

GLADYS DEIFAN BASTIDAS GUSTIN

**APLICAÇÃO DE REDES DE PETRI INTERPRETADAS
NA MODELAGEM DE SISTEMAS DE ELEVADORES EM
EDIFÍCIOS INTELIGENTES**

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

São Paulo
1999

GLADYS DEIFAN BASTIDAS GUSTIN

**APLICAÇÃO DE REDES DE PETRI INTERPRETADAS
NA MODELAGEM DE SISTEMAS DE ELEVADORES EM
EDIFÍCIOS INTELIGENTES**

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

Área de Concentração: Engenharia
Mecânica/ Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo
1999

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA
ENGENHARIA MECÂNICA/NAVAL DA ESCOLA POLITÉCNICA EPMN - USP

Bastidas Gustin, Gladys Deifan

Aplicação de Redes de Petri Interpretadas na Modelagem de
Sistemas de Elevadores em Edifícios Inteligentes, São Paulo, 1999.
164p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Sistemas de Elevadores 2. Edifícios Inteligentes 3. Redes de
Petri 4. Metodologia PFS/MFG .
Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia Mecânica II. t

Ao meu esposo Pablo, pelo amor, carinho, compreensão, ajuda e apoio em todo momento. A meus pais Gilberto e Nery e aos meus irmãos Mauricio, Ronal, Jairo e Sergio por estar sempre comigo dando-me seu carinho e apoio .

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão que não conhece limites:

A Deus e a Nossa Senhora.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi, pelas diretrizes seguras, orientação, supervisão, confiança, paciência e oportunidade que concedeu-me para o desenvolvimento desta pesquisa e por todo o apoio prestado durante estes anos.

Ao Prof. Dr. Diolino Dos Santos Filho, pela colaboração, apoio, sugestões e discussões levantadas ao longo do período de pesquisa as quais foram fundamentais na elaboração e consolidação do trabalho.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo apoio financeiro deste trabalho.

Ao pessoal do HC-FMUSP, pela colaboração para a realização desta pesquisa.

Aos meus professores, a todos os membros do grupo SED – SH e aos meus amigos da sala MC – 1 que com sua ajuda, sugestões e estímulo tornaram possível este trabalho.

A todos meus amigos e familiares, pela sua ajuda, apoio e carinho.

Agradeço em especial a Pablo, que esteve do meu lado em todos os momentos com carinho, amor, compreensão e incentivo.

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Lista de Abreviaturas	
Resumo	
Abstract	
<u>CAPÍTULO 1</u>	<u>1</u>
INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÕES	1
1.2. OBJETIVO	5
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	5
<u>CAPÍTULO 2</u>	<u>8</u>
EDIFÍCIOS INTELIGENTES E SISTEMAS DE ELEVADORES	8
2.1. EDIFÍCIOS INTELIGENTES	8
2.1.1. DEFINIÇÃO	9
2.1.2. OBJETIVOS E CARACTERÍSTICAS	11
2.1.3. INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS EM EDIFÍCIOS INTELIGENTES	13
2.2. SISTEMAS DE ELEVADORES	17
2.2.1. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	18
2.2.2. CONTROLE DO SISTEMA DE ELEVADORES	20
2.2.3. INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE ELEVADORES EM EDIFÍCIOS INTELIGENTES	25
2.2.4. CARATERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ELEVADORES	28
2.3. OBSERVAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	29
<u>CAPÍTULO 3</u>	<u>30</u>
APLICAÇÃO DE REDE DE PETRI	30
3.1. REDE DE PETRI	31
3.1.1. CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS DAS REDES DE PETRI	32
3.1.2. METODOLOGIA PFS/MFG	35

3.2. OBSERVAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	58
<u>CAPÍTULO 4</u>	<u>60</u>
<u>METODOLOGIA DE MODELAGEM DE SISTEMAS DE ELEVADORES</u>	<u>60</u>
4.1. METODOLOGIA PROPOSTA	60
4.2. OBSERVAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	68
<u>CAPÍTULO 5</u>	<u>69</u>
<u>ESTUDO DE CASO</u>	<u>69</u>
5.1. PRÉDIO DOS AMBULATÓRIOS (PAMB)	69
5.1.1. Aplicação da Metodologia Proposta ao Sistema de Elevadores do PAMB	71
5.2. OBSERVAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	132
<u>CAPÍTULO 6</u>	<u>133</u>
<u>COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES</u>	<u>133</u>
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</u>	<u>136</u>
APÊNDICE I	I. 1
APÊNDICE II	II. 1

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Estrutura hierárquica de integração em edifícios inteligentes.....	16
Figura 2.2 Elementos básicos envolvidos na operação do sistema de elevadores.....	19
Figura 2.3 Diagrama conceitual básico do sistema de controle de SED.....	20
Figura 2.4 Configuração do sistema de controle de grupo	24
Figura 2.5 Configuração da integração do sistema de elevadores com o sistema de gerenciamento do edifício.....	26
Figura 3.1 Exemplo de um modelo em PFS com a identificação de seus elementos estruturais e a características de SEDs que é capaz de modelar	37
Figura 3.2 a). Início de atividade devido à ocorrência de dois eventos	38
b). Término de atividade devido à ocorrência de dois eventos.....	38
Figura 3.3 Interpretações típicas dos fluxos secundários.....	40
Figura 3.4 Alguns possíveis refinamentos de atividades.....	41
Figura 3.5 Exemplo do refinamento de atividades	42
Figura 3.6 Exemplo do refinamento de inter-atividades.....	42
Figura 3.7 Exemplo de um modelo em MFG com a identificação.....	44
de seus elementos estruturais.....	44
Figura 3.8 Exemplo de boxes conflito.....	47
Figura 3.9 Exemplos de arbitragens de conflitos.....	48
Figura 3.10 Elementos que consideram o conceito do tempo em MFG	50
Figura 3.11 Exemplo da estrutura de uma marca individual composta.....	52
Figura 3.12 Exemplo de uma inscrição na transição	53
Figura 3.14 Exemplo de um box controlador alterando os atributos de uma marca.....	55
Figura 3.15 Nomenclatura da legenda dos filtros	56
Figura 3.17 Modelo em MFG com arcos auto-modificáveis.....	58
Figura 4.1 Metodologia para a modelagem de sistemas de elevadores em EI.....	61
Figura 4.2 Descomposição da descrição de um sistema em parte operativa e parte de controle	65
Figura 5.1 Localização do PAMB no complexo hospitalar das Clínicas.....	70
Figura 5.2. Planta ilustrativa do prédio dos ambulatórios (PAMB) com a disposição dos elevadores.....	74
Figura 5.3 Modelo estrutural do sistema de elevadores do PAMB	84

Figura 5.4 Modelo conceitual em PFS do controle dos grupos.	86
Figura 5.5 Detalhamento em MFG das atividades [ligar elevadores] e [serviço independente].	86
Figura 5.6 Esquema das atividades realizadas pelo controle de grupo.....	87
Figura 5.7 Modelo em PFS das estratégias de controle consideradas para cada um dos grupos do PAMB	88
Figura 5.8 Representação de uma solicitação para subir de primeira ordem (de andar)	90
Figura 5.9 Representação de uma solicitação para subir de primeira ordem (de cabina).....	90
Figura 5.10 Representação de uma solicitação para subir de segunda ordem	91
Figura 5.11 Representação de uma solicitação para subir de terceira ordem (de andar).....	92
Figura 5.12 Representação de uma solicitação para subir de terceira ordem (de cabina).	92
Figura 5.13 Representação de uma solicitação para subir de quarta ordem.	93
Figura 5.14 Modelo em PFS da estratégia duplex/triplex.....	93
Figura 5.15 Refinamento em MFG (E-MFG) da atividades [receber chamadas de andar].	94
Figura 5.16 Refinamento em MFG (E-MFG) da atividade [determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 2 ao 9) e designar o elevador para chamadas nestes andares]. Primeira parte.	95
Figura 5.17 Refinamento em MFG(E-MFG, MFG auto-modificável) da atividades [determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 2 ao 9) e designar o elevador para chamadas nestes andares]. Segunda parte.	96
Figura 5.18 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [Determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 1 ou 10) e designar o elevador para chamadas destes andares]. Primeira parte.	98
Figura 5.19 Modelo em MFG (E-MFG, MFG auto-modificável) da atividade [Determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 1 ou 10) e designar o elevador para chamadas destes andares] Segunda parte.....	99
Figura 5.20 Modelo conceitual em PFS da estratégia para tráfego de pico de subida.....	100
Figura 5.21 Modelo MFG (E-MFG) da atividade [receber chamadas de andar].....	101
Figura 5.22 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [designar elevador 1 para atender chamadas de decida]	102
Figura 5.23 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [designar elevador 2 e 3 para atender chamadas de subida no andar 5].....	102
Figura 5.24 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [Designar elevador 2 ou 3 mais perto para atender chamadas de subida em andares diferentes do andar 5]	103

Figura 5.25 Modelo em PFS da estratégia para tráfego de pico de descida.	104
Figura 5.26 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [Gerar e receber chamadas de andar] ...	105
Figura 5.27 Modelo em PFS da estratégia em caso de incêndio fase-1 para o grupo B	106
Figura 5.28 Modelo em PFS da estratégia em caso de incêndio fase - 2 para o grupo B	106
Figura 5.29 Modelo em PFS da estratégia em caso de falta de energia para o grupo B	107
Figura 5.30 Modelo em PFS da estratégia de manutenção para o grupo B	107
Figura 5.31 Modelo em PFS da estratégia em caso de falha de elevador no grupo B	108
Figura 5.32 Detalhamento em MFG (E-MFG) da atividade [Cancelar as solicitações do gerenciador de chamadas de cada elevador do grupo]	108
Figura 5.33 Detalhamento em MFG (E-MFG) da atividade [enviar um elevador a serviço independente]	109
Figura 5.34 Modelo em MFG (E-MFG) da operação colocar elevador em serviço em grupo.	110
Figura 5.35 Modelo em MFG (E-MFG) da operação ligar elevadores	111
Figura 5.36 Modelo MFG (E-MFG) da operação parar os elevadores do grupo no andar mais próximo.	112
Figura 5.37 Modelo em MFG (E-MFG) da operação movimentar elevadores do grupo sucessivamente até o térreo	113
Figura 5.38 Modelo em MFG (E-MFG) da operação desabilitar botões de cabina de cada elevador do grupo ativada pelas estratégias de incêndio fase - 1 e falta de energia.....	114
Figura 5.39 Modelo em MFG (E-MFG) da operação desabilitar botões de cabina de elevador	115
Figura 5.40 Modelo em PFS da operação colocar elevador em serviço independente ativada por interruptor de andar	116
Figura 5.41 Modelo em PFS da operação colocar elevador em serviço independente ativada por interruptor de cabina	117
Figura 5.42 Modelo em PFS da operação colocar elevador em serviço independente ativada por uma estratégia ou pelo sistema de gerenciamento do edifício	117
Figura 5.43 Detalhamento em MFG (E-MFG) da atividade [Retirar elevador do serviço em grupo]	117
Figura 5.44 modelo em MFG (E-MFG) da atividade [escolher o elevador mais perto do andar solicitado]	118
Figura 5.45 Detalhamento em MFG (E-MFG) da atividade [movimentar o elevador até o andar requerido]	119

Figura 5.46	Modelo em MFG (E-MFG) da operação retirar elevador do serviço em grupo....	119
Figura 5.47	Exemplo em MFG (E-MFG) da conexão entre estratégia e operação	120
Figura 5.48	Modelo do controle de cabina identificando seus módulos e interações.....	121
Figura 5.49	Modelo em MFG (E-MFG) do módulo de gerenciamento de chamadas	122
Figura 5.50	Modelo em MFG (E-MFG) do módulo de inversão do sentido de movimento	123
Figura 5.51	Modelo em MFG (E-MFG, MFG auto-modificável) do módulo de permissão....	124
Figura 5.52	Modelos em MFG do módulo dos estados de operação.....	125
Figura 5.53	Modelo em MFG (E-MFG) do controle de andar	126
Figura 5.54	Modelo em PFS do objeto de controle (cabina 1 e dispositivo de atuação)	128
Figura 5.55	Detalhamento em PFS da atividade [subir]	129
Figura 5.56	Detalhamento em PFS da atividade [subir do andar 1]	129
Figura 5.57	Detalhamento em PFS da inter-atividade parada no andar.....	130
Figura 5.58	Modelo em MFG do objeto de controle	131
Figura I.1	Exemplo da trajetória de um SED	I. 2
Figura I.2	Exemplo de trajetória de um SVC	I. 3
Figura II.1	a) Arcos múltiplos.b) Representação compacta.....	II. 2
Figura II.2	a) Transição habilitada. b) Marcação após o disparo.....	II. 3
Figura II.3	Modelo simples de um sistema computacional.....	II. 6
Figura II.4	Exemplo de rede de Petri e seu respectivo árvore de alcançabilidades.....	II. 14
Figura. II.5	Representação dos elementos de uma C-net	II. 17

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Classificação das funções do edifício inteligente.....	12
Tabela 2.2	Dispositivos usados no controle de sistemas de elevadores.....	20
Tabela 3.1	Macro elementos do MFG.....	50
Tabela 3.2	Portas dos macro elementos do MFG.....	51
Tabela 5.1	Algumas informações do sistema de elevadores do PAMB.....	73
Tabela 5.2	Número de grupos de elevadores no PAMB.....	74
Tabela 5.3	Andares servidos e paradas dos elevadores do PAMB.....	75
Tabela I.1	Classificação dos modelos de SEDs.....	I. 5
Tabela II.1	Exemplo de redes de Petri interpretadas.....	II. 12

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

BISDN	Broadbands Integrated Services Digital Network
EI	Edifício Inteligente
E-MFG	Extended Mark Flow Graph
F-MFG	Functional Mark Flow Graph
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
ISDN	Integrated Services Digital Network
MFG	Mark Flow Graph
PFS	Production Flow Schema
RP	Rede de Petri
SED	Sistemas a Eventos Discretos
SGE	Sistema de Gerenciamento do edifício

RESUMO

O sistema de elevadores como equipamento para o transporte vertical de pessoas e bens é um componente fundamental no projeto de edifícios e, neste âmbito, a disponibilidade e eficiência do seu serviço deve ser objeto de cuidadosa análise em função de sua influência no desempenho e produtividade das atividades dos usuários do prédio. Neste contexto e considerando especificamente os edifícios inteligentes cuja finalidade é a otimização a nível estrutural e funcional do edifício como um todo, e onde a integração entre seus sistemas cumpre um papel fundamental para atingir estes objetivos, o presente trabalho propõe uma metodologia para a modelagem de sistemas de elevadores nestes prédios, que considera a sua integração com outros sistemas prediais.

A abordagem empregada no desenvolvimento deste trabalho baseia-se na caracterização dos sistemas de elevadores como sistemas a eventos discretos (SED), pois sua dinâmica é definida através da ocorrência de eventos e a manutenção de estados discretos. Assim, na metodologia utiliza-se técnicas derivadas das redes de Petri (redes de Petri interpretadas), de comprovada eficiência para a modelagem, análise e controle de SEDs. Estas ferramentas são usadas através de uma abordagem estrutural, onde o sistema é modelado em diferentes níveis de abstração: um modelo conceitual obtido pelo uso da técnica PFS (Production Flow Schema) em um primeiro nível, e o refinamento deste para modelos funcionais através do uso do MFG (Mark Flow Graph) e suas extensões, onde são preservadas as estruturas das atividades do nível superior e são descritos os detalhes em um nível funcional.

A metodologia proposta confirmou ser útil e eficiente para a modelagem do sistema de elevadores em edifícios inteligentes, ao permitir a especificação do modelo funcional de todo o sistema (objeto de controle e sistema de controle) e das estratégias que facilitam a sua integração com outros sistemas prediais.

Palavras-chave: Redes de Petri, Edifícios Inteligentes, Sistemas de Elevadores, Modelagem, Sistemas a Eventos Discretos.

ABSTRACT

The elevator system as mean for the vertical transport of people and goods is a fundamental component in the design of buildings. The availability and efficiency of this service must be object of careful analysis due to its influence on the performance and productivity of the building users' activities. In intelligent buildings, the purpose is the optimization of its structural and functional levels and where also the integration between all building systems accomplishes a fundamental role to reach these objectives. In this context, this work proposes a methodology for the modeling of elevator systems in these buildings, which consider your integration with others buildings systems.

