240,0	96,0
24/04/15	215	91	34	340,0	136,0
25/04/15	162	68	26	256,0	102,4
27/04/15	215	91	34	340,0	136,0
28/04/15	200	84	32	315,0	126,0
TOTAIS	38.198,39	11.795,96	4.828,15	54.822,50	21.606,66

Tabela 73. Dados coletados mensais – Equipamentos e QS – Obra RJ02 (elaboração do próprio autor).

	EQUIPAMENTO		QUANTIDADE DE SERVIÇO				
	GRUA 1	GRUA 2	PESO	PILAR	VIGAS	OUTROS	PEÇAS
DIAS	Eq.h	Eq.h	t	unid	unid	unid	unid
15/08/14	7,3	7,3	9,6	12	16	-	28
18/08/14	8,0	8,0	12,9	14	11	-	25
19/08/14	8,5	8,5	10,7	6	32	-	38
20/08/14	5,5	5,5	2,2	0	17	-	17
21/08/14	6,0	6,0	2,4	0	16	-	16
23/08/14	6,0	6,0	1,4	0	10	-	10
25/08/14	6,8	6,8	0,4	0	3	-	3
26/08/14	7,0	7,0	3,9	0	22	-	22
28/08/14	7,5	7,5	0,9	0	5	-	5
02/09/14	4,0	4,0	8,0	8	17	-	25
03/09/14	4,0	4,0	1,0	0	11	-	11

04/09/14	6,8	6,8	2,7	0	14	-	14
05/09/14	7,5	7,5	3,7	0	16	-	16
06/09/14	6,0	6,0	6,1	1	38	-	39
08/09/14	8,5	8,5	6,2	0	35	-	35
09/09/14	4,0	4,0	3,3	1	16	-	17
10/09/14	5,8	5,8	3,8	2	17	-	19
11/09/14	8,5	8,5	3,6	1	29	-	30
13/09/14	7,5	7,5	0,6	0	7	-	7
15/09/14	9,5	9,5	4,8	6	12	-	18
16/09/14	8,5	8,5	3,5	6	7	-	13
17/09/14	4,0	4,0	2,5	6	0	-	6
18/09/14	4,0	4,0	2,2	5	5	-	10
19/09/14	5,5	5,5	3,7	4	15	-	19
20/09/14	3,8	3,8	4,6	1	27	-	28
22/09/14	8,5	8,5	1,6	1	13	-	14
23/09/14	8,5	8,5	2,0	0	22	-	22
24/09/14	4,5	4,5	5,1	0	26	-	26
25/09/14	8,5	8,5	6,0	0	43	-	43
26/09/14	8,5	8,5	2,4	0	29	-	29
27/09/14	5,5	5,5	2,3	0	16	-	16
29/09/14	6,8	6,8	2,9	0	25	-	25
30/09/14	5,0	5,0	4,6	0	36	-	36
01/10/14	8,5	8,5	6,5	0	45	-	45
02/10/14	6,0	6,0	1,1	0	12	-	12
03/10/14	4,8	4,8	1,2	0	15	-	15
04/10/14	3,5	3,5	1,4	0	8	-	8
06/10/14	6,0	6,0	0,8	0	5	-	5
08/10/14	6,0	6,0	6,4	10	22	-	32
09/10/14	4,5	4,5	40,3	0	11	-	11
10/10/14	4,5	4,5	1,6	0	10	-	10
13/10/14	4,5	4,5	3,9	4,0	28,0	-	32
14/10/14	4,5	4,5	3,4	8,0	0,0	-	8
15/10/14	4,3	4,3	6,5	9,0	15,0	-	24
16/10/14	6,8	6,8	4,6	5,0	19,0	-	24
17/10/14	3,5	3,5	2,0	0,0	19,0	-	19
21/10/14	5,5	5,5	0,8	0,0	5,0	-	5
22/10/14	7,3	7,3	7,1	0,0	52,0	-	52
23/10/14	9,3	9,3	5,9	0,0	44,0	-	44
24/10/14	8,0	8,0	3,6	0	22	-	22
25/10/14	4,0	4,0	4,4	4	27	-	31
27/10/14	8,8	8,8	2,9	3	8	-	11
28/10/14	10,0	10,0	6,8	0	53	-	53
29/10/14	9,8	9,8	6,8	0	52	-	52
30/10/14	9,5	9,5	4,0	0	36	-	36
31/10/14	9,5	9,5	3,8	0	23	-	23

01/11/14	3,5	3,5	4,6	0	30	-	30
03/11/14	8,5	8,5	6,5	0	44	-	44
04/11/14	5,5	5,5	1,8	0	11	-	11
05/11/14	4,8	4,8	2,7	0	29	-	29
06/11/14	7,0	7,0	3,3	0	30	-	30
07/11/14	5,0	5,0	6,8	11	30	-	41
08/11/14	5,8	5,8	4,5	11	0	-	11
10/11/14	5,8	5,8	10,2	15	24	-	39
11/11/14	7,5	7,5	6,1	8	19	-	27
12/11/14	4,5	4,5	7,3	7	27	-	34
13/11/14	7,8	7,8	5,3		35	-	35
15/11/14	5,5	5,5	1,5	0	4	-	4
17/11/14	5,8	5,8	5,3	0	40	-	40
18/11/14	9,0	9,0	4,5	0	20	-	20
19/11/14	9,5	9,5	4,3	5	25	-	30
20/11/14	6,5	6,5	5,7	0	43	-	43
21/11/14	6,0	6,0	1,7	0	16	-	16
22/11/14	4,0	4,0	5,5		44	-	44
24/11/14	6,5	6,5	4,6	0	29	-	29
25/11/14	4,0	4,0	1,6	0	10	-	10
26/11/14	4,0	4,0	0,4	0	2	-	2
27/11/14	4,0	4,0	3,7	4	10	-	14
28/11/14	4,0	4,0	0,9	2	7	-	9
01/12/14	5,0	5,0	5,3	1	48	-	49
02/12/14	5,0	5,0	4,8	0	24	-	24
03/12/14	4,3	4,3	4,7	0	31	-	31
04/12/14	7,5	7,5	8,7	1	48	-	49
06/12/14	3,5	3,5	2,7	4	9	-	13
08/12/14	8,8	8,8	10,2	10	53	-	63
09/12/14	8,0	8,0	10,0	16	19	-	35
10/12/14	8,5	8,5	5,9	8	25	-	33
11/12/14	8,5	8,5	8,7	4	46	-	50
12/12/14	8,5	8,5	4,8	0	39	-	39
13/12/14	5,0	5,0	1,1	0	9	-	9
15/12/14	8,5	8,5	4,9	0	45	-	45
16/12/14	7,0	7,0	6,7	0	51	-	51
17/12/14	7,8	7,8	3,3	0	19	-	19
18/12/14	7,8	7,8	5,6	0	35	-	35
19/12/14	7,5	7,5	3,3	0	20	-	20
20/12/14	4,5	4,5	4,3	0	39	-	39
22/12/14	8,0	8,0	3,1	0	34	-	34
23/12/14	4,0	4,0	0,7	0	8	-	8
05/01/15	6,5	6,5	3,8	0	21	-	21
06/01/15	8,0	8,0	6,1	8	31	-	39
07/01/15	4,3	4,3	2,6	0	17	-	17