The approach developed in this work is based on the characterization of elevator systems as Discrete Event Systems (DES), since the dynamic behavior is defined through the discrete events and discrete states. The proposed methodology uses techniques, that are derived of interpreted Petri nets, which has been proven as an efficient tool for modeling, analysis and control of DES. In this context, systems are modeled in different levels of abstraction: a conceptual model which is obtained by using the PFS (Production Flow Schema) technique level, and a functional model by using MFG (Mark Flow Graph) and its extensions. The MFG abstraction level describes details in a functional form, where are preserved the description activities of previous levels.

The methodology proposal confirmed to be useful and efficient to elevator systems modeling, when allowing the functional specification of the whole system (object of control and control system), and strategies that facilitate its integration with others building systems.

Key words: Petri Nets, Intelligent Buildings, Elevator Systems, Modeling, Discret Event Systems.

SUMÁRIO APÊNDICES

APÊNDICE I	I. 1
SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS – SED	I. 1
I.1 MODELOS DE SED	I. 3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	I. 6
APÊNDICE II	II. 1
REDES DE PETRI	II. 1
II.1 ESTRUTURA DE UMA REDE DE PETRI	II. 2
II.2 MARCAÇÃO DE UMA REDE DE PETRI	II. 2
II. 3 PROPRIEDADES DAS REDES DE PETRI	II. 4
II. 4 MÉTODO DE VERIFICAÇÃO DE UMA REDE DE PETRI	II. 5
II. 5 CLASSES DE REDES DE PETRI	II. 9
II.5.1 REDES DE PETRI ORDINÁRIAS	II. 9
II.5.3 EXTENSÕES DE REDES DE PETRI	II. 11
II.5.4 REDES DE PETRI INTERPRETADAS	II. 11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	II. 18

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Este capítulo, apresenta a justificativa, as motivações e o objetivo para o desenvolvimento deste trabalho, bem como a organização do texto.

1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÕES

As demandas do mundo atual fazem da eficiência, a produtividade e a segurança os principais aspectos que devem ser levados em conta ao projetar ou modificar um sistema. Para conseguir estes objetivos tem-se que, necessariamente, considerar novos conceitos e diferentes técnicas e abordagens que possam ser aplicadas, tanto para a modelagem do sistema como para sua avaliação, além, evidentemente, do aproveitamento eficiente e efetivo dos recursos de alta tecnologia atualmente disponíveis.

Considerando estes fatores para a situação em que o objetivo é o projeto de edifícios inteligentes, observa-se que novas metodologias estão sendo desenvolvidas no sentido de considerar peculiaridades relacionadas à funcionalidade que se deseja associar ao sistema do edifício. De acordo com estas abordagens, o comportamento e interação dos usuários que utilizam um determinado edifício devem ser considerados e devidamente estudados para incrementar a produtividade destes indivíduos neste ambiente, uma vez que o edifício ofereceria, assim, um lugar mais apto para atender às suas necessidades [Finley et al., 1991].

Neste contexto, a diversificação e evolução dos serviços oferecidos e disponibilizados num edifício, a difusão e popularização das tecnologias mecatrônicas (incluindo teleoperação e monitoração remota) e da informação e, a necessidade de maior flexibilidade e versatilidade dos recursos, envolvem um novo paradigma para a concepção de edifícios, passando a incorporar até mesmo fatores comportamentais que promovem a produtividade nas tarefas que se realizam em seu interior [Finley et al., 1991]. Estes edifícios devem assim, ser projetados (sua concepção deve considerar novas técnicas de planejamento, construção, manutenção, gestão e atualização) de forma que possam absorver novas tecnologias para incrementar sua competitividade e adaptar-se aos requerimentos que a futura sociedade exigirá, procurando se manter produtivos ao longo de todo seu ciclo de vida, evitando a obsolescência prematura.

De acordo com as considerações anteriores, um edifício inteligente para alcançar suas metas deve incorporar sistemas mecatrônicos e de informação, que o capacitem para a prestação de serviços avançados com elevado grau de autonomia, permitindo além do controle automatizado, a monitoração, gestão e manutenção dos diferentes sistemas de serviços do edifício, considerando critérios de otimização e integração, com operação local e/ou remota, e com flexibilidade para possibilitar de maneira simples e econômica a incorporação de novos sistemas [Roth, 88].

Dentro desta perspectiva e, considerando que os elevadores como equipamento para o transporte vertical de pessoas e bens, são um dos sistemas fundamentais de suporte às atividades de locomoção dos usuários, deve-se estudar meios para implementar a sua integração [Clark G. et al., 1995] com outros sistemas prediais (como o sistema de prevenção de incêndios, o sistema de controle e gestão de energia, etc.). Esta integração é em geral prevista através do denominado Sistema de Gerenciamento do Edifício

(Building Management System - BMS) [Arkin & Paciuk, 1995], que inexistem nos edifícios tradicionais.

Além disso, deve-se ter em conta que o transporte vertical é um componente fundamental no projeto de edifícios e, representa uma porção substancial dos custos de construção e manutenção de um edifício [Strakosch, 1983]. Neste sentido, a disponibilidade e eficiência do seu serviço, deve ser objeto de cuidadosa análise em função de sua influência no desempenho e produtividade das atividades dos usuários do edifício, o que evidencia a importância do planejamento adequado quando se refere a seus requerimentos quantitativos e qualitativos.

Considerando ainda a importância que têm os sistemas de elevadores nos edifícios em geral e, em especial no âmbito dos edifícios inteligentes ao contribuir para alcançar seus objetivos, é evidente que seu projeto e operação necessitem de técnicas de modelagem e análise, que visem selecionar alternativas ótimas de projeto e políticas de operação de forma a reduzir tempos e custos.

Desta maneira e dada a complexidade dos sistemas de elevadores, torna-se muito importante uma modelagem adequada que permita verificar a dinâmica do sistema e, sua integração com outros sistemas prediais além de facilitar uma posterior análise deste. Isto justifica o estudo de metodologias para auxiliar e direcionar o desenvolvimento dos modelos. Pode-se encontrar alguns trabalhos para a modelagem destes sistemas, entretanto nem todas as abordagens consideram a coordenação entre elevadores e nenhum trabalho versa sobre a integração com outros sistemas prediais.

Assim, a realização deste trabalho deriva da necessidade existente de uma metodologia que permita modelar sistemas de elevadores, considerando sua interação com outros sistemas prediais em um edifício inteligente.

Baseado nos aspectos acima citados e, considerando que a maior parte dos sistemas de edifícios, em particular os sistemas de elevadores, têm como característica um comportamento dinâmico definido através das mudanças (evolução) de estados como consequência da ocorrência de eventos discretos (sistemas denominados como Sistemas a Eventos Discretos–SED [Ramadge & Wonham 1989; Miyagi, 1996], vide apêndice D), o presente trabalho estuda a aplicação da teoria de redes de Petri (como técnica para a modelagem, análise, controle e projeto de SEDs) neste sistema, por ser esta uma técnica de comprovada eficiência para sistemas desta natureza [Gomes, 1997] e adequada em função das características dos modelos derivados dela, como são[Ho, 1991]:

- Facilidade na descrição da dinâmica do sistema tanto no sentido de desenvolvimento do modelo quanto no de interpretação deste.
- Consideração das características quantitativas e qualitativas, possibilitando a análise destas informações.

As redes de Petri e técnicas derivadas, como é o caso do MFG (Mark Flow Graph), tem sido introduzidas com sucesso como ferramentas eficientes para aplicações em sistemas de manufatura, sistemas de informação, etc.[Miyagi,1988; Arakaki, 1993; Santos, 1993; Liu, 1993; Kagohara, 1998]. Entretanto, dependendo da complexidade dos sistemas a serem considerados, os modelos gerados podem tornar-se muito difíceis de serem compreendidos e tratados. Para resolver esse problema, foi introduzida a metodologia PFS/MFG, onde pode-se sintetizar modelos em MFG a partir de um modelo conceitual

hierarquizado construído em PFS (Production Flow Schema) [Miyagi, 1988]. Tendo em conta estes aspectos e, sendo esta metodologia um meio disciplinador para a construção dos modelos em diferentes níveis, considera-se conveniente a sua utilização no caso de sistemas de elevadores em edifícios inteligentes.

1.2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia* para a modelagem de sistemas de elevadores que auxilie no projeto destes em edifícios inteligentes.

A abordagem considerada para este propósito baseia-se na teoria dos sistemas a eventos discretos e na aplicação de técnicas derivadas das Redes de Petri, mediante a qual são desenvolvidos modelos tanto do objeto de controle, quanto do controle do sistema de elevadores onde é considerada a integração com outros sistemas prediais

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A seguir, apresenta-se uma descrição do conteúdo dos capítulos seguintes que compõem o trabalho:

Capítulo 2: *Edifícios Inteligentes e Sistemas de Elevadores*

Este capítulo apresenta algumas das definições propostas para o conceito de edifício inteligente, assim como os seus objetivos, funções e características, ressaltando o papel da integração entre seus diversos sistemas.

Em seguida são apresentados os conceitos relevantes dentro do sistema de elevadores que compreendem seu funcionamento e controle.

* Abstraindo metodologia como sinônimo de conjunto de métodos.

Realiza-se também, uma descrição do papel do sistemas de elevadores no contexto dos edifícios inteligentes, abordando-se sua integração com outros sistemas prediais.

Capítulo 3: *Aplicação de Rede de Petri*

Neste capítulo é realizada uma breve recapitulação das redes de Petri, considerando suas vantagens e características. Prossegue-se apresentando a metodologia PFS/MFG baseada nesta teoria e na qual este trabalho é desenvolvido.

Capítulo 4: *Metodologia para a Modelagem e Análise de Sistemas de Elevadores.*

Neste capítulo é apresentada a metodologia para a modelagem de sistemas de elevadores no contexto dos edifícios inteligentes, através do uso da abordagem hierárquica e estruturada da metodologia PFS/MFG.

Capítulo 5: *Estudo de Caso.*

Neste capítulo apresenta-se o estudo de caso: um prédio hospitalar (prédio dos Ambulatórios - PAMB) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP), no qual é aplicada a metodologia desenvolvida, considerando sua interação com diferentes sistemas prediais.

Capítulo 6: *Comentários Finais e Conclusões*

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, e as sugestões de novos tópicos a serem pesquisados em futuros trabalhos.

Neste trabalho, estão incluídos os seguintes apêndices, onde são apresentados alguns dos conceitos básicos de temas abordados neste trabalho e que foram considerados no desenvolvimento da metodologia proposta:

1. Sistemas a Eventos Discretos (SEDs) e Sistemas de Variáveis Contínuas (SVC)
2. Redes de Petri: onde é apresentada sua formalização, conceitos básicos, propriedades mais importantes e algumas das sua extensões.

Capítulo 2

EDIFÍCIOS INTELIGENTES E SISTEMAS DE ELEVADORES

Este capítulo trata dos conceitos básicos envolvidos no presente trabalho. Aqui são apresentadas algumas das definições de edifício inteligente, suas características e objetivos. Em seguida, é abordado o tópico dos sistemas de elevadores, suas características, funcionamento e integração com outros sistemas prediais.

2.1. EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Cada vez mais, novas tecnologias são disponibilizadas e desenvolvidas para os locais de trabalho, lazer e residência. Assim, mudanças conceituais na arquitetura, projeto das instalações e na própria utilização das edificações estão transformando estes ambientes, constituindo-se em um tema de estudo amplo e multi-disciplinar que está relacionado com o conceito de “edifício inteligente”.

O interesse por este tipo de edifícios é justificado, quando se considera o custo inicial das edificações, projetadas em média para durar pelo menos 50 anos, e os custos de operação (5 a 10% em consumo de energia) e manutenção que constituem cerca de 65 a 80% dos custos totais [Han, 1997]; em poucos anos é possível justificar uma despesa em automação predial (automação dos diversos serviços) que poderia chegar em média até 3% do total do empreendimento [Pertusier, 1993]. Estudos indicam também que a produtividade dos profissionais alocados em edifícios com maiores graus de automação melhora de 9% a 10% [ABCI, 1993].

Os edifícios inteligentes representam um produto que é o resultado da fusão de vários campos envolvidos no projeto e construção de edifícios, alguns dos quais haviam sido considerados no passado como essencialmente distintos e sem interseção como são a arquitetura interior e exterior, as tecnologias da computação e as telecomunicações, a ergonomia, os fatores humanos, os processos construtivos e as tecnologias de suporte e operação de edifícios em geral: aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC), segurança predial, transporte e todas as tecnologias (construção civil, mecânica, elétrica e mecatrônica) envolvidas [Finley et al., 1991].

2.1.1. DEFINIÇÃO

Atualmente não existe uma definição precisa do que pode-se denominar como “Edifício Inteligente”(EI). Este termo foi inicialmente usado nos anos 70 por motivos meramente comerciais, anunciando alta qualidade e rápido retorno do investimento. Neste sentido, a definição dos serviços que estes deveriam prestar e o significado da chamada “inteligência do edifício” tem sido imprecisa e, sujeita ao critério pessoal de proprietários e usuários [Arkin & Paciuk, 1995].

A “inteligência do edifício” tem sido objeto de diferentes interpretações a nível mundial, isto é: nos Estados Unidos a mais importante característica dos edifícios inteligentes foi a inter-conexão dos sistemas de serviços para o benefício dos ocupantes. Na Europa um edifício inteligente deve tratar com a interação entre os sistemas e os elementos estruturais. No Japão, foi interpretada como o uso de novas e avançadas tecnologias, para melhorar a capacidade dos edifícios em aspectos organizacionais [Arkin & Paciuk, 1995].

Posteriormente, foram desenvolvidas, várias abordagens procurando obter uma definição para este conceito, as quais acabam sempre limitadas ao campo de atuação de quem as define, ou ainda do interesse específico de algum caso prático.

Entre as várias definições que têm sido apresentadas cita-se:

Nos Estados Unidos, a definição aceita pelo IBI (Intelligent Building Institute) é: “Um edifício inteligente é aquele que permite a criação de ambientes produtivos e com custos efetivos, através da otimização de seus quatro elementos básicos: (1) estrutura, (2) sistemas, (3) serviços e (4) gerenciamento, assim como o inter-relacionamento entre eles” [Maeda, 1993].

A ABCI (Associação Brasileira da Construção Industrializada) define os edifícios com alta tecnologia como uma extensão à definição anterior incrementando: “aqueles que possuem um bom e atualizado projeto e uma construção racional e econômica; ou aqueles que são bem projetados e construídos, levando-se em conta as exigências de uso e evolução tecnológica”.

Na Europa, o EIBG (European Intelligent Building Group) define um edifício inteligente como sendo aquele que “cria um ambiente que permite às organizações atingir os seus objetivos e maximiza a eficiência dos seus ocupantes enquanto, ao mesmo tempo, permite uma gestão eficiente dos recursos com um mínimo de custos em termos de ocupação humana” [Becker, 1995].

No Japão, o IBSC (Intelligent Building Study Committee) define um edifício inteligente sob três pontos de vista: o prédio deve possuir: (a) um bom ambiente para as pessoas e os equipamentos, (b) bom suporte para alta produtividade dos trabalhadores no edifício

e (c) boa segurança contra incêndio, patrimonial e individual e operação altamente econômica [Maeda, 1993].

As definições apresentadas têm como objetivo comum a criação de um ambiente eficiente e produtivo, através de custos mínimos.

Assim, os edifícios inteligentes, têm evoluído como resposta às demandas do mundo atual (eficiência, produtividade e segurança), à globalização, à diversificação e evolução dos serviços oferecidos e disponibilizados num edifício, à difusão e popularização das tecnologias mecatrônicas e da informação e a necessidade de maior flexibilidade e versatilidade dos recursos. Convertendo-se assim em um novo paradigma para a concepção e o projeto de edifícios [Abramsom, 1995; Fujie & Mikami, 1991].