08/01/15	5,0	5,0	3,7	9	7	-	16
09/01/15	9,5	9,5	2,2	6	0	-	6
10/01/15	3,5	3,5	1,1	1	6	-	7
12/01/15	4,5	4,5	2,6	6	2	-	8
13/01/15	8,3	8,3	2,5	5	8	-	13
14/01/15	5,0	5,0	2,2	0	18	-	18
15/01/15	4,0	4,0	0,4	1	3	-	4
16/01/15	4,0	4,0	0,7	0	2	-	2
19/01/15	4,0	4,0	2,0	0	13	-	13
20/01/15	5,5	5,5	0,7	0	5	-	5
21/01/15	2,8	2,8	0,7	2	0	-	2
22/01/15	6,8	6,8	3,9	0	26	-	26
23/01/15	3,8	3,8	3,5	1	16	-	17
24/01/15	0,5	0,5	0,4	0	4	-	4
26/01/15	7,3	7,3	2,1	1	18	-	19
27/01/15	2,8	2,8	3,2	5	5	-	10
28/01/15	8,5	8,5	3,2	2	10	-	12
29/01/15	8,5	8,5	2,2	4	7	-	11
30/01/15	6,8	6,8	3,9	0	14	-	14
02/02/15	4,0	4,0	0,4	0	2	-	2
03/02/15	3,8	3,8	1,0	0	6	-	6
04/02/15	5,8	5,8	4,9	0	20	-	20
05/02/15	8,5	8,5	2,5	0	5	-	5
06/02/15	9,0	9,0	9,2	1	33	-	34
09/02/15	4,5	4,5	2,6	1	17	-	18
10/02/15	6,5	6,5	9,0	5	33	-	38
11/02/15	8,5	8,5	5,3	5	28	-	33
12/02/15	7,8	7,8	6,5	0	38	-	38
13/02/15	5,0	5,0	3,2	0	15	-	15
19/02/15	7,0	7,0	4,8	0	23	-	23
20/02/15	8,3	8,3	8,4	1	47	-	48
21/02/15	9,0	9,0	9,3	0	62	-	62
23/02/15	8,8	8,8	8,9	0	63	-	63
24/02/15	4,5	4,5	6,9	3	55	-	58
25/02/15	5,0	5,0	10,2		47	-	47
26/02/15	8,5	8,5	6,1	2	31	-	33
27/02/15	8,3	8,3	2,0	1	9	-	10
02/03/15	6,5	6,5	2,3	2	12	-	14
03/03/15	8,5	8,5	3,2	6	13	-	19
04/03/15	9,5	9,5	8,2	5	52	-	57
05/03/15	5,5	5,5	9,4	8	41	-	49
06/03/15	4,5	4,5	1,3	1	11	-	12
09/03/15	4,0	4,0	1,1	1	5	-	6
10/03/15	8,5	8,5	1,6	1	11	-	12
11/03/15	8,5	8,5	0,2	1	4	-	5

13/03/15	6,0	6,0	1,1	0	9	-	9
14/03/15	3,5	3,5	1,0	1	5	-	6
16/03/15	4,5	4,5	0,2	0	4	-	4
17/03/15	8,3	8,3	3,7	3	17	-	20
18/03/15	7,5	7,5	4,9	1	43	-	44
19/03/15	7,0	7,0	3,9	1	36	-	37
21/03/15	5,5	5,5	0,7	0	5	-	5
23/03/15	8,5	8,5	1,1	0	11	-	11
24/03/15	8,5	8,5	3,9	0	32	-	32
25/03/15	6,5	6,5	3,9	1	31	-	32
26/03/15	9,3	9,3	3,5	0	27	-	27
27/03/15	6,0	6,0	7,3	1	51	-	52
28/03/15	7,5	7,5	4,2	6	14	-	20
30/03/15	7,8	7,8	6,5	5	40	-	45
31/03/15	7,0	7,0	5,6	5	31	-	36
01/04/15	8,5	8,5	8,9	8	24	-	32
02/04/15	8,8	8,8	7,5	1	28	-	29
04/04/15	7,5	7,5	3,0	1	9	-	10
06/04/15	8,5	8,5	3,6	0	12	-	12
07/04/15	8,5	8,5	5,5	3	19	-	22
08/04/15	8,5	8,5	7,3	2	33	-	35
09/04/15	9,5	9,5	5,9	0	31	-	31
10/04/15	9,5	9,5	4,1	0	25	-	25
11/04/15	7,5	7,5	6,4	1	41	-	42
13/04/15	9,5	9,5	3,1	1	5	-	6
14/04/15	7,5	7,5	6,5	0	20	-	20
15/04/15	5,8	5,8	4,1	0	14	-	14
16/04/15	9,0	9,0	7,0	1	20	-	21
17/04/15	7,0	7,0	4,9	3	16	-	19
18/04/15	6,5	6,5	6,0	4	20	-	24
20/04/15	9,5	9,5	8,3	2	40	-	42
21/04/15	7,0	7,0	3,2	1	7	-	8
24/04/15	7,5	7,5	4,5	4	13	-	17
25/04/15	7,5	7,5	3,6	0	7	-	7
27/04/15	9,5	9,5	2,2	2	9	-	11
28/04/15	8,5	8,5	1,2	0	9	-	9
1.198,75		1.198,75	795,51	377,00	3.944,00	0,00	4.321,00

Tabela 74. Processamento de dados – RJ03 (elaboração do próprio autor).

	INDICADORES DE PRODUTIVIDADE															
	RUPof, peso				RUPof, peça				EfE, peso				EfE, peça			
DIAS	DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT	
15/08/14	11,43	11,43	11,43	33,77	3,93	3,93	3,93	6,07	1,51	1,51	1,51	2,16	0,52	0,52	0,52	0,38
18/08/14	9,60	10,38	9,60	33,77	4,95	4,41	4,95	6,07	1,24	1,35	1,24	2,16	0,64	0,58	-	0,38
19/08/14	11,62	10,78	11,62	33,77	3,26	3,93	3,26	6,07	1,60	1,43	1,60	2,16	0,45	0,52	0,45	0,38
20/08/14	55,49	13,60	-	33,77	7,28	4,46	7,28	6,07	4,93	1,65	-	2,16	0,65	0,54	-	0,38
21/08/14	51,07	16,00	-	33,77	7,73	4,88	7,73	6,07	4,95	1,86	-	2,16	0,75	0,57	-	0,38
23/08/14	53,02	17,30	-	33,77	7,33	5,06	7,33	6,07	8,68	2,10	-	2,16	1,20	0,62	-	0,38
25/08/14	229,81	19,23	-	33,77	27,50	5,55	-	6,07	37,60	2,43	-	2,16	4,50	0,70	-	0,38
26/08/14	31,98	20,37	31,98	33,77	5,63	5,56	5,63	6,07	3,62	2,53	-	2,16	0,64	0,69	-	0,38
28/08/14	144,74	22,77	-	33,77	24,75	6,15	-	6,07	17,54	2,82	-	2,16	3,00	0,76	-	0,38
02/09/14	13,84	21,40	13,84	33,77	4,43	5,92	4,43	6,07	1,00	2,54	1,00	2,16	0,32	0,70	0,32	0,38
03/09/14	116,35	23,10	-	33,77	10,07	6,15	-	6,07	8,40	2,65	-	2,16	0,73	0,71	-	0,38
04/09/14	43,57	24,09	43,57	33,77	8,41	6,30	8,41	6,07	5,00	2,76	-	2,16	0,96	0,72	-	0,38
05/09/14	26,27	24,22	26,27	33,77	6,15	6,29	6,15	6,07	4,00	2,84	-	2,16	0,94	0,74	-	0,38
06/09/14	14,24	23,31	14,24	33,77	2,21	5,70	2,21	6,07	1,98	2,76	1,98	2,16	0,31	0,67	0,31	0,38
08/09/14	17,97	22,85	17,97	33,77	3,16	5,40	3,16	6,07	2,76	2,76	2,76	2,16	0,49	0,65	0,49	0,38
09/09/14	40,26	23,61	40,26	33,77	7,74	5,53	7,74	6,07	2,45	2,75	2,45	2,16	0,47	0,64	0,47	0,38
10/09/14	37,93	24,30	37,93	33,77	7,65	5,65	7,65	6,07	3,00	2,76	3,00	2,16	0,61	0,64	-	0,38
11/09/14	40,74	25,01	40,74	33,77	4,85	5,58	4,85	6,07	4,76	2,85	-	2,16	0,57	0,64	-	0,38
13/09/14	167,17	26,02	-	33,77	14,07	5,74	-	6,07	25,47	3,01	-	2,16	2,14	0,66	-	0,38
15/09/14	25,86	26,01	25,86	33,77	6,84	5,79	6,84	6,07	3,99	3,06	-	2,16	1,06	0,68	-	0,38
16/09/14	49,06	26,90	-	33,77	13,31	6,03	-	6,07	4,82	3,13	-	2,16	1,31	0,70	-	0,38
17/09/14	83,38	28,40	-	33,77	34,62	6,44	-	6,07	3,21	3,13	-	2,16	1,33	0,71	-	0,38
18/09/14	95,51	29,96	-	33,77	21,46	6,80	-	6,07	3,56	3,14	-	2,16	0,80	0,71	-	0,38
19/09/14	39,63	30,32	39,63	33,77	7,77	6,84	7,77	6,07	2,95	3,13	2,95	2,16	0,58	0,71	-	0,38
20/09/14	30,99	30,35	30,99	33,77	5,05	6,73	5,05	6,07	1,64	3,07	1,64	2,16	0,27	0,68	0,27	0,38
22/09/14	102,00	31,45	-	33,77	11,87	6,88	-	6,07	10,44	3,18	-	2,16	1,21	0,70	-	0,38
23/09/14	109,13	32,91	-	33,77	10,07	7,02	-	6,07	8,37	3,28	-	2,16	0,77	0,70	-	0,38
24/09/14	48,32	33,60	-	33,77	9,47	7,14	-	6,07	1,77	3,21	1,77	2,16	0,35	0,68	0,35	0,38
25/09/14	43,90	34,12	43,90	33,77	6,08	7,06	6,08	6,07	2,85	3,19	2,85	2,16	0,40	0,66	0,40	0,38
26/09/14	99,02	35,42	-	33,77	8,36	7,12	8,36	6,07	6,95	3,27	-	2,16	0,59	0,66	-	0,38
27/09/14	88,45	36,41	-	33,77	12,69	7,27	-	6,07	4,79	3,30	-	2,16	0,69	0,66	-	0,38
29/09/14	82,66	37,46	-	33,77	9,54	7,35	-	6,07	4,68	3,33	-	2,16	0,54	0,65	0,54	0,38
30/09/14	57,24	38,15	-	33,77	7,26	7,35	7,26	6,07	2,19	3,29	2,19	2,16	0,28	0,63	0,28	0,38
01/10/14	35,78	38,03	35,78	33,77	5,19	7,22	5,19	6,07	2,61	3,26	2,61	2,16	0,38	0,62	0,38	0,38
02/10/14	203,08	39,40	-	33,77	19,44	7,41	-	6,07	10,44	3,32	-	2,16	1,00	0,62	-	0,38

03/10/14	139,17	40,24	-	33,77	11,02	7,49	-	6,07	8,00	3,35	-	2,16	0,63	0,62	-	0,38
04/10/14	113,98	40,95	-	33,77	19,33	7,61	-	6,07	5,16	3,37	-	2,16	0,88	0,63	-	0,38
06/10/14	238,10	42,00	-	33,77	36,00	7,80	-	6,07	15,87	3,44	-	2,16	2,40	0,64	-	0,38
08/10/14	41,38	41,97	41,38	33,77	8,33	7,82	8,33	6,07	1,86	3,37	1,86	2,16	0,38	0,63	0,38	0,38
09/10/14	6,61	34,43	6,61	33,77	24,24	8,04	-	6,07	0,22	2,70	0,22	2,16	0,82	0,63	-	0,38
10/10/14	137,71	35,32	-	33,77	22,67	8,22	-	6,07	5,47	2,72	-	2,16	0,90	0,63	-	0,38
13/10/14	57,40	35,77	-	33,77	7,08	8,18	7,08	6,07	2,28	2,71	2,28	2,16	0,28	0,62	0,28	0,38
14/10/14	71,43	36,37	-	33,77	30,00	8,38	-	6,07	2,68	2,71	2,68	2,16	1,13	0,63	-	0,38
15/10/14	40,90	36,52	40,90	33,77	11,11	8,45	-	6,07	1,30	2,67	1,30	2,16	0,35	0,62	0,35	0,38
16/10/14	58,11	36,99	-	33,77	11,11	8,52	-	6,07	2,94	2,67	2,94	2,16	0,56	0,62	-	0,38
17/10/14	104,00	37,62	-	33,77	10,95	8,57	-	6,07	3,50	2,68	-	2,16	0,37	0,61	0,37	0,38
21/10/14	348,39	38,76	-	33,77	54,00	8,82	-	6,07	14,19	2,72	-	2,16	2,20	0,62	-	0,38
22/10/14	40,32	38,81	40,32	33,77	5,51	8,64	5,51	6,07	2,04	2,70	2,04	2,16	0,28	0,60	0,28	0,38
23/10/14	47,50	39,04	47,50	33,77	6,36	8,54	6,36	6,07	3,14	2,71	-	2,16	0,42	0,59	0,42	0,38
24/10/14	78,65	39,66	-	33,77	12,73	8,63	-	6,07	4,49	2,74	-	2,16	0,73	0,60	-	0,38
25/10/14	50,84	39,87	-	33,77	7,23	8,59	7,23	6,07	1,82	2,72	1,82	2,16	0,26	0,59	0,26	0,38
27/10/14	116,18	40,80	-	33,77	30,55	8,81	-	6,07	6,05	2,76	-	2,16	1,59	0,60	-	0,38
28/10/14	42,99	40,87	42,99	33,77	5,53	8,66	5,53	6,07	2,93	2,77	2,93	2,16	0,38	0,59	0,38	0,38
29/10/14	46,48	41,02	46,48	33,77	6,06	8,55	6,06	6,07	2,87	2,77	2,87	2,16	0,38	0,58	0,38	0,38
30/10/14	72,41	41,51	-	33,77	7,96	8,53	7,96	6,07	4,80	2,80	-	2,16	0,53	0,58	0,53	0,38
31/10/14	72,16	41,96	-	33,77	11,88	8,59	-	6,07	5,02	2,84	-	2,16	0,83	0,58	-	0,38
01/11/14	49,23	42,09	-	33,77	7,57	8,57	7,57	6,07	1,52	2,81	1,52	2,16	0,23	0,57	0,23	0,38
03/11/14	43,87	42,13	43,87	33,77	6,45	8,50	6,45	6,07	2,63	2,81	2,63	2,16	0,39	0,57	0,39	0,38
04/11/14	154,85	42,90	-	33,77	25,80	8,64	-	6,07	6,00	2,83	-	2,16	1,00	0,57	-	0,38
05/11/14	108,86	43,54	-	33,77	10,03	8,67	-	6,07	3,56	2,84	-	2,16	0,33	0,56	0,33	0,38
06/11/14	89,22	44,08	-	33,77	9,69	8,69	-	6,07	4,30	2,85	-	2,16	0,47	0,56	0,47	0,38
07/11/14	34,58	43,85	34,58	33,77	5,74	8,61	5,74	6,07	1,47	2,82	1,47	2,16	0,24	0,55	0,24	0,38
08/11/14	39,32	43,78	39,32	33,77	16,11	8,66	-	6,07	2,55	2,82	2,55	2,16	1,05	0,56	-	0,38
10/11/14	23,08	43,07	23,08	33,77	6,04	8,60	6,04	6,07	1,13	2,76	1,13	2,16	0,29	0,55	0,29	0,38
11/11/14	45,61	43,12	45,61	33,77	10,26	8,63	-	6,07	2,47	2,75	2,47	2,16	0,56	0,55	-	0,38
12/11/14	37,73	43,00	37,73	33,77	8,14	8,61	8,14	6,07	1,23	2,72	1,23	2,16	0,26	0,54	0,26	0,38
13/11/14	52,37	43,15	-	33,77	7,91	8,60	7,91	6,07	2,93	2,72	2,93	2,16	0,44	0,54	0,44	0,38
15/11/14	80,85	43,33	-	33,77	30,12	8,65	-	6,07	7,38	2,74	-	2,16	2,75	0,55	-	0,38
17/11/14	50,72	43,45	-	33,77	6,75	8,61	6,75	6,07	2,16	2,73	2,16	2,16	0,29	0,54	0,29	0,38
18/11/14	54,28	43,60	-	33,77	12,17	8,65	-	6,07	4,02	2,75	-	2,16	0,90	0,55	-	0,38
19/11/14	56,21	43,76	-	33,77	8,08	8,64	8,08	6,07	4,41	2,77	-	2,16	0,63	0,55	-	0,38
20/11/14	33,77	43,59	33,77	33,77	4,51	8,54	4,51	6,07	2,26	2,76	2,26	2,16	0,30	0,54	0,30	0,38
21/11/14	111,28	43,94	-	33,77	12,12	8,57	-	6,07	6,89	2,78	-	2,16	0,75	0,54	-	0,38
22/11/14	28,97	43,70	28,97	33,77	3,65	8,45	3,65	6,07	1,44	2,76	1,44	2,16	0,18	0,53	0,18	0,38
24/11/14	49,62	43,78	-	33,77	7,88	8,44	7,88	6,07	2,82	2,76	2,82	2,16	0,45	0,53	0,45	0,38
25/11/14	158,77	44,30	-	33,77	25,55	8,53	-	6,07	4,97	2,77	-	2,16	0,80	0,53	-	0,38
26/11/14	613,32	45,03	-	33,77	137,08	8,67	-	6,07	17,90	2,79	-	2,16	4,00	0,54	-	0,38
27/11/14	73,28	45,33	-	33,77	19,58	8,76	-	6,07	2,14	2,79	2,14	2,16	0,57	0,54	-	0,38
28/11/14	267,84	45,88	-	33,77	26,31	8,84	-	6,07	9,05	2,80	-	2,16	0,89	0,54	-	0,38
01/12/14	59,26	46,07	-	33,77	6,35	8,78	6,35	6,07	1,90	2,79	1,90	2,16	0,20	0,53	0,20	0,38