2.1.2. OBJETIVOS E CARACTERÍSTICAS

[Fujie & Mikami, 1991] afirmam que os edifícios inteligentes têm quatro objetivos principais:

- Assegurar a satisfação das pessoas que trabalham dentro dele (segurança, eficácia e conforto);
- Racionalizar a administração (controle de energia, controle dos serviços de manutenção, etc.);
- Responder rapidamente, de modo flexível e econômico às diversas alterações que ocorrem em seu interior (adaptabilidade às funções requeridas);
- Racionalizar a recepção e transmissão de informação, atuando como um recurso base para o gerenciamento das atividades internas e externas.

Estes objetivos tentam ser alcançados nos edifícios de hoje através da introdução de vários níveis de automação em áreas distintas e com equipamentos diversos [Kroner, 1997].

Do ponto de vista da classificação das funções de um edifício inteligente, várias propostas têm sido apresentadas. [Arkin & Paciuk, 1995] propõem uma divisão em:

- Sistemas;
- Serviços;
- Gestão.

E cujas descrições estão apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 Classificação das funções do edifício inteligente.

Funções	Descrição
Sistemas	Elevadores, HVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), iluminação, energia elétrica, drenagem e abastecimento de água, controle de acesso, segurança (fogo e vida), intrusão, telecomunicações e processamento de dados.
Serviços	Voz/ vídeo/ dados, automação de escritório, serviços (compartilhados) a locatários, gestão de segurança, operações fora de hora, etc.
Gestão	Incluindo limpeza, manutenção, treinamento, propriedade, arrendamento, etc.

De acordo com [Flax, 1991] um IBS (Intelligent Building System) é a integração de uma grande quantidade e variedade de sistemas dos quais os mais relevantes são a seguir listados:

- Sistemas de Gerenciamento de Energia (EMS – Energy Management Control System);
- Sistema de Automação do Edifício (BAS – Building Automation System);
- Sistema de elevadores;

- Sistema de ar condicionado e ventilação;
- Sistema de iluminação;
- Sistemas de segurança;
- Sistema de controle de acesso;
- Sistemas de detecção e combate a incêndio;
- Sistema de Gerenciamento das Comunicações (CMS – Communication Management System);
- Sistema de Automação de Escritórios (OA – Office Automation System);
- Sistemas para gerenciamento de informações;
- Sistemas de manutenção.

No projeto de edifícios inteligentes, aspectos como acabamento, revestimentos, distribuição de energia, iluminação, sistema de elevadores, condicionamento ambiental entre outros, tornam-se elementos definidores da eficiência destes edifícios. É assim fundamental que o projeto especifique uma construção funcional, principalmente quanto à flexibilidade, segurança, economia de energia e integração dos diversos recursos.

2.1.3. INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS EM EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Embora um edifício possa ser projetado ergonomicamente e com a incorporação de sistemas de telecomunicações e computadores, este ainda não é realmente um edifício inteligente, a menos, que o mesmo sistema ofereça a integração das facilidades e serviços necessária para atingir as suas metas [Finley et al., 1991].

A integração dos sistemas é uma característica indispensável de um edifício inteligente que para satisfazer os seus objetivos, deve oferecer melhor segurança, conforto dos

ocupantes, confiabilidade dos sistemas, robustez do controle dos sistemas e a diminuição dos custos de operações [Clark G. et al, 1995]. Esta integração permite que todos os sistemas atuem cooperativamente e como um único sistema.

A integração de sistemas em um edifício inteligente requer uma administração de complexidades que envolve a necessidade de conhecimento adequado de cada processo e da influência da automação no desempenho global, assim como a melhor escolha entre as inúmeras técnicas digitais de controle e otimização disponíveis.

Segundo [Azegami & Fujiyoshi, 1993], a melhor integração entre os vários sistemas de um edifício inteligente é realizada através da convergência do processamento da informação e, as tecnologias mecatrônicas e de telecomunicações.

Em [Han, 1997], destaca-se que a meta atual de um edifício inteligente é integrar toda a informação necessária para gerenciar os sistemas eficientemente e disponibilizar recursos efetivos aos usuários.

A implantação de sistemas que visam a integração segue um caminho no qual possa-se atender as necessidades atuais e futuras dos usuários, sem obsolescência antes de se obter o retorno do investimento [Finley, et al., 1991]. O grupo de serviços de valor agregado adicional requerem estudos cuidadosos de análise e implementação. O sistema e seu núcleo devem ser flexíveis em suas instalações e devem prever sua expansão quando as necessidades dos usuários aumentam ou se alteram.

Segundo [Marte, 1994], a automação em um edifício inteligente deve prever o gerenciamento dos processos, onde o produto final devido à integração (sinergia), seja

maior do que a soma das possibilidades de controle isolado dos componentes da edificação.

Em geral, as instalações e os projetos arquitetônicos e estruturais devem procurar alcançar um melhor grau de integração entre os sistemas, pois quanto mais efetivo o planejamento e o projeto da integração (considerando-se aspectos de interoperabilidade, engenharia dos sistemas e infra-estrutura “inteligente”), mais tangíveis serão os benefícios obtidos com a automação nas edificações. Considera-se assim que a chave da operação efetiva em um edifício inteligente é a integração entre os serviços, os sistemas e a estrutura [Arkin & Paciuk, 1995].

Existem várias propostas para integrar os diversos sistemas prediais em um edifício inteligente. Inicialmente, o projeto de integração nestes edifícios consistia em coletar os dados de controladores locais dedicados à proteção contra incêndios, segurança, ar condicionado e ao gerenciamento de energia em uma central de monitoração destes serviços. No caso dos dados apresentarem desvios dos valores de referência, era prevista a intervenção de um operador humano [Mehta, et al., 1995].

Uma outra proposta para a integração é a que considera a adaptação dos sistemas para tratar situações de emergência em contraposição a situações de operação normal. Tipicamente são considerados nesta integração: o sistema de detecção de incêndios com o sistema de elevadores e o sistema de ar condicionado. Sistemas mais avançados incluem a integração do sistema de controle de acesso e detecção de presença com o sistema de incêndio e o gerenciamento de evacuação. Com relação ao sistema de gerenciamento de energia, são considerados ainda controladores que avaliam a

influência entre sistemas como o de iluminação e ar condicionado para conseguir gerenciar políticas globais mais econômicas.

Abordagens mais recentes usam inteligência distribuída, onde são usados microprocessadores nos controladores locais conectados em rede, permitindo que mais entradas possam ser monitoradas e mais funções possam ser realizadas a menor custo. Assim, os diferentes sistemas são conectados a um computador central e este a um sistema central chamado Sistema de Gerenciamento do Edifício - SGE (BMS – Building Management System). Esta arquitetura permite que o SGE implemente funções de monitoração e controle avançadas [Mehta, et al., 1995].

Algumas outras abordagens consideram uma estrutura hierárquica para o sistema, um deles é aquele que contempla dois níveis na estrutura: um nível superior no qual se encontra o sistema de gerenciamento do edifício e outro nível subordinado a este onde estão cada um dos controles de cada sistema predial [Thumm, 1995; Peters, 1996] (vide figura 2.1).

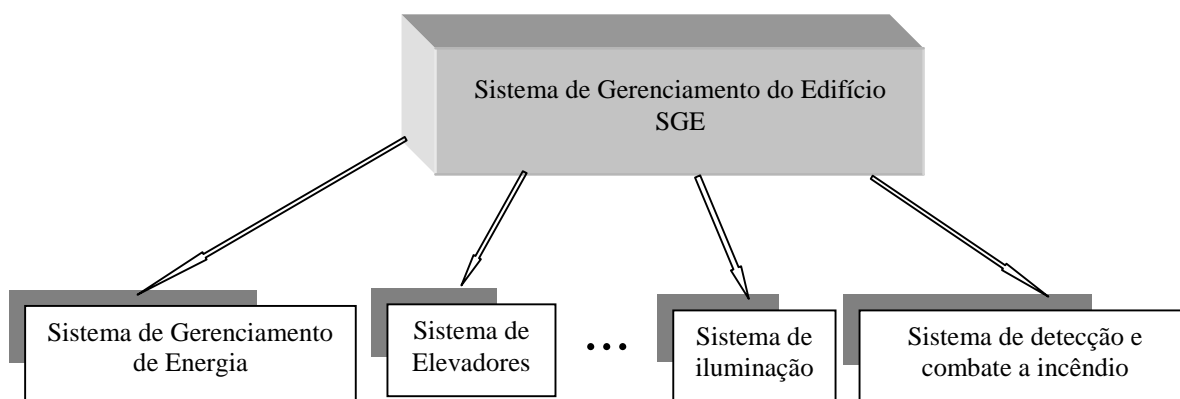


Figura 2.1 Estrutura hierárquica de integração em edifícios inteligentes.

De acordo à estrutura apresentada (figura 2.1), o mais alto nível na hierarquia, é o Sistema de Gerenciamento do Edifício (SGE), cuja função é o compartilhamento de informações em tempo real, visando o gerenciamento do edifício como um todo, para a

otimização de todos os controles enquanto trata os requerimentos de conforto, eficiência energética e funcionamento do edifício. No segundo nível hierárquico, encontram-se os diversos sistemas que integram o edifício e que inter-atuam através do SGE.

Para implementar a integração, existe atualmente o problema da comunicação entre os diferentes sistemas. Alguns esforços no sentido da integração, são as redes digitais de serviços integrados (Integrated Services Digital Network -- ISDN) e o conceito de sistemas distribuídos para redes digitais de serviços integrados (Broadbands Integrated Services Digital Network--BISDN) combinando funções de telecomunicações e tele-computação em um sistema único que manipula sinais de voz, dados e imagens na forma digital [Finley et al., 1991].

Em geral, o nível de integração nos edifícios varia de acordo, principalmente, com a tecnologia disponível e o grau de prioridade outorgado para cada sistema.

No âmbito do presente trabalho, considerada-se como arquitetura de integração a estrutura apresentada na figura 2.1, que integra diretamente cada um dos sistemas prediais ao sistema de gerenciamento do edifício.

2.2. SISTEMAS DE ELEVADORES

Os sistemas de elevadores são instalados nos edifícios para satisfazer as necessidades de transporte vertical de seus usuários e são necessários não apenas para a conveniência e o conforto humano mas para assegurar condições de trabalho, comerciais, etc.

Neste contexto e considerando a importância que têm os sistemas de elevadores nos edifícios em geral e em especial no âmbito dos edifícios inteligentes, ao contribuir para alcançar seus objetivos, é evidente que seu projeto e operação necessitam de uma

modelagem e análise que permitam selecionar alternativas ótimas de projeto e operação de forma a reduzir tempos e custos envolvidos.

O desenvolvimento destes sistemas tem sido afetado pelas exigências de produtividade (que é considerada maior quanto menor o tempo de locomoção, tempo de espera, etc.) do mundo atual. Muitos avanços têm sido alcançados neste campo com a introdução de melhores sistemas de controle (monitoração e acionamento), no entanto, não existem muitos relatos e publicações quanto aos métodos de modelagem e análise de sistemas de elevadores integrados a outros sistemas prediais.

Para a implementação de um sistema de elevadores, os projetistas devem desenvolver estudos baseados em especificações e simulações de modelos que permitam o exame e análise das várias configurações possíveis e o detalhamento das propostas mais promissoras.

O funcionamento especificado destes sistemas é geralmente determinado pela natureza da demanda de transporte do edifício, a qual pode ser atendida utilizando diferentes métodos visando a otimização do desempenho do sistema tanto quantitativamente como qualitativamente.

2.2.1. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A operação de um sistema de elevadores (pode envolver um único elevador ou um grupo com vários elevadores) pode ser explicada ao considerar como um passageiro é transportado do andar A ao andar B:

No andar A o passageiro registra uma chamada de andar ao pressionar um botão na botoeira instalada neste (para subir ou descer). O “controle de grupo” registra a

chamada sinalizando isso ao usuário através de um sinal luminoso e seleciona um elevador para servi-lo. O passageiro pode observar a posição e direção de movimento do elevador no edifício através de sinalizadores nos andares e um sinalizador de direção cujo estado é atualizado quando o elevador se movimenta. A sinalização no andar é desligada quando a cabina do elevador selecionado alcança o andar da solicitação e as portas são abertas. O passageiro entra e registra através de botões (de comando) dentro da cabina seu destino, isto é o andar B, o qual é devidamente sinalizado para indicar o registro feito pelo “controlador de cabina”. As portas se fecham e o elevador se move até o andar B. Ao chegar próximo ao andar B o elevador reduz a marcha, pára e abre as portas para que o passageiro desembarque. A figura 2.2 apresenta os elementos envolvidos na operação deste sistema.

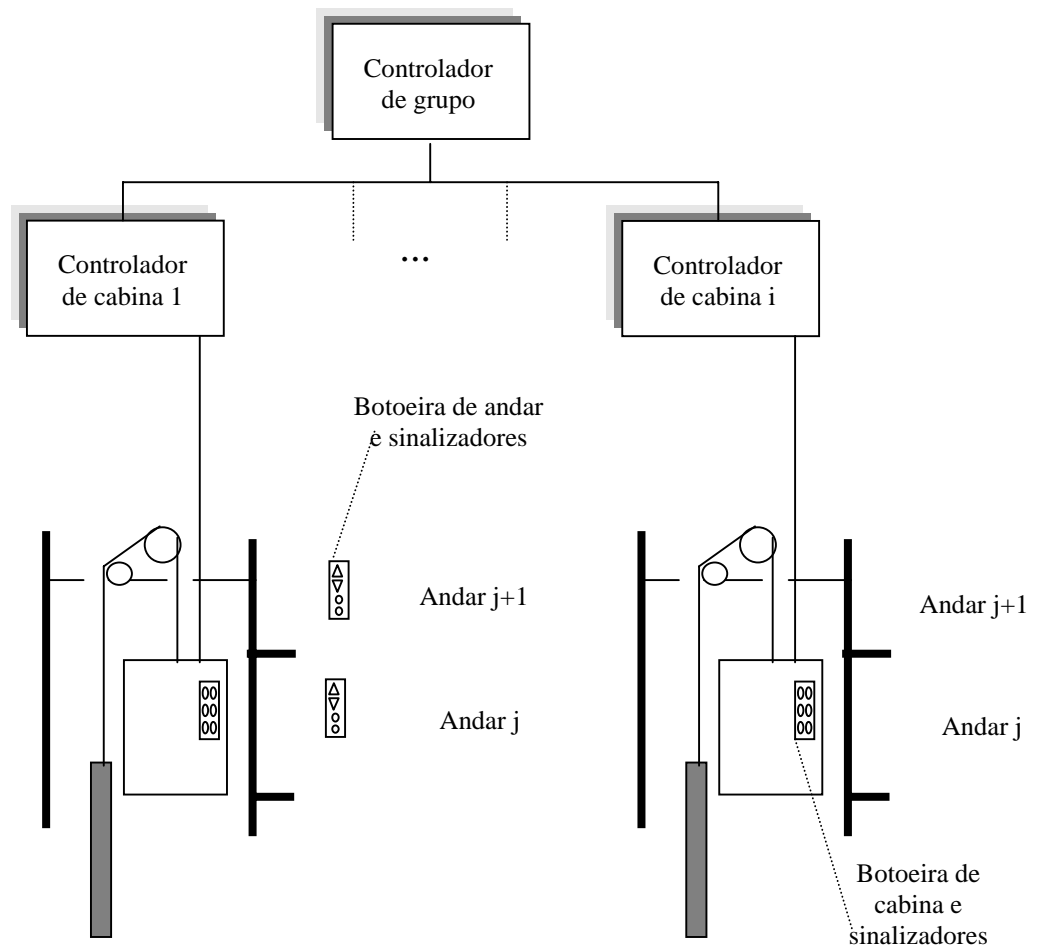


Figura 2.2 Elementos básicos envolvidos na operação do sistema de elevadores

2.2.2. CONTROLE DO SISTEMA DE ELEVADORES

Considerado como um sistema a eventos discretos, o sistema de elevadores pode ser descomposto para seu estudo conforme com o esquema apresentado na figura 2.3 [Miyagi, 1996].