02/12/14	65,12	46,32	-	33,77	13,06	8,83	-	6,07	2,08	2,78	2,08	2,16	0,42	0,53	0,42	0,38
03/12/14	69,59	46,62	-	33,77	10,61	8,86	-	6,07	1,80	2,77	1,80	2,16	0,27	0,53	0,27	0,38
04/12/14	34,05	46,33	34,05	33,77	6,04	8,79	6,04	6,07	1,73	2,74	1,73	2,16	0,31	0,52	0,31	0,38
06/12/14	76,18	46,54	-	33,77	15,53	8,83	-	6,07	2,64	2,74	2,64	2,16	0,54	0,52	0,54	0,38
08/12/14	31,34	46,14	31,34	33,77	5,07	8,72	5,07	6,07	1,72	2,72	1,72	2,16	0,28	0,51	0,28	0,38
09/12/14	35,25	45,87	35,25	33,77	10,09	8,74	-	6,07	1,60	2,69	1,60	2,16	0,46	0,51	0,46	0,38
10/12/14	60,06	46,08	-	33,77	10,71	8,77	-	6,07	2,89	2,69	2,89	2,16	0,52	0,51	0,52	0,38
11/12/14	34,72	45,84	34,72	33,77	6,06	8,71	6,06	6,07	1,95	2,68	1,95	2,16	0,34	0,51	0,34	0,38
12/12/14	61,69	46,02	-	33,77	7,59	8,69	7,59	6,07	3,54	2,69	-	2,16	0,44	0,51	0,44	0,38
13/12/14	217,90	46,48	-	33,77	27,19	8,77	-	6,07	8,90	2,70	-	2,16	1,11	0,51	-	0,38
15/12/14	55,89	46,58	-	33,77	6,12	8,71	6,12	6,07	3,45	2,71	-	2,16	0,38	0,51	0,38	0,38
16/12/14	42,37	46,52	42,37	33,77	5,53	8,64	5,53	6,07	2,10	2,70	2,10	2,16	0,27	0,50	0,27	0,38
17/12/14	92,75	46,87	-	33,77	16,30	8,71	-	6,07	4,64	2,72	-	2,16	0,82	0,50	-	0,38
18/12/14	54,08	46,96	-	33,77	8,65	8,71	8,65	6,07	2,77	2,72	2,77	2,16	0,44	0,50	0,44	0,38
19/12/14	76,19	47,18	-	33,77	12,54	8,74	-	6,07	4,56	2,73	-	2,16	0,75	0,51	-	0,38
20/12/14	48,70	47,19	-	33,77	5,33	8,68	5,33	6,07	2,11	2,72	2,11	2,16	0,23	0,50	0,23	0,38
22/12/14	73,48	47,37	-	33,77	6,68	8,66	6,68	6,07	5,18	2,74	-	2,16	0,47	0,50	0,47	0,38
23/12/14	164,60	47,54	-	33,77	13,76	8,67	-	6,07	11,96	2,75	-	2,16	1,00	0,50	-	0,38
05/01/15	52,67	47,59	-	33,77	9,43	8,68	-	6,07	3,46	2,76	-	2,16	0,62	0,50	-	0,38
06/01/15	34,41	47,41	34,41	33,77	5,39	8,63	5,39	6,07	2,62	2,76	2,62	2,16	0,41	0,50	0,41	0,38
07/01/15	87,83	47,64	-	33,77	13,35	8,66	-	6,07	3,29	2,76	-	2,16	0,50	0,50	0,50	0,38
08/01/15	60,20	47,73	-	33,77	13,92	8,69	-	6,07	2,70	2,76	2,70	2,16	0,63	0,50	-	0,38
09/01/15	103,32	47,99	-	33,77	37,13	8,76	-	6,07	8,81	2,79	-	2,16	3,17	0,51	-	0,38
10/01/15	188,21	48,30	-	33,77	28,29	8,81	-	6,07	6,65	2,80	-	2,16	1,00	0,51	-	0,38
12/01/15	85,90	48,50	-	33,77	27,84	8,87	-	6,07	3,47	2,80	-	2,16	1,13	0,51	-	0,38
13/01/15	94,35	48,74	-	33,77	18,09	8,91	-	6,07	6,62	2,82	-	2,16	1,27	0,52	-	0,38
14/01/15	107,27	49,01	-	33,77	13,06	8,94	-	6,07	4,56	2,83	-	2,16	0,56	0,52	-	0,38
15/01/15	602,88	49,46	-	33,77	58,78	9,02	-	6,07	20,51	2,84	-	2,16	2,00	0,52	-	0,38
16/01/15	254,16	49,76	-	33,77	89,72	9,08	-	6,07	11,33	2,86	-	2,16	4,00	0,52	-	0,38
19/01/15	107,42	50,00	-	33,77	16,92	9,12	-	6,07	3,91	2,86	-	2,16	0,62	0,52	-	0,38
20/01/15	298,91	50,38	-	33,77	44,00	9,18	-	6,07	14,95	2,88	-	2,16	2,20	0,52	-	0,38
21/01/15	366,67	50,82	-	33,77	123,75	9,27	-	6,07	8,15	2,89	-	2,16	2,75	0,53	-	0,38
22/01/15	63,79	50,92	-	33,77	9,52	9,27	-	6,07	3,48	2,89	-	2,16	0,52	0,53	0,52	0,38
23/01/15	63,75	51,01	-	33,77	13,10	9,30	-	6,07	2,15	2,88	2,15	2,16	0,44	0,53	0,44	0,38
24/01/15	404,60	51,32	-	33,77	44,00	9,35	-	6,07	2,30	2,88	2,30	2,16	0,25	0,53	0,25	0,38
26/01/15	93,26	51,50	-	33,77	10,42	9,35	-	6,07	6,83	2,90	-	2,16	0,76	0,53	-	0,38
27/01/15	64,66	51,58	-	33,77	20,42	9,39	-	6,07	1,74	2,89	1,74	2,16	0,55	0,53	0,55	0,38
28/01/15	70,81	51,71	-	33,77	19,08	9,44	-	6,07	5,26	2,91	-	2,16	1,42	0,53	-	0,38
29/01/15	115,21	51,99	-	33,77	23,13	9,49	-	6,07	7,70	2,93	-	2,16	1,55	0,53	-	0,38
30/01/15	45,67	51,94	45,67	33,77	12,57	9,51	-	6,07	3,50	2,93	-	2,16	0,96	0,54	-	0,38
02/02/15	386,72	52,18	-	33,77	71,16	9,55	-	6,07	21,74	2,95	-	2,16	4,00	0,54	-	0,38
03/02/15	159,26	52,40	-	33,77	27,84	9,59	-	6,07	7,15	2,96	-	2,16	1,25	0,54	-	0,38
04/02/15	35,31	52,24	35,31	33,77	8,66	9,58	8,66	6,07	2,34	2,95	2,34	2,16	0,58	0,54	-	0,38
05/02/15	59,78	52,27	-	33,77	29,70	9,62	-	6,07	6,84	2,97	-	2,16	3,40	0,55	-	0,38
06/02/15	15,68	51,63	15,68	33,77	4,25	9,56	4,25	6,07	1,95	2,95	1,95	2,16	0,53	0,55	0,53	0,38