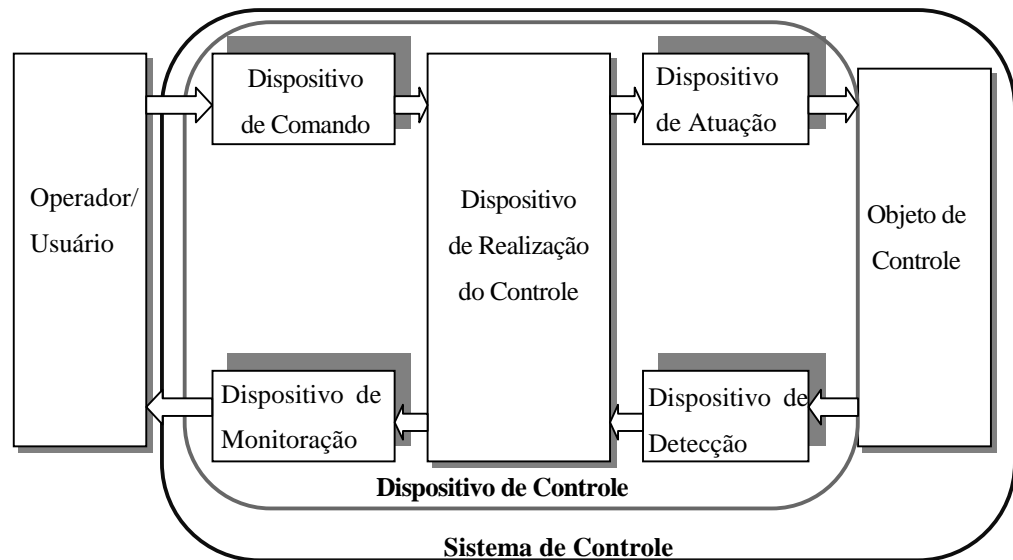


Figura 2.3 Diagrama conceitual básico do sistema de controle de SED

Segundo este esquema, os principais dispositivos utilizados no controle de sistemas de elevadores podem classificar-se da seguinte forma (tabela 2.2):

Tabela 2.2 Dispositivos usados no controle de sistemas de elevadores

CLASSIFICAÇÃO	DISPOSITIVOS
Dispositivo de Comando	Botoneiras (na cabina e andar)
Dispositivo de Atuação	Motores das cabinas, atuadores das portas
Dispositivo de Detecção	Fotocélulas, detetores do peso nas cabinas, detetores de posição
Dispositivo de Realização	Controlador programável, computador
Dispositivo de Monitoração	Sinalizadores de direção e de posição, sinalizadores de registro de comando (de cabina e andar), alarmes sonoros

Os objetivos do controle de sistemas de elevadores se baseiam nos requerimentos gerais para estes sistemas [Thumm, 1995]:

- Alta disponibilidade;
- Baixo consumo de energia;
- Menor espaço requerido dentro do edifício;
- Menores tempos de espera;
- Baixos custos de aquisição, instalação e manutenção
- Maior conforto

Segundo estes requerimentos alguns dos objetivos do sistema de controle são [Sasaki et al., 1996]:

- Maximizar a capacidade de trabalho para diferentes tipos de tráfego.
- Minimizar o tempo de espera médio para todos os passageiros.
- Reduzir o consumo de energia pela redução nos tempos de viagem e do número de partidas dos atuadores (motores elétricos por exemplo).
- Minimizar o tempo médio de serviço para todos os passageiros, isto é, o tempo total gasto pelos passageiros esperando por uma cabina e viajando até seu andar de destino.

Alguns destes objetivos são contraditórios entre si. Assim, é impossível satisfazer todos os critérios simultaneamente e se procura então, para um controle eficiente do sistema, satisfazer cada critério em algum sentido ou atender um objetivo específico.

Assim, considera-se genericamente que a finalidade do controle envolve também o estabelecimento da prioridade e o sentido de atendimento às chamadas, de acordo com as características do edifício. Para isso, em geral, são instalados na casa de máquinas

painéis de comando que controlam a partida, a parada, o sentido de movimento do carro, e a seleção das chamadas e outras funções correlatas [Villares, 1994]. Os controles mais usuais são:

A. CONTROLE DE UM ÚNICO ELEVADOR

A forma mais simples de controle automático de elevadores é o controle automático de chamadas. Apresenta-se a seguir os casos mais comumente encontrados:

CONTROLE AUTOMÁTICO COLETIVO

É o controle automático caracterizado por existirem botões de comando de destino (um para cada andar) instalados na cabina, e um único botão de chamada instalado em cada andar, todos ligados ao controlador, de tal maneira que todas as chamadas fiquem nele registradas. O elevador efetua as paradas em ordem seqüencial ao seu movimento, independentemente da ordem em que as chamadas tenham sido registradas, e prossegue neste sentido atendendo a todas as chamadas realizadas.

CONTROLE AUTOMÁTICO SELETIVO NA DESCIDA

É o controle automático coletivo no qual as chamadas registradas de andar somente são atendidas quando o elevador se movimenta em sentido descendente, a partir da chamada no andar mais elevado.

Aplica-se a edifícios em que o movimento principal é constituído pelo tráfego entre o térreo e os demais andares e vice-versa, sem que haja tráfego apreciável entre os próprios andares. É portanto, o sistema típico para edifícios de apartamentos residenciais.

CONTROLE AUTOMÁTICO COLETIVO SELETIVO NA SUBIDA E NA DESCIDA

É o controle automático coletivo no qual existem nos andares intermediários dois botões, um de subida e um de descida, e apenas um botão nos andares extremos. Neste sistema de controle as chamadas de andar para subir são selecionadas separadamente das chamadas de andar para descer, sendo atendidas primeiramente todas as chamadas registradas em um dos sentidos para depois serem atendidas as de sentido oposto.

Aplica-se a edifícios onde o fluxo predominante seja entre os andares, tais como escritórios em geral ou de uma única entidade, como repartições públicas, etc.

B. CONTROLE DE GRUPO

É o controle automático para grupo de dois ou mais elevadores que operam em conjunto e que tenham o mesmo número de paradas, entradas no mesmo hall, somente um andar principal de acesso e a mesma destinação de uso, como por exemplo todos os elevadores de passageiros ou todos de serviço, não incluindo os elevadores isolados.

O controle, além de efetuar a seleção de chamadas de subida e/ou descida, seleciona através do uso de estratégias de controle qual é o elevador que de maneira eficiente e de acordo com um padrão de tráfego específico, deve atender a determinadas chamadas de andar.

Estes sistemas são indicados para qualquer tipo de edifício, sempre visando o melhor rendimento para o fluxo de usuários. Aplica-se nos casos em que por exemplo, não há divisão no hall entre os elevadores social e de serviço e sempre que os elevadores estejam próximos, dispostos em grupo (lado a lado ou frente a frente).

Nos sistemas mais complexos, além das seleções já referidas, o controle determina, nas horas de “rush”, quais são as chamadas prioritárias (chamadas de andar principal, chamadas de descida, chamadas de subida, etc.). Além disso, estes controles têm flexibilidade para adaptar-se às mais variadas situações de tráfego. São indicados para edifícios com grande fluxo de usuários.

Nos casos de controle de grupo, não é necessária a instalação de botoeira nos andares para cada um dos elevadores, bastando uma para todo o grupo. A figura 2.4 apresenta a configuração típica do sistema de controle de um grupo de elevadores.

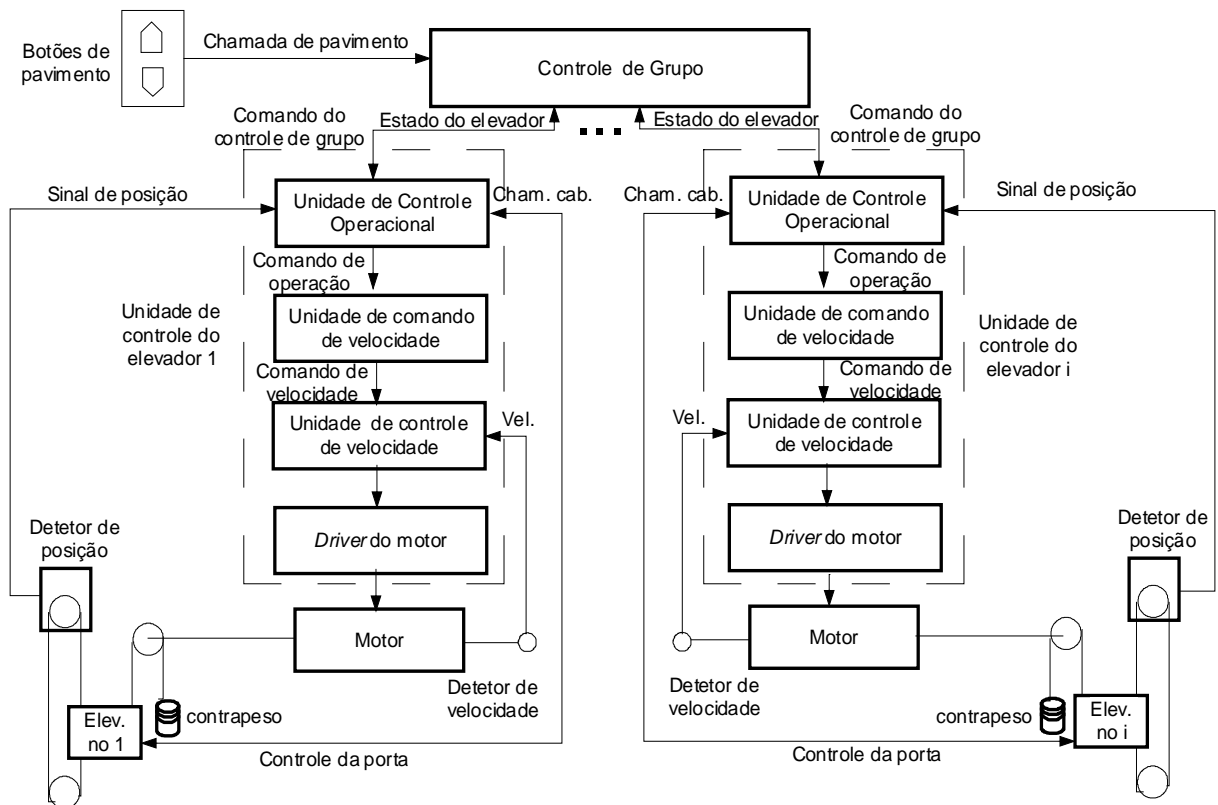


Figura 2.4 Configuração do sistema de controle de grupo

Como indicado na figura o sistema de controle para um grupo de elevadores, consiste de um “controle de grupo” e unidades de controle individuais para cada elevador (cabina). A função do controle de grupo é supervisionar simultaneamente diversos elevadores e assegurar que estes operem de maneira eficiente, com a finalidade de oferecer e realizar

o melhor nível de serviço possível. Este controle, deve designar entre os vários elevadores do grupo, qual deles realizará o atendimento de uma solicitação que um passageiro realize a partir de um determinado andar. O “controle de grupo” coordena as respostas às chamadas de andar, segundo os sinais dos detetores de posição e direção de movimento de cada cabina. Quando um comando do “controle de grupo” é recebido pelo controle de cabina ou unidade de controle individual, a respectiva unidade de controle operacional, contida dentro deste, envia o comando para acionar o “*driver* do motor”. Este comando está baseado na relação entre o andar onde o elevador deve parar e sua posição atualizada pelo detetor de posição. A unidade de controle operacional, controla também as portas e o freio para travamento do movimento da cabina.

A unidade de comando de velocidade, envia um comando para regular a velocidade, de acordo com a distância entre a posição atual da cabina e a posição de parada desejada.

No contexto deste trabalho, considera-se basicamente os sistemas de elevadores que possuem controle de grupo (controladores programáveis), pois esta é a classe de sistemas empregada no âmbito dos edifícios inteligentes, pela sua eficiência, flexibilidade e facilidade de atender as especificações de integração com outros sistemas prediais.

2.2.3. INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE ELEVADORES EM EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Como foi mencionado, a integração dos diversos sistemas de um edifício inteligente visa a otimização do desempenho do edifício como um todo. Neste contexto a integração dos sistemas de elevadores com outros sistemas prediais envolve a

identificação de eventos e situações previstas por estes que possam ter alguma influência no primeiro.

Ao abordar esta integração, e tendo em conta as propostas apresentadas para a arquitetura de sistemas em edifícios inteligentes, considerou-se conveniente uma abordagem hierárquica e a introdução de um novo nível de controle: o “controle dos grupos”, que serve como interface de comunicação entre os grupos de elevadores e o SGE, facilitando assim o recebimento da informação proveniente de outros sistema prediais e portanto a integração do sistema de elevadores com estes. Na figura 2.5 é apresentada a configuração do sistema.

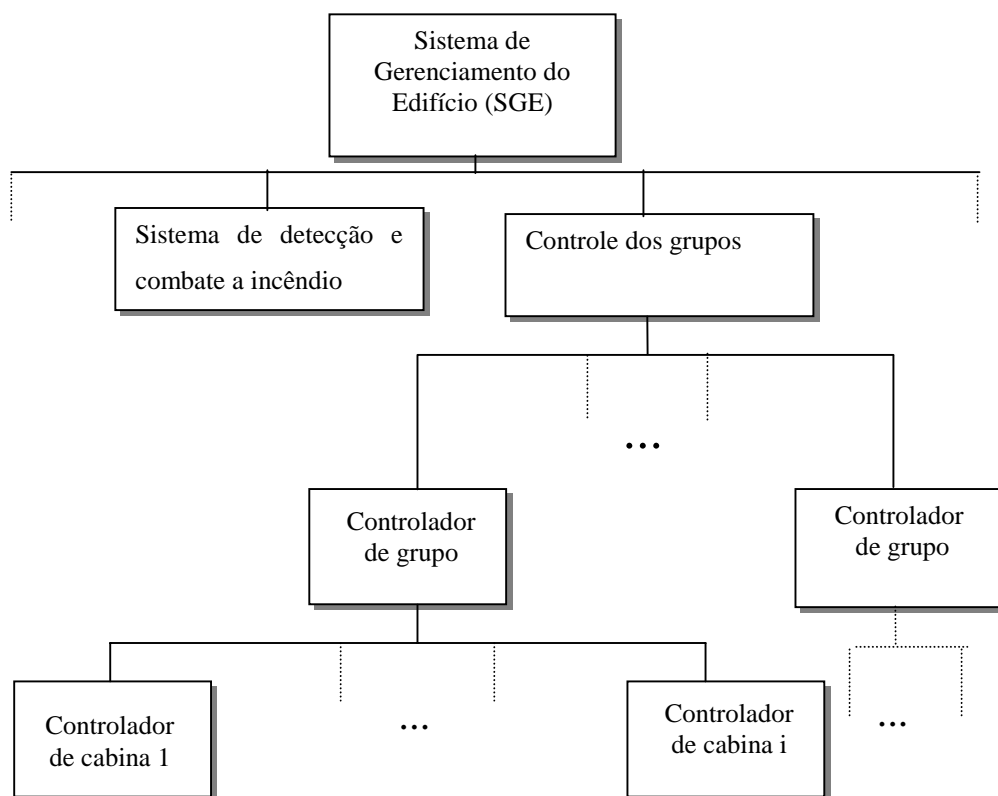


Figura 2.5 Configuração da integração do sistema de elevadores com o sistema de gerenciamento do edifício

Este nível, é o encarregado de enviar as informações pertinentes a cada um dos grupos que compõem o sistema, recebidas de sua interface com o usuário ou do SGE como por

exemplo: ligar ou desligar elevadores, ordenar a execução de uma determinada estratégia ou ainda o serviço independente de algum elevador em um grupo. É assim, o gerador de comandos e informações para cada um dos controles de grupo do sistema.

Apresenta-se a seguir alguns exemplos dos sistemas prediais com os quais o sistema de elevadores pode inter-atuar:

- Interação com o sistema de detecção e combate a incêndio: permitindo a operação em modo emergência onde a primeira fase compreende o traslado dos elevadores até o térreo e seu desligamento. A segunda fase corresponde à utilização de elevadores por parte dos bombeiros.
- Interação com o sistema de manutenção e detecção de falhas: ao viabilizar a monitoração e avaliação dos equipamentos e a efetivação da manutenção preventiva.
- Interação com o sistema de controle e gerenciamento de energia: mediante a eliminação de partidas simultâneas dos atuadores, redução dos tempos de viagem, redução do número de paradas desnecessárias, desligamento de luzes e do ventilador quando depois de um determinado tempo não se registram chamadas. Desativação de alguns elevadores em caso de se ter um tráfego baixo. No caso de falta de energia, o sistema deve acionar os geradores e entrar em modo de operação de emergência, trasladando todos os elevadores até o andar térreo.
- Interação com o sistema de comunicações do edifício: viabilizando a monitoração e o comando remoto para modificar o funcionamento dos elevadores.
- Interação com o sistema de controle de acesso: de forma a permitir o controle de ingresso dos visitantes e ocupantes a espaços específicos da edificação (a entrada

aos elevadores pode requerer uma identificação que especifica quais pisos podem ser acessados pelo interessado).

2.2.4. CARATERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ELEVADORES

Considerando a complexidade do sistema de elevadores, é necessário utilizar técnicas que sejam capazes de modelar as características básicas encontradas nestes. Assim o sistema de elevadores pode ser caracterizado como um Sistema a Eventos Discretos (SED), por possuir uma dinâmica dirigida pela ocorrência de eventos discretos a intervalos em geral irregulares e desconhecidos, que determinam a evolução de seus estados, o que incorpora a esse tipo de sistema um caráter não determinístico. Observa-se que, além disso, tais sistemas possuem certas características como sincronismo, conflito, paralelismo e concorrência de atividades, presentes nos SEDs e que inviabilizam o uso de algumas técnicas tradicionais de descrição de sistemas contínuos [Hasegawa, 1987].

Assim, a caracterização do sistema de elevadores como um SED, permite realizar a modelagem deste sistema através da identificação de suas características e sua dinâmica baseada na evolução de seus estados discretos dirigida por eventos, através do uso de uma ferramenta adequada.

Neste contexto, a ferramenta de modelagem para estes sistemas deve, então, considerar os seguintes aspectos:

- Possibilitar a identificação de características de paralelismo e concorrência de eventos e atividades.

- Ser capaz de descrever o comportamento dinâmico do sistema através da evolução de seus estados.
- Representar o sistema através de uma abordagem hierárquica e de refinamentos sucessivos, para que seu desenvolvimento possa ser feito em diversos níveis de abstração.
- Possuir ou permitir o desenvolvimento de técnicas de análise por simulação.
- Facilitar sua compreensão.

2.3. OBSERVAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

No capítulo apresentou-se algumas das definições de edifício inteligente, e foram consideradas suas características e objetivos. Neste âmbito ressaltou-se a importância da integração entre os sistemas que o compõem, como um meio para atingir suas metas de produtividade, segurança e baixo custo.

O capítulo tratou também sobre os sistemas de elevadores, abordando o importante papel destes nos edifícios. Além disso foram apresentados seu funcionamento e os tipos de controle para estes sistemas. Considerou-se também a integração destes sistemas com outros sistemas prediais como um meio de prover maior segurança e conforto aos usuários do edifício. Finalmente, pelas suas características e visando sua modelagem, o sistema de elevadores foi caracterizado como um sistema a eventos discretos.

Capítulo 3

APLICAÇÃO DE REDE DE PETRI

Este capítulo trata os conceitos principais de rede de Petri necessários para a modelagem de sistema de elevadores. É apresentada a metodologia PFS/MFG (Production Flow Schema/Mark Flow Graph) que é uma interpretação de redes de Petri efetiva para a modelagem, análise e especificação de sistemas a eventos discretos.

Nos projetos mais recentes de construção de edifícios nota-se a instalação de sistemas automatizados, cuja função é a realização autônoma das diversas funções e serviços existentes nos ambientes destes edifícios. A maior parte destes sistemas possuem como característica um comportamento dinâmico definido através das mudanças de estados devido à ocorrência de eventos discretos. Por exemplo, entre os eventos considerados estão: abertura e fechamento de portas, acionamento e desligamento de lâmpadas, chamada de elevadores, etc. A classe de sistemas definida por esse comportamento é denominada Sistemas a Eventos Discretos – SED [Ramadge & Wonham, 1989; Miyagi, 1996] (mais informações sobre este tema são apresentadas no apêndice I) e para a qual têm sido desenvolvidas várias técnicas para sua modelagem, análise, controle e projeto. Por exemplo: Redes de Petri, Cadeias de Markov, Teoria de filas, Álgebra mini-max, Máquinas de estados, etc. foram desenvolvidas com base em propriedades como: reinicialização, sincronização, concorrência, etc. que os SED apresentam. Entre estas técnicas uma de comprovada eficiência para sistemas desta natureza devido ao seu poder de modelagem é a baseada na teoria de rede de Petri [Reizig, 1985; Murata, 1989; Peterson, 1981].

Assim, no contexto dos sistemas prediais em edifícios inteligentes e considerando particularmente o sistema de elevadores caracterizado como um SED, cuja concepção e operação requerem técnicas efetivas para modelagem, simulação e análise e tendo em conta a eficácia que as redes de Petri têm apresentado para a abordagem de diversos sistemas e sua efetividade como uma técnica uniforme para modelagem, o presente trabalho procura explorar o potencial desta abordagem nestes sistemas.

3.1. REDE DE PETRI (RP)

O conceito de Redes de Petri foi introduzido por Carl Adam Petri em sua tese de doutorado (1962), como ferramenta para descrever relações entre condições e eventos no estudo de protocolos de comunicação entre componentes assíncronos. Embora ocorresse uma ampla divulgação acadêmica ao longo de três décadas, o seu potencial só foi reconhecido na metade da década de oitenta, onde esta teoria foi usada para implementações práticas nas áreas de informática e manufatura devido à disponibilidade de novos recursos de “*hardware*” e “*software*”.

A rede de Petri é uma ferramenta matemática e gráfica que oferece um ambiente uniforme para modelagem, análise e projeto de sistemas a eventos discretos [Zurawki & Zhou, 1994]. Sua aplicação tem se estendido a uma grande quantidade e variedade de sistemas. Os principais sistemas onde é aplicada esta técnica são: sistemas de comunicações, sistemas de software, sistemas de processamento de informação, além das aplicações em modelagem, simulação e seqüenciação de sistemas flexíveis de manufatura. Mais recentemente tem sido aplicada também nos sistemas prediais [Gomes, 1997]. Em geral, utiliza-se as redes de Petri e suas extensões para a modelagem gráfica da estrutura do sistema e de seu comportamento dinâmico.

Alguns trabalhos sobre modelagem de sistemas prediais através do uso de RP já foram realizados. Nestas pesquisas, têm sido proposta a aplicação de RP coloridas para modelagem de sistemas em tempo real, como no caso de sistemas de elevadores [Etessami & Hura, 1991]. No entanto, estes modelos consideram um único elevador sem considerar a necessidade de coordenação com outros elevadores, imprescindível em um sistema de controle de grupo. Além disso, aspectos de integração do sistema de elevadores com outros sistemas do edifício têm sido pouco explorados.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS DAS REDES DE PETRI

Em [Hasegawa, 1996] destacam-se as seguintes características e vantagens desta técnica:

- Representa a dinâmica e a estrutura do sistema segundo o nível de detalhamento desejado.
- Identifica estados e ações de modo claro e explícito, facilitando com isto a monitoração do sistema em tempo real.
- Tem a capacidade para representar de forma natural as características dos SED (sincronização, assincronismo, concorrência, causalidade, conflito, compartilhamento de recursos, etc.).
- Associa elementos de diferentes significados numa mesma representação, ou segundo o propósito do modelo (avaliação de desempenho, implementação do controle, etc).
- Oferece um formalismo gráfico que permite a documentação e monitoração do sistema, facilitando assim o diálogo entre o projetista e as pessoas que participam no processo de projeto ou de análise do comportamento do sistema (projetista, operador, gerente, etc.).

- Se constitui como uma teoria muito bem fundamentada para a verificação de propriedades qualitativas.
- Possui uma semântica formal e precisa que permite que o mesmo modelo possa ser utilizado tanto para a análise de propriedades comportamentais (análise quantitativa e/ou qualitativa) e avaliação do desempenho, assim como para a construção de simuladores a eventos discretos e controladores (para implementar ou gerar códigos para controle de sistemas). Além de servir para verificar comportamentos indesejáveis como bloqueio, limitação, etc.
- Incorpora conceitos de modelagem do tipo refinamento (“*top down*”) e do tipo composição modular (“*bottom up*”) através de técnicas como: modularização, reutilização, refinamento, etc.

Como uma ferramenta matemática, um modelo em rede de Petri pode ser descrito por um sistema de equações lineares, ou outros modelos matemáticos que refletem o comportamento do sistema [Zurawski & Zhou, 1994], o qual possibilita a análise formal do mesmo. Esta característica permite realizar a verificação formal das propriedades comportamentais do sistema.

As abordagens relacionadas com redes de Petri encontradas na literatura podem ser organizadas em três classes fundamentais:

- Redes de Petri básicas ou ordinárias: se constitui em um modelo elementar adequado para visualizar comportamentos que envolvem paralelismo, sincronização e compartilhamento de recursos. Este é o modelo básico de rede que permite extensões segundo a aplicação para a qual se utiliza.

- Reduções de redes de Petri ordinárias: são descrições simplificadas que procuram sintetizar a apresentação gráfica dos modelos, mas que ainda podem ser representadas adequadamente por redes de Petri ordinárias. Entre estas estão: redes de Petri generalizadas, redes de Petri de capacidade finita, redes de Petri coloridas.
- Extensões das redes de Petri ordinárias: correspondem a modelos em que se incorporam regras adicionais de funcionalidade para enriquecer o poder de modelagem. São consideradas três subclasses [David & Alla, 1994]: modelos equivalentes a máquinas de Turing, modelos para sistemas contínuos e híbridos, modelos de sistemas que evoluem em função da ocorrência de eventos externos ou do tempo.

Uma outra forma de classificar as redes de Petri é em função de sua aplicação prática. Assim tem-se as redes de Petri interpretadas. Neste tipo de redes são associadas variáveis com significado prático às transições, representando condições e ações existentes no sistema. Tais variáveis podem indicar o estado de atuadores, sensores, etc., permitindo assim, modelar a interação com o ambiente externo [Cardoso & Valette, 1997].

No apêndice II apresenta-se os fundamentos básicos de rede de Petri, que permitem uma maior compreensão desta técnica e suas extensões.

Assim, a rede de Petri se constitui como uma poderosa ferramenta para o modelagem e análise de SEDs. Entretanto, na modelagem de sistemas complexos e com diferentes níveis de abstração se evidencia um ponto fraco em uma de suas principais características: sua visualização gráfica. Desta maneira, verifica-se que é adequado que a modelagem inicial seja realizada utilizando interpretações não formais e a partir deste modelo seja conduzido um detalhamento gradativo e com interpretações formais. E, é neste contexto que as técnicas do PFS (Production Flow Schema) e do MFG (Mark

Flow Graph) [Hasegawa et al., 1988] são consideradas. O PFS e o MFG são extensões interpretadas das redes de Petri (de modo que herdaram o poder de representação e as técnicas formais de análise de grafos), próprias para aplicação em diferentes níveis de modelagem, análise e controle de SED, através da combinação de suas propriedades numa metodologia PFS/MFG

Estas considerações conduziram à escolha desta metodologia como ferramenta para a modelagem do sistema em estudo.

3.1.2. METODOLOGIA PFS/MFG

Esta metodologia consiste na modelagem de sistemas, seguindo um procedimento sistemático e racional segundo uma abordagem hierárquica, com base em sucessivos refinamentos para detalhar o modelo de forma progressiva e estruturada. Inicialmente o modelo conceitual do sistema (representando um alto nível de abstração do sistema sem detalhamento de sua dinâmica) é desenvolvido com o PFS. Nesta etapa o propósito é modelar as principais características das funções que serão consideradas no sistema. A ênfase está na identificação dos componentes ativos e passivos do sistema, assim como do fluxo de itens (material e/ou informação) entre estes elementos.

Para a descrição funcional do sistema, os elementos do grafo PFS são então detalhados. Este detalhamento pode gerar sub-grafos totalmente em PFS ou sub-grafos em MFG ou sub-grafos híbridos (PFS/MFG) com alguns elementos em PFS e outros em MFG.

Na modelagem do comportamento dinâmico do sistema, o modelo em PFS é convertido progressivamente em um modelo em MFG (ou uma rede de Petri interpretada adequada) que detalha o funcionamento das diversas partes do sistema (até o nível desejado), através da evolução dinâmica da marcação do grafo. [Miyagi, 1996].

Quando são utilizados equipamentos de controle programáveis, o detalhamento das atividades pode ser realizado até um nível de operação isto é, onde as ações são especificadas pelo programa de controle disponível ou implementado.

A metodologia PFS/MFG como técnica para modelar sistemas a eventos discretos, originalmente foi proposta para a aplicação em sistemas de manufatura, e neste campo tem sido usada para tratar sua modelagem e análise com sucesso [Miyagi, 1988; Santos, 1993; Arakaki,;1993, Liu, 1993; Kagohara, 1998]. Entretanto a metodologia pelas suas características pode ser estendida ao caso de sistemas prediais, onde através de uma visão macro e conceitual do sistema, os diferentes sistemas e suas funções sejam detalhadas até o nível de interface com os dispositivos físicos instalados no edifício [Arakaki et al., 1998]. Antes de sua introdução para sistemas de elevadores apresenta-se a seguir os principais componentes desta técnica.

A. PFS (PRODUCTION FLOW SCHEMA)

O PFS (Production Flow Schema) [Hasegawa et al., 1988; Miyagi, 1988; Silva & Miyagi, 1996], é uma classe de rede canal-agência [Reisig 1992] devidamente interpretada e constitui uma técnica para representar o nível conceitual mais alto de abstração do sistema sem detalhamento do comportamento dinâmico.

O PFS caracteriza um sistema a partir de seus elementos ativos e fluxo de materiais e informações dentro de um processo. Esta abordagem baseia-se no princípio de que um sistema é composto por elementos ativos que realizam transformações e elementos passivos que realizam a distribuição de itens (materiais ou informações), existindo portanto uma inter-relação entre estes elementos para a realização efetiva dos fluxos presentes no sistema. Deve-se salientar que o PFS, distintamente das redes e Petri não

possui o conceito de marcação, pois é um modelo conceitual do sistema sem descrição de sua dinâmica.

ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO PFS

Os elementos estruturais de um PFS estão representados na figura 3.1 São eles:

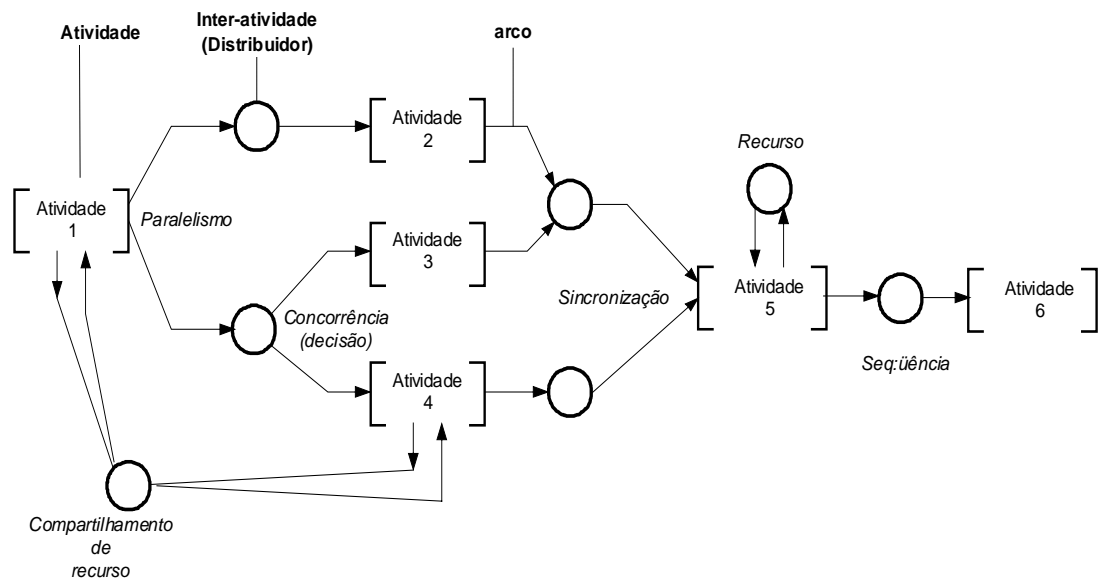


Figura 3.1 Exemplo de um modelo em PFS com a identificação de seus elementos estruturais e a características de SEDs que é capaz de modelar

ATIVIDADE: representa um componente ativo do sistema capaz de realizar transformações, isto é, ações. As *atividades* podem agregar uma ou mais operações (não explícitas no presente nível de abstração). Graficamente, corresponde a um macro-elemento delimitado por colchetes e com inscrições em linguagem natural ou formal para especificá-lo. Cada *atividade* pode ser refinada em sub-atividades com as suas respectivas interações.