09/02/15	60,68	51,68	-	33,77	8,78	9,55	8,78	6,07	3,45	2,95	-	2,16	0,50	0,55	0,50	0,38
10/02/15	17,85	51,11	17,85	33,77	4,23	9,48	4,23	6,07	1,44	2,93	1,44	2,16	0,34	0,54	0,34	0,38
11/02/15	36,15	50,96	36,15	33,77	5,83	9,44	5,83	6,07	3,19	2,93	-	2,16	0,52	0,54	0,52	0,38
12/02/15	27,54	50,69	27,54	33,77	4,70	9,38	4,70	6,07	2,39	2,92	2,39	2,16	0,41	0,54	0,41	0,38
13/02/15	25,61	50,54	25,61	33,77	5,50	9,36	5,50	6,07	3,10	2,93	-	2,16	0,67	0,54	-	0,38
19/02/15	32,10	50,38	32,10	33,77	6,73	9,34	6,73	6,07	2,91	2,93	2,91	2,16	0,61	0,54	-	0,38
20/02/15	20,34	49,93	20,34	33,77	3,58	9,25	3,58	6,07	1,95	2,91	1,95	2,16	0,34	0,54	0,34	0,38
21/02/15	16,25	49,39	16,25	33,77	2,44	9,11	2,44	6,07	1,93	2,90	1,93	2,16	0,29	0,53	0,29	0,38
23/02/15	21,72	48,97	21,72	33,77	3,06	8,99	3,06	6,07	1,97	2,88	1,97	2,16	0,28	0,53	0,28	0,38
24/02/15	24,07	48,68	24,07	33,77	2,88	8,88	2,88	6,07	1,30	2,86	1,30	2,16	0,16	0,52	0,16	0,38
25/02/15	24,23	48,26	24,23	33,77	5,27	8,83	5,27	6,07	0,98	2,83	0,98	2,16	0,21	0,52	0,21	0,38
26/02/15	40,77	48,19	40,77	33,77	7,50	8,82	7,50	6,07	2,80	2,83	2,80	2,16	0,52	0,52	0,52	0,38
27/02/15	122,96	48,43	-	33,77	24,06	8,87	-	6,07	8,43	2,85	-	2,16	1,65	0,52	-	0,38
02/03/15	82,71	48,56	-	33,77	13,70	8,89	-	6,07	5,61	2,86	-	2,16	0,93	0,52	-	0,38
03/03/15	58,78	48,61	-	33,77	9,77	8,89	-	6,07	5,38	2,87	-	2,16	0,89	0,53	-	0,38
04/03/15	28,58	48,35	28,58	33,77	4,10	8,81	4,10	6,07	2,32	2,86	2,32	2,16	0,33	0,52	0,33	0,38
05/03/15	27,32	48,04	27,32	33,77	5,25	8,76	5,25	6,07	1,17	2,84	1,17	2,16	0,22	0,52	0,22	0,38
06/03/15	163,69	48,27	-	33,77	17,76	8,79	-	6,07	6,91	2,85	-	2,16	0,75	0,52	-	0,38
09/03/15	175,49	48,49	-	33,77	31,97	8,83	-	6,07	7,32	2,86	-	2,16	1,33	0,52	-	0,38
10/03/15	141,88	48,72	-	33,77	18,56	8,86	-	6,07	10,83	2,88	-	2,16	1,42	0,52	-	0,38
11/03/15	968,48	49,05	-	33,77	44,55	8,92	-	6,07	73,91	2,90	-	2,16	3,40	0,53	-	0,38
13/03/15	192,52	49,30	-	33,77	23,68	8,95	-	6,07	10,84	2,91	-	2,16	1,33	0,53	-	0,38
14/03/15	180,09	49,50	-	33,77	28,88	8,99	-	6,07	7,28	2,92	-	2,16	1,17	0,53	-	0,38
16/03/15	1.044,33	49,79	-	33,77	49,08	9,03	-	6,07	47,87	2,93	-	2,16	2,25	0,53	-	0,38
17/03/15	58,32	49,84	-	33,77	10,83	9,04	-	6,07	4,44	2,94	-	2,16	0,83	0,53	-	0,38
18/03/15	48,65	49,83	-	33,77	5,47	9,00	5,47	6,07	3,03	2,94	-	2,16	0,34	0,53	0,34	0,38
19/03/15	62,88	49,91	-	33,77	6,68	8,98	6,68	6,07	3,56	2,95	-	2,16	0,38	0,53	0,38	0,38
21/03/15	154,20	50,02	-	33,77	21,28	8,99	-	6,07	15,94	2,96	-	2,16	2,20	0,53	-	0,38
23/03/15	136,34	50,17	-	33,77	13,47	9,01	-	6,07	15,64	2,98	-	2,16	1,55	0,54	-	0,38
24/03/15	47,27	50,15	47,27	33,77	5,70	8,98	5,70	6,07	4,41	2,99	-	2,16	0,53	0,54	0,53	0,38
25/03/15	60,35	50,21	-	33,77	7,32	8,96	7,32	6,07	3,35	2,99	-	2,16	0,41	0,53	0,41	0,38
26/03/15	67,59	50,30	-	33,77	8,68	8,96	8,68	6,07	5,34	3,01	-	2,16	0,69	0,54	-	0,38
27/03/15	28,72	50,06	28,72	33,77	4,06	8,89	4,06	6,07	1,63	2,99	1,63	2,16	0,23	0,53	0,23	0,38
28/03/15	41,18	50,01	41,18	33,77	8,61	8,89	8,61	6,07	3,59	2,99	-	2,16	0,75	0,53	-	0,38
30/03/15	34,93	49,86	34,93	33,77	5,07	8,85	5,07	6,07	2,37	2,99	2,37	2,16	0,34	0,53	0,34	0,38
31/03/15	37,38	49,76	37,38	33,77	5,86	8,82	5,86	6,07	2,48	2,98	2,48	2,16	0,39	0,53	0,39	0,38
01/04/15	26,25	49,46	26,25	33,77	7,32	8,81	7,32	6,07	1,90	2,97	1,90	2,16	0,53	0,53	0,53	0,38
02/04/15	29,65	49,25	29,65	33,77	7,64	8,80	7,64	6,07	2,34	2,96	2,34	2,16	0,60	0,53	-	0,38
04/04/15	30,79	49,17	30,79	33,77	9,12	8,80	-	6,07	5,06	2,97	-	2,16	1,50	0,53	-	0,38
06/04/15	36,55	49,11	36,55	33,77	10,93	8,81	-	6,07	4,74	2,98	-	2,16	1,42	0,53	-	0,38
07/04/15	33,15	48,99	33,15	33,77	8,29	8,80	8,29	6,07	3,09	2,98	-	2,16	0,77	0,54	-	0,38
08/04/15	31,14	48,81	31,14	33,77	6,51	8,78	6,51	6,07	2,32	2,98	2,32	2,16	0,49	0,54	0,49	0,38
09/04/15	37,72	48,72	37,72	33,77	7,15	8,77	7,15	6,07	3,23	2,98	-	2,16	0,61	0,54	-	0,38
10/04/15	53,80	48,75	-	33,77	8,87	8,77	-	6,07	4,61	2,99	-	2,16	0,76	0,54	-	0,38
11/04/15	21,34	48,51	21,34	33,77	3,26	8,72	3,26	6,07	2,34	2,98	2,34	2,16	0,36	0,54	0,36	0,38