Uma *atividade* pode ser iniciada ou finalizada pela ocorrência de um ou mais eventos exclusivos [Sugisawa, 1998]. Sua representação é apresentada na figura 3.2.

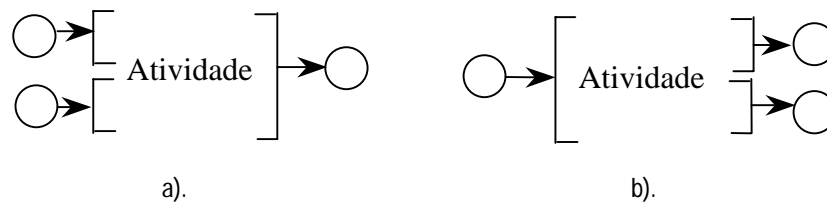


Figura 3.2 a). Início de *atividade* devido à ocorrência de dois eventos
b). Término de *atividade* devido à ocorrência de dois eventos.

INTER-ATIVIDADE OU DISTRIBUIDOR: representa um componente passivo, capaz de armazenar, permanecer em determinados estados ou tornar os itens visíveis. É indicado graficamente por uma circunferência. Uma *inter-atividade* deve existir sempre entre duas *atividades* que estejam relacionadas.

ARCO: conectam *atividades* a *inter-atividades* e vice-versa representando o fluxo de materiais e/ou informações. Os *arcos* indicam uma relação lógica, entre os componentes. Se a conexão se faz pela parte externa da *atividade*, indica um fluxo principal de itens no sistema e se é realizada pela parte interna, indica um fluxo secundário (este fluxo não é obrigatório). Graficamente corresponde a uma seta.

Deve-se observar que elementos de um mesmo tipo não podem ser conectados diretamente uns aos outros. Além disso, cada um dos componentes recebe inscrições em linguagem natural, indicando sua interpretação específica para o modelo elaborado.

REPRESENTAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE SEDS EM PFS

Neste nível de descrição, algumas características de SEDs, que podem ser observadas nos modelos em PFS são:(vide figura 3.1).

- **SEQÜÊNCIA:** indica a relações de precedência entre as *atividades*, onde o início de uma só pode ocorrer ao término da anterior.

- **SINCRONIZAÇÃO:** caso no qual mais de um elemento *inter-atividade* se encontra à entrada de um bloco atividade. Refere-se à condição de que esta *atividade* só tem início se os elementos *inter-atividade* estiverem em condições próprias para iniciar a atividades.
- **PARALELISMO:** Quando mais de um elemento *inter-atividade* se encontraram à saída de um bloco *atividade*, assim ocorre paralelismo entre as *atividades* na seqüência desses elementos *inter-atividade*.
- **CONCORRÊNCIA:** Situação em que existem duas ou mais *atividades* com fluxos derivados (decisão) ou convergentes a um único elemento *inter-atividade*. Representa o fato que os elementos de um fluxo podem ter mais de uma opção quanto à próxima *atividade*; sendo preciso, neste caso, que um processo de decisão deva ser associado à seleção de uma das possibilidades.
- **COMPARTILHAMENTO DE RECURSOS:** é um caso particular de decisão, onde várias *atividades* podem vir a solicitar, simultaneamente, o mesmo recurso.

O PFS representa uma funcionalidade específica de um sistema, enfocando uma forma de organização de *atividades* (ou seja, características de seqüência, sincronização, decisão, etc.) e recursos alocados para executar estas. Assim, os diversos modos como as *atividades* são coordenadas e os recursos são atribuídos às *atividades* determinam diferentes funcionalidades.

Além das estruturas apresentadas (paralelismo, concorrência, etc.), definidas pelo fluxo principal, os fluxos secundários podem a sua vez definir relações como [Liu, 1993]: a comunicação assíncrona que pode representar troca de informações entre *atividades* (figura 3.3 a.), comunicação síncrona, onde as *atividades* são sincronizadas através de outra *atividade* (figura 3.3 b.) e chamadas de procedimentos externos, na qual é

representada a utilização de um mesmo processo (exemplo um gerenciador de banco de dados) por várias *atividades* (figura 3.3 c).

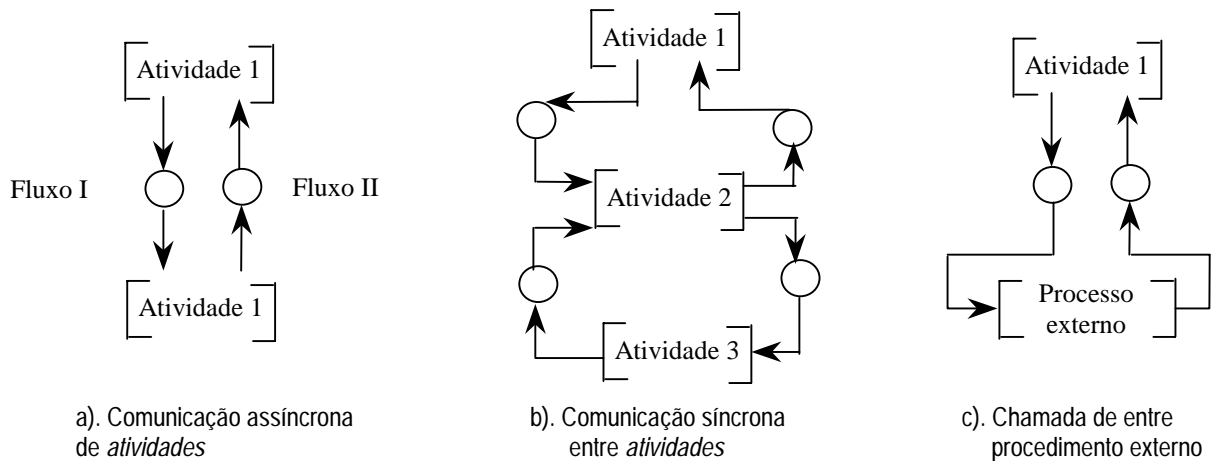
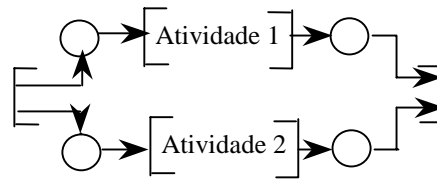
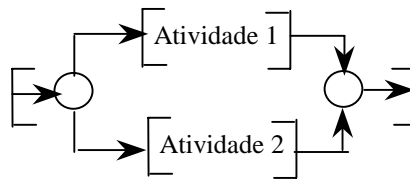


Figura 3.3 Interpretações típicas dos fluxos secundários.

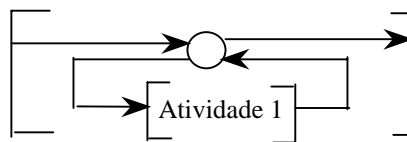
A abordagem hierárquica permitida pelo PFS, faz com que o modelo possa ser detalhado passo a passo através de refinamentos sucessivos das *atividades*. Para realizar este refinamento podem ser usadas as estruturas descritas anteriormente e as suas combinações, tomando os devidos cuidados. Assim, por exemplo sempre que o fluxo seja dispersado em dois ou mais, em situações de paralelismo ou de concorrência, este deverá convergir respectivamente, em forma de sincronização ou em convergência para um elemento *inter-atividade*, conforme é apresentado na figura 3.4 a. e b. Outro refinamento possível é o que caracteriza um “loop” (ciclo repetitivo), onde um elemento *inter-atividade* possui duas possibilidades: realizar a *atividade* interna 1 ou encerrar a *atividade* global, esta estrutura é indicada na figura 3.4 c.



a). Paralelismo



b). Concorrência



c). "Loop"

Figura 3.4 Alguns possíveis refinamentos de *atividades*

REFINAMENTO DOS ELEMENTOS DO PFS

Os elementos do PFS podem ser refinados progressivamente ao substituí-los por outras *atividades* e *inter-atividades* mais detalhados, por um modelo em MFG ou por um modelo híbrido que contenha elementos dos dois tipos.

REFINAMENTO DE ATIVIDADES: Estes elementos podem ser detalhados em novas *atividades* com o mesmo começo e fim, unidas entre si por elementos *inter-atividades*. Um refinamento maior em MFG considera aos eventos, tanto do início como do fim de uma *atividade*, que podem ser substituídos pelas respectivas transições (vide figura 3.5).

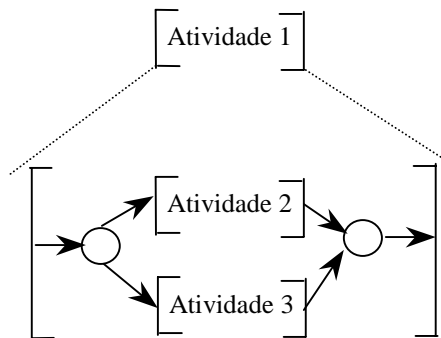


Figura 3.5 Exemplo do refinamento de *atividades*

REFINAMENTO DE INTER-ATIVIDADES: neste caso estes elementos são substituídos por novos elementos *inter-atividades*, ou por elementos de uma rede de Petri interpretada conectados através de *atividades* (vide figura 3.6).

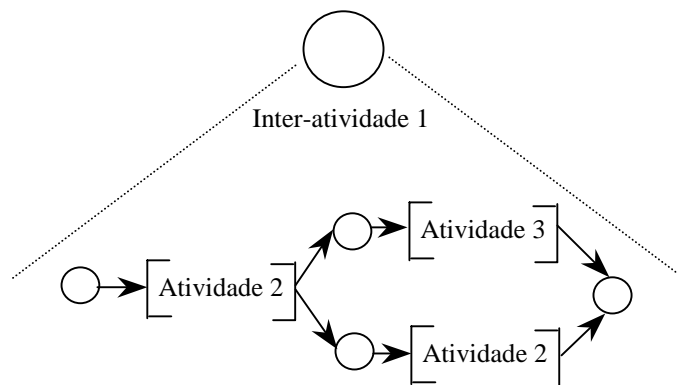


Figura 3.6 Exemplo do refinamento de inter-atividades

B. MFG (MARK FLOW GRAPH)

Para tratar-se com a especificação detalhada e concreta dos sinais de controle foi desenvolvida a técnica do MFG (Mark Flow Graph) [Hasegawa et al., 1989] a qual é uma rede interpretada derivada da teoria de redes de Petri tipo condição-evento. O MFG é uma ferramenta de modelagem do comportamento dinâmico do sistema, com capacidade para representar a dinâmica de situações de assincronismo, seqüenciação, paralelismo, concorrência e intertravamentos.

ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO MFG

Os elementos estruturais do MFG são (vide figura 3.7):

TRANSIÇÕES: correspondem a um evento que causa a mudança de estado do sistema.

BOXES: representam condições (pré e pós-condições) que podem estar associadas ao modo de operação ou à disponibilidade de um recurso do sistema.

ARCOS ORIENTADOS: estabelecem relações causais entre os eventos e as condições e vice-versa.

PORTAS: que habilitam ou inibem a ocorrência dos eventos correspondentes às *transições*, sendo denominadas *habilitadoras* ou *inibidoras*, conforme sua natureza. Estas por sua vez, podem ser sub-classificadas em *porta externa* ou *porta interna*, de acordo com a origem do sinal. A *porta habilitadora* é representada por um arco em cuja extremidade há um círculo negro conectado a uma *transição*. Quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário “1”; esta *porta* habilita a *transição* à qual está conectada. A *porta inibidora* graficamente corresponde a um arco com um círculo branco na extremidade onde se conecta à *transição*. Quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário “1”, esta *porta* inibe a *transição* em que está conectada. A origem de uma *porta interna* é um *box*. A existência de uma *marca* neste *box* equivale ao valor binário “1” e é “0” quando não existe *marca* no *box*. A origem do sinal de uma *porta externa* não faz parte do grafo, ou seja, ela indica a entrada de um sinal binário gerado por algum dispositivo externo.

MARCAS: que indicam a manutenção de condições.

ARCO DE SINAL DE SAÍDA: este *arco* envia um sinal binário do *box* para os dispositivos externos ao grafo. É representado por uma linha que conecta estes dois elementos.

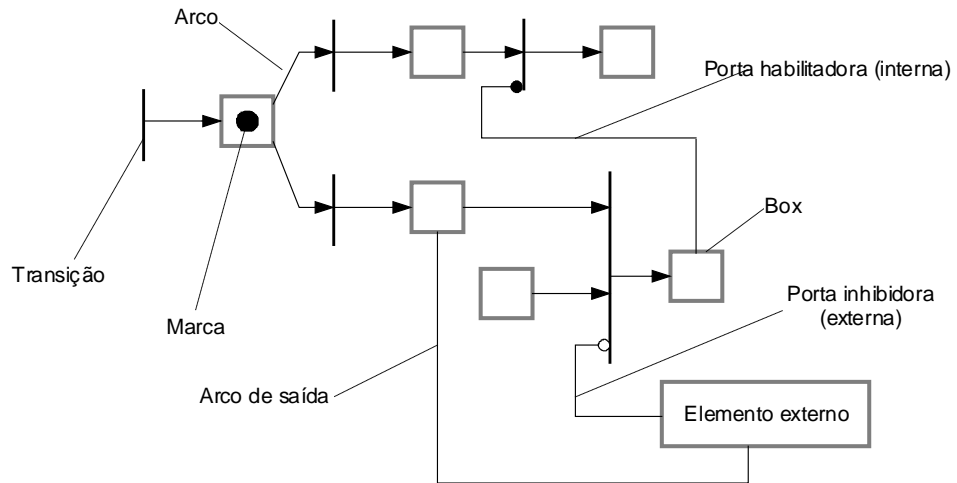


Figura 3.7 Exemplo de um modelo em MFG com a identificação de seus elementos estruturais.

Para realizar a modelagem utilizando o MFG, devem ser observadas as seguinte regras:

- Os *boxes* e as *transições* devem ser conectados de forma intercalada através de arcos orientados.
- Não existe limite para o número de *arcos* que entram o saem dos *boxes* e das *transições*. Mas, em um par *transição - box* ou *transição - elemento externo*, pode existir apenas um arco entre eles.
- As *portas* e *arcos de sinal de saída* são formas de representação explícita dos sinais de controle.

O comportamento dinâmico do sistema é representado pela evolução das *marcas* no grafo de acordo com *regras de disparo* das *transições*, ou seja, pela ocorrência de eventos associados a elas.

ELEMENTOS QUE DESCREVEM O COMPORTAMENTO DINÂMICO

Os elementos que descrevem o comportamento dinâmico de um grafo MFG são:

MARCAÇÃO: O arranjo das *marcas* no grafo define uma *marcação* e representa o estado do sistema. A *marcação inicial* é definida pelo arranjo de *marcas* no estado inicial do sistema.

No MFG existem regras que estabelecem o disparo de *transições* que correspondem à ocorrência de eventos responsáveis pela alteração dos estados do sistema.

Assim, uma *transição* está habilitada para disparar se todas as seguintes condições são satisfeitas:

- Não existe *box* no lado de saída contendo *marcas*;
- Não existe *box* no lado da entrada sem *marcas*;
- Não existe *porta* habilitadora interna que esteja no estado de desabilitação;
- Não existe *porta* inibidora que esteja no estado de inibição;

Uma *transição habilitada* para disparar é chamada “*transição habilitada*” do contrario se denomina “*transição desabilitada*”.

DISPARO: Uma *transição* é denominada disparável se ela é uma *transição habilitada* e não possui nenhuma *porta habilitadora externa* no estado de desabilitação e nenhuma *porta inibidora externa* no estado de inibição.

Se uma *transição* é disparável, ela dispara imediatamente, com exceção de casos que envolvem *conflito* e *temporizações*.

No disparo de uma *transição*, as *marcas* no interior de todos os *boxes* no lado de entrada da *transição disparável* desaparecem e, imediatamente, surgem *marcas* no

interior de todos os *boxes* no lado de sua saída. Considera-se que o disparo ocorre instantaneamente.