13/04/15	57,33	48,55	-	33,77	29,56	8,75	-	6,07	6,14	2,99	-	2,16	3,17	0,54	-	0,38
14/04/15	24,44	48,34	24,44	33,77	7,98	8,74	7,98	6,07	2,30	2,99	2,30	2,16	0,75	0,54	-	0,38
15/04/15	50,70	48,35	-	33,77	14,93	8,76	-	6,07	2,79	2,99	2,79	2,16	0,82	0,54	-	0,38
16/04/15	31,83	48,20	31,83	33,77	10,56	8,77	-	6,07	2,58	2,98	2,58	2,16	0,86	0,54	-	0,38
17/04/15	43,97	48,17	43,97	33,77	11,33	8,78	-	6,07	2,86	2,98	2,86	2,16	0,74	0,54	-	0,38
18/04/15	23,50	47,98	23,50	33,77	5,91	8,77	5,91	6,07	2,15	2,98	2,15	2,16	0,54	0,54	0,54	0,38
20/04/15	23,58	47,72	23,58	33,77	4,67	8,73	4,67	6,07	2,28	2,97	2,28	2,16	0,45	0,54	0,45	0,38
21/04/15	47,53	47,72	47,53	33,77	19,00	8,75	-	6,07	4,38	2,97	-	2,16	1,75	0,55	-	0,38
24/04/15	47,76	47,72	47,76	33,77	12,67	8,76	-	6,07	3,33	2,98	-	2,16	0,88	0,55	-	0,38
25/04/15	44,58	47,70	44,58	33,77	23,16	8,78	-	6,07	4,12	2,98	-	2,16	2,14	0,55	-	0,38
27/04/15	97,83	47,84	-	33,77	19,58	8,81	-	6,07	8,63	3,00	-	2,16	1,73	0,55	-	0,38
28/04/15	159,86	48,02	-	33,77	22,17	8,84	-	6,07	13,62	3,01	-	2,16	1,89	0,55	-	0,38

C4. SP01

Tabela 75. Dados coletados – Mão de Obra – SP01 (elaboração do próprio autor).

	MÃO DE OBRA				
	OFICIAL	AJUDANTE	SOLDADOR	MO GLOBAL	MO ADM
MESES	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh
maio-11	438	-	-	639	-
junho-11	1418	-	-	2070	-
julho-11	2060	-	-	3008	-
agosto-11	2994	-	-	4372	-
setembro-11	2876	-	-	4200	-
outubro-11	1549	-	-	2261	-
novembro-11	2656	-	-	3877	-
dezembro-11	2213	-	-	3231	-
TOTAIS	16.204,18	0,00	0,00	23.658,11	0,00

Tabela 76. Dados coletados – Equipamento e QS – SP01 (elaboração do próprio autor).

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE DE SERVIÇO				
GRUA 1	PESO	PILAR	VIGAS	OUTROS	PEÇAS

MESES	Eq.h	t	unid	unid	unid	unid
maio-11	-	42,0	-	-	-	143
junho-11	-	82,0	-	-	-	254
julho-11	-	93,0	-	-	-	419
agosto-11	-	180,0	-	-	-	396
setembro-11	-	211,0	-	-	-	256
outubro-11	-	113,0	-	-	-	202
novembro-11	-	189,0	-	-	-	243
dezembro-11	-	84,0	-	-	-	150
0,00		994,00	0,00	0,00	0,00	2.063,00

Tabela 77. Processamento de dados – SP01 (elaboração do próprio autor).

INDICADORES DE PRODUTIVIDADE												
RUPof, peso				RUPof, peça				EfE, peso			EfE, peça	
MESES	MENSAL	ACUM	POT	MENSAL	ACUM	POT	MENSAL	ACUM	POT	MENSAL	ACUM	POT
maio-11	10,42	10,42	10,42	13,67	3,06	3,06	3,06	5,58	-	-	-	-
junho-11	17,29	14,97	-	13,67	5,58	4,67	5,58	5,58	-	-	-	-
julho-11	22,15	18,05	-	13,67	4,92	4,80	4,92	5,58	-	-	-	-
agosto-11	16,63	17,41	-	13,67	7,56	5,70	7,56	5,58	-	-	-	-
setembro-11	13,63	16,10	13,63	13,67	11,24	6,67	-	5,58	-	-	-	-
outubro-11	13,71	15,72	13,71	13,67	7,67	6,79	7,67	5,58	-	-	-	-
novembro-11	14,05	15,37	14,05	13,67	10,93	7,31	-	5,58	-	-	-	-
dezembro-11	26,35	16,30	-	13,67	14,75	7,85	-	5,58	-	-	-	-

C5. SP02

Tabela 78. Coleta de dados diários - Mão de Obra - - SP02 (elaboração do próprio autor).

MÃO DE OBRA					
	OFICIAL	AJUDANTE	SOLDADOR	MO GLOBAL	MO ADM
DIAS	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh
11/02/13	70	91	21	183	-
12/02/13	70	91	21	183	-
14/02/13	70	91	21	183	-

15/02/13	70	91	21	183	-
16/02/13	70	91	21	183	-
18/02/13	70	91	21	183	-
19/02/13	70	91	21	183	-
20/02/15	70	91	21	183	-
21/02/13	70	91	21	183	-
22/02/13	70	91	21	183	-
23/02/13	70	91	21	183	-
25/02/13	70	91	21	183	-
26/02/13	70	91	21	183	-
27/02/13	70	91	21	183	-
28/02/13	70	91	21	183	-
01/03/13	120	156	36	312	-
03/01/13	120	156	36	312	-
03/03/13	120	156	36	312	-
05/03/13	120	156	36	312	-
06/03/13	120	156	36	312	-
07/03/13	120	156	36	312	-
11/03/13	120	156	36	312	-
12/03/13	120	156	36	312	-
13/03/13	120	156	36	312	-
14/03/13	120	156	36	312	-
15/03/13	120	156	36	312	-
16/03/13	120	156	36	312	-
18/03/13	120	156	36	312	-
19/03/13	120	156	36	312	-
20/03/13	120	156	36	312	-
21/03/13	120	156	36	312	-
22/03/13	120	156	36	312	-
25/03/13	120	156	36	312	-
26/03/13	120	156	36	312	-
27/03/13	120	156	36	312	-
28/03/13	120	156	36	312	-
30/03/13	120	156	36	312	-

01/04/14	145	188	43	376	-
02/04/14	145	188	43	376	-
03/04/14	145	188	43	376	-
06/04/14	145	188	43	376	-
08/04/14	145	188	43	376	-
09/04/14	145	188	43	376	-
10/04/14	145	188	43	376	-
11/04/14	145	188	43	376	-
12/04/14	145	188	43	376	-

15/04/14	145	188	43	376	-
16/04/14	145	188	43	376	-
17/04/14	145	188	43	376	-
18/04/14	145	188	43	376	-
19/04/14	145	188	43	376	-
20/04/14	145	188	43	376	-
22/04/14	145	188	43	376	-
23/04/14	145	188	43	376	-
24/04/14	145	188	43	376	-
25/04/14	145	188	43	376	-
26/04/14	145	188	43	376	-
27/04/14	145	188	43	376	-
29/04/14	145	188	43	376	-
30/04/14	145	188	43	376	-
02/05/14	90	117	27	234	-
03/05/14	90	117	27	234	-
05/05/14	90	117	27	234	-
06/05/14	90	117	27	234	-
07/05/14	90	117	27	234	-
08/05/14	90	117	27	234	-
09/05/14	99	99	27	225	-
10/05/14	90	117	27	234	-
12/05/14	90	117	27	234	-
13/05/14	90	117	27	234	-
14/05/14	81	135	27	243	-
15/05/14	90	117	27	234	-
16/05/14	90	117	27	234	-
17/05/14	90	117	27	234	-
19/05/14	90	117	27	234	-
20/05/14	90	117	27	234	-
21/05/14	90	117	27	234	-
22/05/14	90	117	27	234	-
23/05/14	90	117	27	234	-
26/05/14	90	117	27	234	-
TOTAIS	8.822,31	11.469,00	2.646,69	22.938,00	0,00

Tabela 79. Coleta de dados diários – Equipamento e QS - – SP02 (elaboração do próprio autor).

	EQUIPAMENTO		QUANTIDADE DE SERVIÇO				
	GRUA 1		PESO	PILAR	VIGAS	OUTROS	PEÇAS
DIAS	Eq.h		t	unid	unid	unid	unid
11/02/13	-		4,1	6	0	0	6
12/02/13	-		7,5	8	0	0	8
14/02/13	-		4,9	5	2	0	7
15/02/13	-		2,8	0	6	0	6
16/02/13	-		3,4	0	7	0	7
18/02/15	-		5,9	3	7	0	10
19/02/15	-		3,3	0	9	0	9
20/02/15	-		8,5	0	19	0	19
21/02/15	-		2,9	0	9	0	9
22/02/15	-		3,3	0	9	0	9
23/02/15	-		0,6	0	1	0	1
25/02/15	-		1,2	0	2	0	2
26/02/15	-		1,6	0	3	0	3
27/02/15	-		3,8	0	7	0	7
28/02/15	-		5,2	0	10	0	10
01/03/15	-		2,4	0	3	0	3
02/03/15	-		6,3	0	15	0	15
03/03/15	-		3,1	0	12	0	12
05/03/15	-		6,4	0	20	0	20
06/03/15	-		6,4	0	19	0	19
07/03/15	-		1,1	0	5	0	5
11/03/15	-		1,5	0	5	0	5
12/03/15	-		9,6	0	27	0	27
13/03/15	-		3,2	0	11	0	11
14/03/15	-		9,2	0	22	0	22
15/03/15	-		6,3	0	27	0	27
16/03/15	-		4,9	0	24	0	24
18/03/15	-		3,4	0	7	0	7
19/03/15	-		3,4	0	15	0	15
20/03/15	-		2,1	0	9	0	9
21/03/15	-		1,3	2	0	0	2
22/03/15	-		9,4	10	1	0	11
25/03/15	-		6,7	10	1	0	11
26/03/15	-		2,7	0	4	0	4
27/03/15	-		13,2	0	19	0	19

28/03/15	-	7,8	0	14	9	23
30/03/15	-	9,6	0	15	0	15

01/04/15	-	5,8	0	15	0	15
02/04/15	-	7,6	0	20	0	20
03/04/15	-	3,5	0	20	0	20
06/04/15	-	1,1	0	5	0	5
08/04/15	-	5,3	0	6	0	6
09/04/15	-	7,3	0	24	0	24
10/04/15	-	7,5	0	16	0	16
11/04/15	-	5,5	0	4	0	4
12/04/15	-	3,5	0	16	0	16
15/04/15	-	9,5	5	9	11	25
16/04/15	-	9,5	0	13	0	13
17/04/15	-	10,5	1	32	0	33
18/04/15	-	3,5	1	11	0	12
19/04/15	-	5,4	2	10	0	12
20/04/15	-	1,9	0	3	0	3
22/04/15	-	6,3	1	19	0	20
23/04/15	-	6,2	1	14	0	15
24/04/15	-	4,0	0	19	0	19
25/04/15	-	2,3	1	6	0	7
26/04/15	-	1,9	1	9	0	10
27/04/15	-	2,1	0	11	0	11
29/04/15	-	3,2	0	18	0	18
30/04/15	-	3,5	0	18	0	18
02/05/14	-	8,1	0	12	14	26
03/05/14	-	2,4	0	0	12	12
05/05/14	-	2,7	0	1	12	13
06/05/14	-	1,5	0	2	6	8
07/05/14	-	2,4	0	0	12	12
08/05/14	-	2,4	0	0	12	12
09/05/14	-	1,2	0	0	6	6
10/05/14	-	1,2	0	0	6	6
12/05/14	-	2,4	0	0	12	12
13/05/14	-	2,7	0	3	12	15
14/05/14	-	3,5	0	2	21	23
15/05/14	-	3,4	0	1	19	20
16/05/14	-	1,6	0	0	7	7
17/05/14	-	0,6	0	0	1	1
19/05/14	-	1,0	0	0	6	6
20/05/14	-	1,8	0	4	0	4
21/05/14	-	2,9	0	3	0	3
22/05/14	-	2,3	0	11	0	11
23/05/14	-	2,2	0	3	0	3

26/05/14	-	2,0	0	4	0	4
	0,00	344,53	57,00	730,00	178,00	965,00

Tabela 80. Processamento de dados diários – SP02 (elaboração do próprio autor).

	INDICADORES DE PRODUTIVIDADE															
	RUPof, peso				RUPof, peça				EfE, peso				EfE, peça			
DIAS	DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT	
11/02/13	16,98	16,98	16,98	14,28	11,71	11,71	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
12/02/13	9,34	12,05	9,34	14,28	8,78	10,04	8,78	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
14/02/13	14,28	12,71	14,28	14,28	10,04	10,04	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
15/02/13	25,45	14,53	-	14,28	11,71	10,41	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
16/02/13	20,42	15,42	20,42	14,28	10,04	10,33	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
18/02/15	11,83	14,68	11,83	14,28	7,03	9,58	7,03	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
19/02/15	21,53	15,38	-	14,28	7,81	9,28	7,81	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
20/02/15	8,27	13,88	8,27	14,28	3,70	7,81	3,70	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
21/02/15	23,82	14,56	-	14,28	7,81	7,81	7,81	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
22/02/15	20,98	15,02	-	14,28	7,81	7,81	7,81	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
23/02/15	120,72	16,32	-	14,28	70,26	8,49	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
25/02/15	60,46	17,37	-	14,28	35,13	9,07	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
26/02/15	42,68	18,20	-	14,28	23,42	9,51	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
27/02/15	18,48	18,22	18,48	14,28	10,04	9,55	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
28/02/15	13,46	17,80	13,46	14,28	7,03	9,33	7,03	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
01/03/15	51,01	19,07	-	14,28	39,98	10,12	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
02/03/15	18,89	19,06	18,89	14,28	8,00	9,88	8,00	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
03/03/15	38,76	19,92	-	14,28	9,99	9,89	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
05/03/15	18,67	19,81	18,67	14,28	6,00	9,41	6,00	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
06/03/15	18,86	19,74	18,86	14,28	6,31	9,09	6,31	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
07/03/15	105,11	20,89	-	14,28	23,99	9,48	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
11/03/15	77,73	21,90	-	14,28	23,99	9,86	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
12/03/15	12,51	20,96	12,51	14,28	4,44	9,19	4,44	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
13/03/15	37,95	21,50	-	14,28	10,90	9,27	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
14/03/15	13,05	20,79	13,05	14,28	5,45	8,94	5,45	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
15/03/15	19,09	20,69	19,09	14,28	4,44	8,51	4,44	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
16/03/15	24,54	20,85	-	14,28	5,00	8,23	5,00	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
18/03/15	35,45	21,25	-	14,28	17,13	8,43	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-
19/03/15	35,48	21,63	-	14,28	8,00	8,41	8,00	6,67	-	-	-	-	-	-	-	-

20/03/15	57,97	22,22	-	14,28	13,33	8,54	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-
21/03/15	91,41	22,92	-	14,28	59,97	8,85	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-
22/03/15	12,70	22,23	12,70	14,28	10,90	8,91	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-
25/03/15	18,00	22,03	18,00	14,28	10,90	8,97	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-
26/03/15	43,74	22,43	-	14,28	29,98	9,21	-	6,67	-	-	-	-	-	-	-
27/03/15	9,10	21,35	9,10	14,28	6,31	9,06	6,31	6,67	-	-	-	-	-	-	-
28/03/15	15,37	21,07	15,37	14,28	5,21	8,84	5,21	6,67	-	-	-	-	-	-	-
30/03/15	12,50	20,61	12,50	14,28	8,00	8,81	8,00	6,67	-	-	-	-	-	-	-