Desta forma, é impossível que mais de uma *transição* seja disparada simultaneamente, isto é, no MFG os disparos são discretos no tempo, existindo uma relação de precedência entre eles, que é denominada *seqüência de disparo*.

No modelo em MFG os elementos ativos são representados basicamente por duas transições (os colchetes “[“ de início de *atividade* e “]” de término de *atividade*, dos elementos ativos no PFS são respectivamente interpretados como uma *transição* de entrada e uma *transição* de saída) e um *box* interno, que representa a condição de execução da *atividade*.

PROPRIEDADES DO MODELO

Esta abordagem deve permitir a construção de grafos que apresentem propriedades desejáveis, como a limitação (“*boundedness*”), a vivacidade (“*liveness*”) e a reversibilidade (“*reversibility*”). A observação e análise dessas propriedades permitem validar o modelo sob o ponto de vista funcional.

LIMITAÇÃO: o MFG é uma rede segura, é dizer que só pode ter uma *marca* em cada *box*, o que garante a que a rede terá um número finito de *marcas*. Esta característica é importante se se tem em conta que nos sistema reais não existem capacidades infinitas.

VIVACIDADE: para construir redes “*dead – free*” deve-se assegurar que sempre existe pelo menos uma *transição* disparável. A vivacidade de uma rede pode também ser garantida mediante estratégias de controle, que impeçam situações de “*dead-lock*”.

REVERSIBILIDADE: é a propriedade pela qual um sistema depois de inicializado pode retornar a seu estado inicial.

ESPECIFICAÇÃO DO CONTROLE DE FLUXO

Deve-se garantir no modelo que o *comportamento* do fluxo esteja de acordo com as especificações desejadas para o sistema. Assim, as seguintes situações também devem ser adequadamente representadas:

CONFLITO

No MFG, pode haver convergência ou ramificação no fluxo do grafo, caracterizadas pela conexão de várias transições a um *box* no mesmo lado (entrada ou saída), conforme o indicado na figura 3.8.

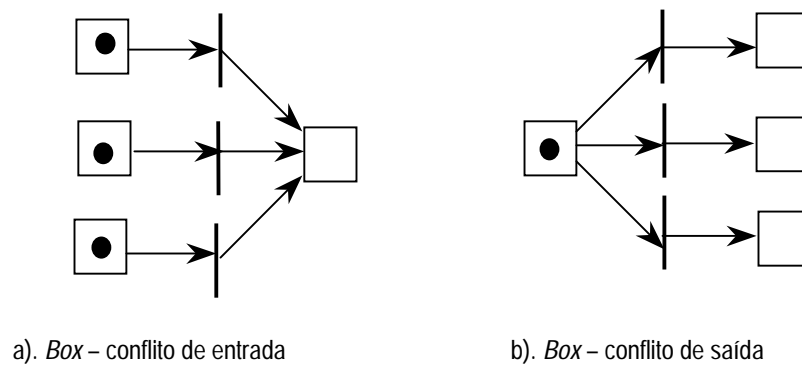


Figura 3.8 Exemplo de *boxes* conflito.

O *box* de convergência ou ramificação é chamado de *box* conflito de entrada ou *box* conflito de saída respectivamente.

A solução do conflito geralmente está vinculada ao controle do início ou término de *atividades*. No caso de conflito, somente uma das transições pode disparar e com o disparo desta, todas as outras transições ficam desabilitadas. Para definir qual destas irá disparar, deve ser utilizado um mecanismo de arbitragem. No MFG, este mecanismo

pode ser implementado de diferentes formas: por exemplo, através da especificação de uma seqüência fixa para disparar as transições em conflito, mediante a especificação de regras de controle para determinação de uma seqüência de disparo das transições em conflito em função do estado global do sistema, através de sub-grafos MFG que representam as regras de arbitragem, através de árbitros externos que se comunicam com o sistema de controle por meio de arcos de sinal de saída (para detectar o estado do sistema) e *portas externas* (para executar a arbitragem). A figura 3.9 apresenta algumas destes formas de arbitragem.

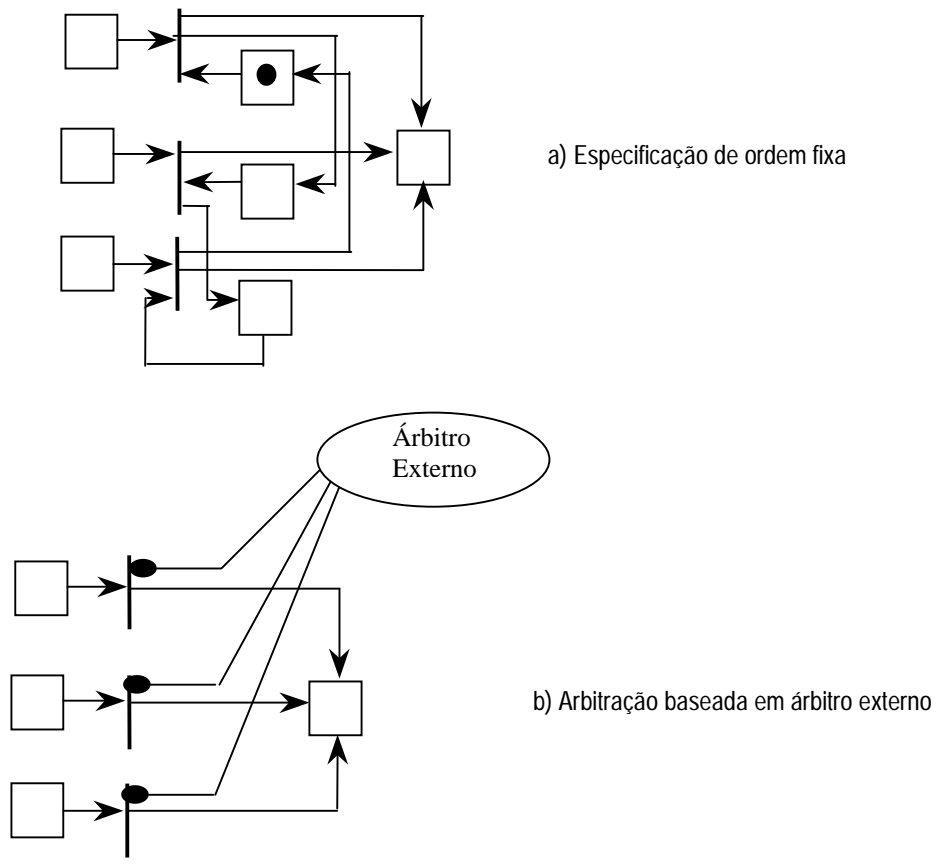


Figura 3.9 Exemplos de arbitragens de conflitos

DEADLOCK

Outro conceito importante a ser considerado no MFG são os “estados mortos” ou “*deadlocks*”. Estes estados são aqueles em que nenhuma *transição* está habilitada para

disparo. Tais estados podem ser atingidos depois da ocorrência de uma seqüência de disparos, a partir de uma *marcação inicial*, podendo ser: inerentes à estrutura do grafo (“*deadlock*” estrutural) ou devido a uma *marcação inadequada* (“*deadlock*” condicional). Em geral, os “estados mortos” alcançados durante a evolução dinâmica do MFG denotam situações indevidas para o sistema e devem ser eliminados.

No apêndice II são apresentadas as definições formais do MFG e da dinâmica das marcações.

EXTENSÕES DO MFG

Com a finalidade de oferecer maior poder de modelagem e facilitar sua aplicação na análise e controle de sistemas, foram introduzidos os seguintes conceitos e extensões ao MFG:

O conceito de tempo, extremamente importante para análise de desempenho, foi adicionado ao MFG através de dois elementos:

BOX TEMPORIZADO: quando uma *marca* aparece neste tipo de *box*, a *transição* conectada em sua saída fica disparável somente após decorrido um intervalo de tempo (t_B) (vide figura 3.10 a).

TRANSIÇÃO TEMPORIZADA: uma vez que todas as condições de disparo estejam satisfeitas, esta *transição* só dispara após decorrido um intervalo de tempo (t_T). Se durante este tempo, uma das condições deixar de ser satisfeita, a contagem de tempo é anulada e será reiniciada somente após todas as condições estarem novamente satisfeitas (vide figura 3.10 b).

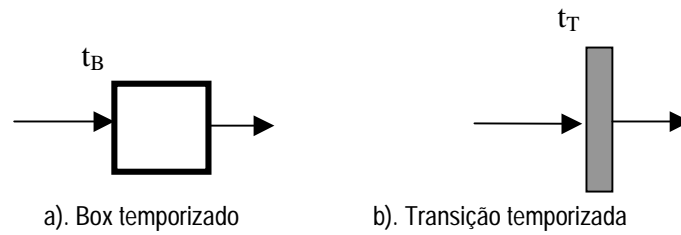


Figura 3.10 Elementos que consideram o conceito do tempo em MFG

Além destes elementos apresenta-se a seguir extensões representativas do MFG

i. F-MFG (MFG Funcional): é uma extensão do MFG que inclui além dos elementos básicos do MFG, três macro-elementos resultantes de um processo de modularização que descrevem situações comuns nas plantas de fabricação: o *box capacidade*, o *box agrupador* e o *box dispersor* [Miyagi, 1996; Matsusaki, 1998]. Esta modularização do MFG fornece uma representação explícita e precisa na forma de macro-elementos, adicionando informações práticas ao modelo. As principais características destes macro-elementos se encontram sintetizadas na tabela 3.1 e na tabela 3.2.

Tabela 3.1 Macro elementos do MFG

	BOX CAPACIDADE	BOX AGRUPADOR	BOX DISPERSOR
Símbolo: N: capacidade total de marcas do box n: número de marcas contidas no box			
Condição necessária para disparo de t1	$n < N$	$n < N$	$n = 0$
Condição necessária para disparo de t2	$n > 0$	$n = N$	$n > 0$
Resultado do disparo de t1	$n_{(depois)} = n_{(antes)} + 1$	$n_{(depois)} = n_{(antes)} + 1$	$n_{(depois)} = N$
Resultado do disparo de t2	$n_{(depois)} = n_{(antes)} - 1$	$n_{(depois)} = 0$	$n_{(depois)} = n_{(antes)} - 1$

Tabela 3.2 Portas dos macro elementos do MFG

	BOX CAPACIDADE	BOX AGRUPADOR	BOX DISPERSOR
Símbolo: N: capacidade total de marcas do box n: número de marcas contidas pelo box			
Porta habilitadora indicado por n	Habilita quando $n > 0$		
Porta habilitadora indicado por N	Habilita quando $n = N$		
Porta inibidora indicado por n	Inibe quando $n > 0$		
Porta inibidora indicado por N	Inibe quando $n = N$		

A formalização e outros detalhes do F-MFG podem ser encontrados em [Matsusaki, 1998].

ii. E-MFG (MFG Estendido): é uma extensão do MFG que inclui os conceitos de:

- Marcas individuais.
- Regras de produção associadas às transições para o controle do disparo destas [Santos, 1993; Santos,1998].

Os elementos estruturais do E-MFG foram baseados nos elementos do MFG, com a inserção de extensões apropriadas para elevar o poder de representação do grafo. Estes são:

BOXES: representam as pré e pós condições do sistema;

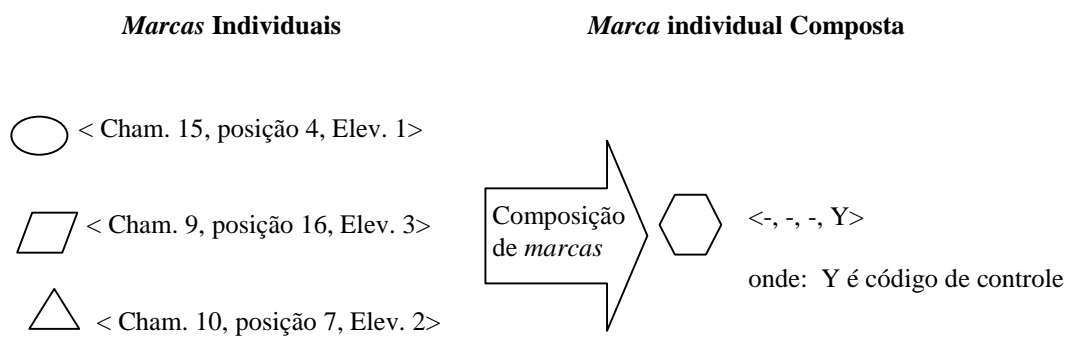
MARCAS: cuja função é representar a manutenção de uma determinada condição. Estas *marcas* podem ser individualizadas através do uso de atributos.

Os atributos nas *marcas* podem ter associadas diferentes informações que podem fazer referência ao processo, ao controle, etc. Os atributos podem ser variáveis lógicas ou inteiras, dependendo de sua natureza. Um exemplo da estrutura de uma *marca* individual é a seguir apresentada:

$$\text{Marca} = \langle a1, a2, a3 \rangle$$

$$\text{Interpretação dos atributos} \left\{ \begin{array}{l} a1: \text{chamada de cabina} \\ a2: \text{posição do elevador} \\ a3: \text{identificação do elevador} \end{array} \right.$$

Além disso as *marcas* podem ser compostas, se contém os atributos referentes à composição de várias *marcas* individuais simples. Este tipo de *marca* apresenta dentro de sua estrutura, um atributo especial reservado como código de controle, que permite ter acesso às informações da *marca* e representa o código de controle da composição. Este tipo de *marca* é útil quando se precisa armazenar informações sem perda de identidade das *marcas*. A *marca* composta possui todos os campos de atributos nulos, com exceção do campo de controle. Uma estrutura de este tipo é representada na figura 3.11



$$Y = \{ \langle \text{Cham. 15, posição 4, Elev. 1} \rangle, \langle \text{Cham. 9, posição 16, Elev. 3} \rangle, \langle \text{Cham. 10, posição 7, Elev. 2} \rangle \}$$

Figura 3.11 Exemplo da estrutura de uma *marca* individual composta

ARCOS ORIENTADOS: permitem a conexão entre transições e *boxes*, representando uma relação causa efeito entre eles. Podem conter inscrições variáveis, que permitem filtrar os atributos das *marcas* individuais.

TRANSIÇÕES: as quais indicam a ocorrência de eventos e podem ter inscrições que representam regras adicionais de disparo. Estas regras são especificadas por funções lógicas baseadas em cálculo proposicional. A figura 3.12 representa o exemplo de uma regra adicional de controle associada à *transição* t1.

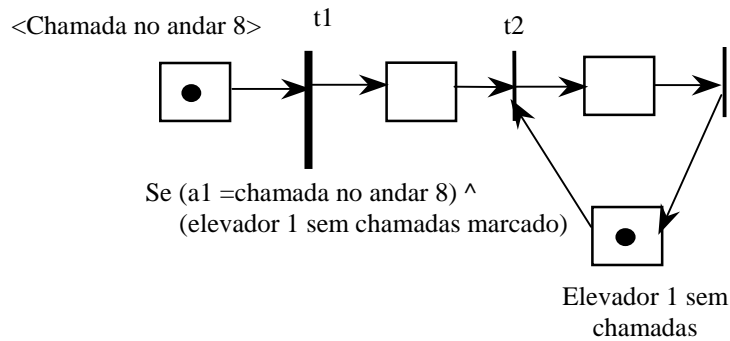


Figura 3.12 Exemplo de uma inscrição na *transição*

PORTAS: sua função é habilitar ou inibir as transições. Podem receber inscrições fixas, o que aumenta o seu poder de controle sobre os eventos (habilitando ou inibindo). A figura 3.13 ilustra estes aspectos.

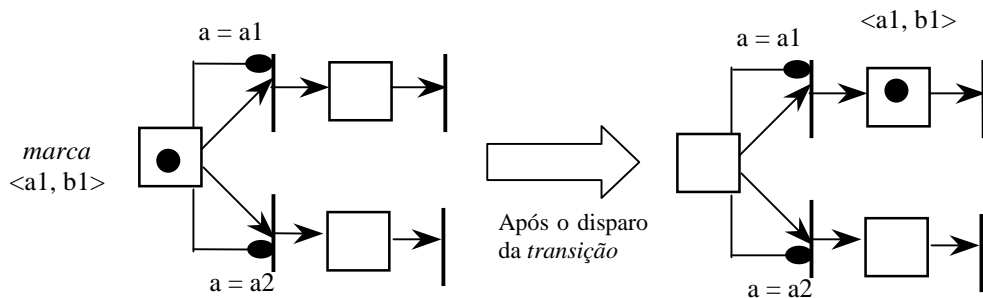


Figura 3.13 Exemplo de seleção de *marcas* por inscrições nas portas.