01/04/15	25,04	25,04	25,04	23,13	9,65	9,65	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
02/04/15	19,04	21,63	19,04	23,13	7,24	8,27	7,24	7,24	-	-	-	-	-	-	-
03/04/15	40,98	25,67	-	23,13	7,24	7,90	7,24	7,24	-	-	-	-	-	-	-
06/04/15	133,07	32,16	-	23,13	28,96	9,65	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
08/04/15	27,35	31,07	27,35	23,13	24,13	10,97	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
09/04/15	19,73	28,35	19,73	23,13	6,03	9,65	6,03	7,24	-	-	-	-	-	-	-
10/04/15	19,25	26,56	19,25	23,13	9,05	9,56	9,05	7,24	-	-	-	-	-	-	-
11/04/15	26,21	26,52	26,21	23,13	36,20	10,53	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
12/04/15	41,83	27,64	-	23,13	9,05	10,34	9,05	7,24	-	-	-	-	-	-	-
15/04/15	15,28	25,57	15,28	23,13	5,79	9,59	5,79	7,24	-	-	-	-	-	-	-
16/04/15	15,21	24,08	15,21	23,13	11,14	9,71	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
17/04/15	13,84	22,68	13,84	23,13	4,39	8,82	4,39	7,24	-	-	-	-	-	-	-
18/04/15	41,17	23,49	-	23,13	12,07	9,01	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
19/04/15	26,77	23,70	26,77	23,13	12,07	9,17	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
20/04/15	76,16	24,84	-	23,13	48,26	9,70	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
22/04/15	23,13	24,73	23,13	23,13	7,24	9,49	7,24	7,24	-	-	-	-	-	-	-
23/04/15	23,23	24,63	23,23	23,13	9,65	9,50	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
24/04/15	36,59	25,09	-	23,13	7,62	9,37	7,62	7,24	-	-	-	-	-	-	-
25/04/15	62,11	25,90	-	23,13	20,68	9,65	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
26/04/15	74,55	26,77	-	23,13	14,48	9,82	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
27/04/15	69,21	27,58	-	23,13	13,16	9,94	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
29/04/15	45,83	28,09	-	23,13	8,04	9,83	8,04	7,24	-	-	-	-	-	-	-
30/04/15	41,76	28,49	-	23,13	8,04	9,74	8,04	7,24	-	-	-	-	-	-	-
02/05/14	11,17	27,38	11,17	23,13	3,46	9,29	3,46	7,24	-	-	-	-	-	-	-
03/05/14	36,95	27,56	-	23,13	7,50	9,24	7,50	7,24	-	-	-	-	-	-	-
05/05/14	33,90	27,69	-	23,13	6,92	9,16	6,92	7,24	-	-	-	-	-	-	-
06/05/14	60,52	28,06	-	23,13	11,25	9,20	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
07/05/14	36,95	28,22	-	23,13	7,50	9,15	7,50	7,24	-	-	-	-	-	-	-
08/05/14	36,95	28,38	-	23,13	7,50	9,11	7,50	7,24	-	-	-	-	-	-	-
09/05/14	79,90	28,84	-	23,13	16,50	9,21	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
10/05/14	75,19	29,24	-	23,13	15,00	9,29	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
12/05/14	36,96	29,37	-	23,13	7,50	9,24	7,50	7,24	-	-	-	-	-	-	-
13/05/14	33,17	29,45	-	23,13	6,00	9,14	6,00	7,24	-	-	-	-	-	-	-
14/05/14	23,16	29,30	23,16	23,13	3,52	8,87	3,52	7,24	-	-	-	-	-	-	-
15/05/14	26,61	29,24	26,61	23,13	4,50	8,70	4,50	7,24	-	-	-	-	-	-	-
16/05/14	55,05	29,51	-	23,13	12,86	8,75	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-

17/05/14	150,50	29,99	-	23,13	90,00	8,91	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
19/05/14	86,87	30,37	-	23,13	15,00	8,98	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
20/05/14	49,15	30,59	-	23,13	22,50	9,09	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
21/05/14	31,48	30,61	-	23,13	30,00	9,20	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
22/05/14	38,35	30,72	-	23,13	8,18	9,18	8,18	7,24	-	-	-	-	-	-	-
23/05/14	40,38	30,85	-	23,13	30,00	9,30	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-
26/05/14	44,40	31,02	-	23,13	22,50	9,40	-	7,24	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 81. Coleta de dados mensais - Mão de Obra – SP02 (elaboração do próprio autor).

MÃO DE OBRA					
	OFICIAL	AJUDANTE	SOLDADOR	MO GLOBAL	MO ADM
DIAS	Hh	Hh	Hh	Hh	Hh
fevereiro-13	1054	1370	316	2740	-
março-13	2638	3430	792	6860	-
abril-13	3330	4329	999	8658	-
maio-13	3028	3936	908	7872	-
junho-13	2863	3722	859	7444	-
julho-13	3017	3922	905	7844	-
agosto-13	3619	4705	1086	9409	-
setembro-13	4606	5988	1382	11975	-
outubro-13	6746	8770	2024	17540	-
novembro-13	7153	9299	2146	18598	-
dezembro-13	6290	8178	1887	16355	-
janeiro-14	8314	10808	2494	21616	-
fevereiro-14	8452	10988	2536	21975	-

TOTAIS = 61110 79443 18333 158886

Tabela 82. Coleta de dados mensais – Equipamento e QS – SP02 (elaboração do próprio autor).

EQUIPAMENTO		QUANTIDADE DE SERVIÇO				
GRUA 1		PESO	PILAR	VIGAS	OUTROS	PEÇAS
DIAS	Eq.h	t	unid	unid	unid	unid

fevereiro-13	-	56,0	-	-	-	128
março-13	-	119,0	-	-	-	295
abril-13	-	112,0	-	-	-	343
maio-13	-	137,0	-	-	-	326
junho-13	-	150,0	-	-	-	348
julho-13	-	103,0	-	-	-	300
agosto-13	-	195,0	-	-	-	592
setembro-13	-	200,0	-	-	-	611
outubro-13	-	231,0	-	-	-	749
novembro-13	-	258,0	-	-	-	723
dezembro-13	-	206,0	-	-	-	647
janeiro-14	-	196,0	-	-	-	664
fevereiro-14	-	266,0	-	-	-	1029

Tabela 83. Processamento de dados mensais - Mão de Obra – SP02 (elaboração do próprio autor).

	INDICADORES DE PRODUTIVIDADE														
	RUPof, peso				RUPof, peça				EfE, peso			EfE, peça			
	DIAS	DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT		DIARIA	ACUM	POT	DIARIA	ACUM	POT
	fevereiro-13	18,82	18,82	18,82	20,59	8,23	8,23	8,23	8,23	-	-	-	-	-	-
	março-13	22,17	21,10	22,17	20,59	8,94	8,73	8,94	8,23	-	-	-	-	-	-
	abril-13	29,73	24,47	-	20,59	9,71	9,17	-	8,23	-	-	-	-	-	-
	maio-13	22,10	23,70	22,10	20,59	9,29	9,20	-	8,23	-	-	-	-	-	-
	junho-13	19,09	22,50	19,09	20,59	8,23	8,97	8,23	8,23	-	-	-	-	-	-
	julho-13	29,29	23,53	-	20,59	10,06	9,16	-	8,23	-	-	-	-	-	-
	agosto-13	18,56	22,42	18,56	20,59	6,11	8,38	6,11	8,23	-	-	-	-	-	-
setembro-13	23,03	22,53	23,03	20,59	7,54	8,21	7,54	8,23	-	-	-	-	-	-	
outubro-13	29,20	23,72	-	20,59	9,01	8,37	9,01	8,23	-	-	-	-	-	-	
novembro-13	27,73	24,38	-	20,59	9,89	8,62	-	8,23	-	-	-	-	-	-	
dezembro-13	30,54	25,10	-	20,59	9,72	8,76	-	8,23	-	-	-	-	-	-	
janeiro-14	42,42	26,83	-	20,59	12,52	9,20	-	8,23	-	-	-	-	-	-	
fevereiro-14	31,77	27,42	-	20,59	8,21	9,05	8,21	8,23	-	-	-	-	-	-	