As *portas* são estruturas que representam regras adicionais para o disparo das transições. Alternativamente, pode-se interpretar o funcionamento das *portas* como transmissores de dados (*portas de dados*) responsáveis por transmitir valores de atributos pertencentes a *marcas* internas do grafo [Silva & Ferreira, 1998].

Tendo em vista um sistema onde a estratégia de controle da planta é representada por meio de um grafo, a interação entre o controlador e a planta, é realizada por *portas*.

ARCOS DE SINAL DE SAÍDA: permitem a comunicação com elementos externos ao grafo. Podem ter inscrições variáveis que permitam transmitir informações sobre os atributos das *marcas*.

O E-MFG também possui um elemento que permite representar o tempo no modelo, através de um *box* que retém a *marca* em seu interior durante um certo intervalo, dependendo do estado de algum atributo predefinido para tal função.

Um outro elemento importante no E-MFG é o *box controlador* (representado por um quadrado com um losango em seu interior), este *box* possui um conjunto de regras de controle descritas através de estruturas “se... então... senão” (*if then else*). Estas regras são regras de produção que observam o estado atual dos elementos do grafo (e.g. valores do atributos das *marcas*) e caso estejam satisfeitas executam alguma atribuição de valores aos atributos de uma *marca*, esta dinâmica é ilustrada na figura 3.14

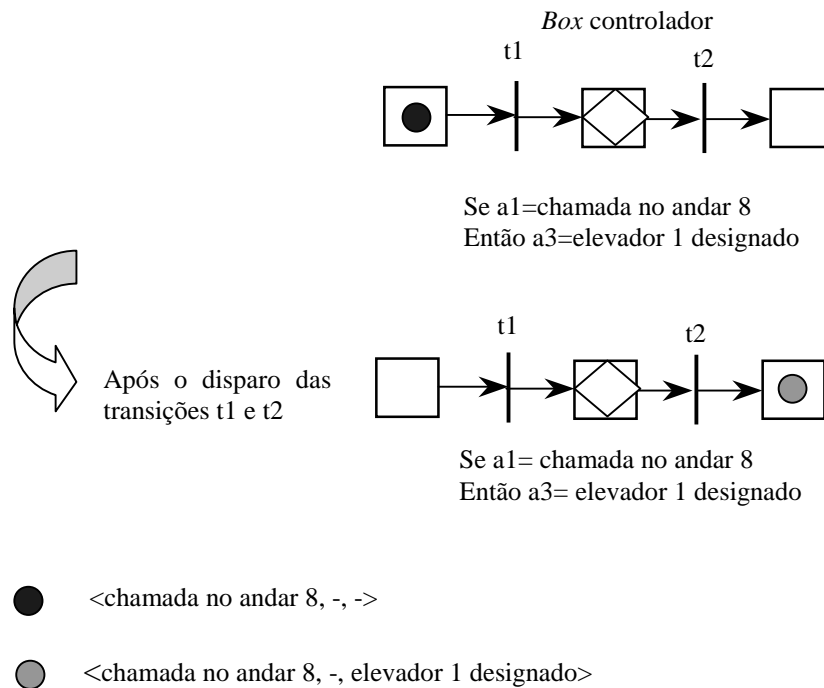


Figura 3.14 Exemplo de um *box* controlador alterando os atributos de uma *marca*

Além destes elementos, foram introduzidos também, macro-elementos que permitem simplificar a representação de alguns dispositivos. Estes elementos são *boxes* funcionais que possuem as características básicas propostas no F-MFG, mas que neste caso manipulam *marcas* individuais, o que permite controlar a seqüência de entrada e saída destas e seu conteúdo. Estes macro-elementos são: *box capacidade*, *box agrupador*, *box dispersor*.

COMPORTAMENTO DINÂMICO DA MARCAÇÃO

O controle dos atributos associados as *marca* pode ser realizado através de:

- Alterações condicionadas: nas quais a atualização dos atributos depende do estado atual da *marca*. Esta tarefa é realizada pelo *box controlador*. (vide figura 3.14).
- Filtragens seletivas: se refere aos atributos que devem acompanhar ou não uma *marca* depois do disparo de uma *transição*. Esta filtragem é realizada

através das inscrições nos *arcos*, sendo que esta forma de restrições só é definida para os atributos. Os símbolos usados para o filtragem é apresentada na figura 3.15. O mecanismo de filtragem seletiva e a representação dos filtros nos arcos orientados são ilustrados na figura 3.16

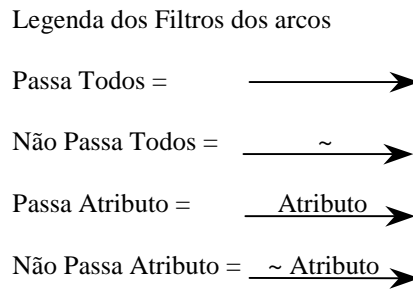


Figura 3.15 Nomenclatura da legenda dos filtros

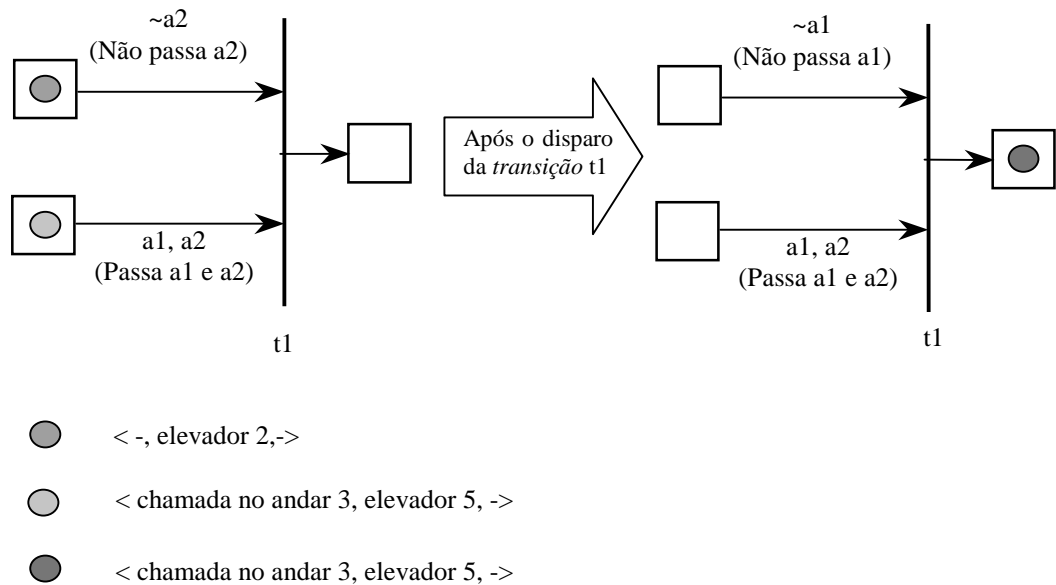


Figura 3.16 Exemplo de alteração dos atributos por filtragem.

DINÂMICA DE DISPARO

O disparo de uma *transição* se realiza seguindo uma hierarquia com três níveis de decisão, determinada pelas seguintes regras:

1. Primeiro nível: regras de restrições adicionais de disparo. Estas regras são especificadas através de inscrições nas transições. Uma *transição* que cumpre estas regras é denominada “*transição em prontidão*”.
2. Segundo nível: regras de habilitação de disparo. Estas regras estão relacionadas à manutenção das regras básicas de disparo herdadas do MFG. Se uma *transição* cumpre estas regras e é também uma *transição* em prontidão, é denominada “*transição habilitada*”.
3. Terceiro nível: regras de realização de disparo. Estas regras correspondem à verificação das regras de arbitragem e das de filtragem seletiva. Se uma *transição* habilitada, tem também seus conflitos resolvidos, é chamada “*transição disparável*” e dispara de imediato.

iii. MFG AUTO-MODIFICÁVEL

Para aumentar ainda mais o poder de modelagem do MFG é introduzida uma extensão baseada nos trabalhos de [Valk, 1978; Riascos, 1998], que permite alterar dinamicamente a estrutura do modelo em função do estado atual do sistema, através do uso de *arcos auto-modificáveis* cujos pesos, dependem da *marcação* em lugares específicos definidos previamente.

Sua representação gráfica pode ser realizada rotulando o *arco* com o nome do lugar (b_q) ao qual está associado, conforme é apresentado na figura 3.17.

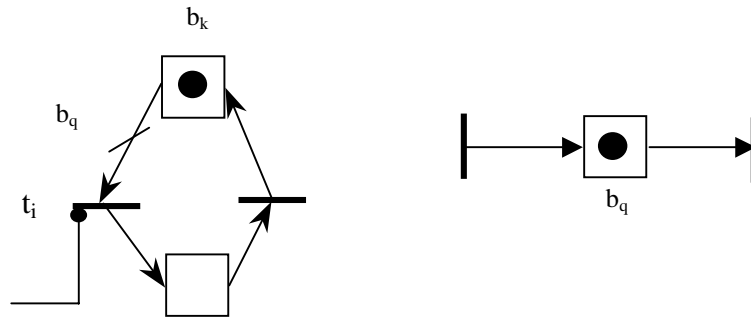


Figura 3.17 Modelo em MFG com arcos auto-modificáveis

A dinâmica de disparo de uma *transição* em um MFG auto-modificável segue em principio as mesmas regras do MFG, isto é uma *transição* fica habilitada para disparar se cada lugar de entrada contém uma *marca*, mas no caso auto-modificável além deste requerimento, deve-se cumprir também a restrição imposta ao *arco* em referência a um *lugar* especificado.

Assim o MFG auto-modificável, permite uma rede cuja estrutura pode ser dinamicamente alterada, para se adaptar às ocorrências que possam acontecer no sistema.

3.2. OBSERVAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo apresentou-se a rede de Petri como uma das técnicas que existem para a modelagem e análise de sistemas a eventos discretos, dentro do qual foi caracterizado o sistema de elevadores, e que se destaca por seu potencial como uma técnica uniforme de modelagem, sua facilidade de interpretação, modularização, e representação hierarquizada. Dentro desta técnica foi selecionada para a modelagem a metodologia PFS/MFG (Production Flow Schema/Mark Flow Graph) baseada nesta teoria e que permite através de um abordagem “*top-down*” sistematizar e racionalizar a construção de grafos até a obtenção do modelo funcional do sistema.

Dentro desta metodologia foi apresentado o MFG como uma interpretação de redes de Petri, efetiva para modelar e especificar o comportamento dinâmico de SEDs, explicitando sua comunicação com elementos externos. A seguir foram apresentadas suas propriedades para descrever as condições e ocorrência de eventos. Além disso foram consideradas as extensões do MFG que incrementam seu poder de modelagem: o F-MFG no qual se adicionam informações ao modelo através do uso de macro-elementos, o E-MFG que possui *marcas* individuais e uma hierarquia no processo de disparo das transições e foi introduzido o MFG auto-modificável que considera a presença de *marcas* em *lugares* definidos previamente para modificar sua estrutura.

No restante do texto será utilizado o termo MFG no sentido genérico que incorpora o MFG original e as extensões apresentadas: F-MFG, E-MFG e MFG auto-modificável.

Capítulo 4

METODOLOGIA DE MODELAGEM DE SISTEMAS DE ELEVADORES

Neste capítulo é apresentada a metodologia para a modelagem de sistemas de elevadores em edifícios inteligentes, indicando as etapas que devem ser consideradas para o desenvolvimento sistemático do modelo do sistema.

4.1. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia a ser considerada deve auxiliar e orientar adequadamente o projeto de sistema de elevadores na medida que deve fornecer o suporte necessário para o desenvolvimento dos modelos deste sistema, considerando uma eficiente integração entre este e outros sistemas prediais em edifícios inteligentes (sejam edifícios a serem construídos, onde já se tem definidos os parâmetros iniciais necessários para a instalação do sistema de elevadores ou, para tornar inteligente um prédio convencional). Portanto, esta metodologia deve organizar e estruturar as etapas de trabalho em forma sistemática com a finalidade de auxiliar no projeto destes sistemas, outorgando suporte adequado à flexibilidade do sistema que esta classe de edifícios deve apresentar.

Considerando que o sistema de elevadores para edifícios inteligentes tem como finalidade básica fornecer ao usuário um eficaz transporte vertical com rapidez, conforto e segurança, procurando sua integração eficiente com outros sistemas prediais, é importante que sua modelagem deva representar o sistema de forma adequada com respeito a aspectos que possam afetar seu serviço (dinâmica de funcionamento,

estratégias de controle que permitem a sua integração com outros sistemas do edifício, etc.) com a finalidade de permitir uma posterior análise do mesmo.

A metodologia para a modelagem de sistemas de elevadores pode ser dividida nas etapas gerais ilustradas na figura 4.1.

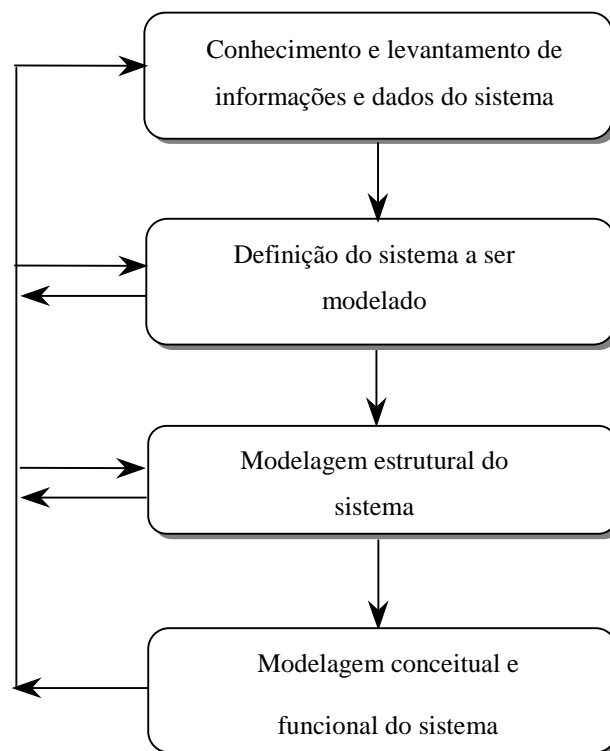


Figura 4.1 Metodologia para a modelagem de sistemas de elevadores em EI.

Etapa 1: Conhecimento e levantamento de informações e dados do sistema

Esta etapa tem como finalidade definir as características do sistema que permitam desenvolver a sua definição. Aqui devem considerar-se os requisitos e funções necessárias do sistema.

Para a realização desta etapa é necessário o relacionamento com o pessoal encarregado do sistema de elevadores como: os projetistas, o pessoal de manutenção, os administradores responsáveis pelo sistema, os proprietários e usuários entre outros,

mediante a realização de entrevistas procurando: obter, definir e organizar as informações adequadas que levem em conta as considerações e necessidades requeridas para o sistema.

Nesta etapa procura-se conhecer o sistema através do levantamento das informações deste, as quais servem também como um meio para realizar uma análise preliminar e identificar os dados relevantes ao sistema, pertinentes para a modelagem do mesmo e que permitam caracterizar os elementos deste a nível quantitativo, tanto para o caso de um edifício já construído ou em fase de projeto. A consecução das informações pode ser realizada através das visitas ao sistema, além da revisão da documentação existente como relatórios, plantas e manuais técnicos.

Estas informações são:

INFORMAÇÕES DO EDIFÍCIO

- Funções desempenhadas em seu interior (hospital, shopping, escritórios, etc.);
- Número de pavimentos (divisão espacial);
- Área construída;
- Tipos de usuários;
- Configuração do edifício;
- Existência de Sistema de Gerenciamento do Edifício (SGE).

INFORMAÇÕES DOS ELEVADORES

- Número de elevadores, unidades que atualmente prestam o serviço e tipo de usuário que os utiliza;
- Tipo de serviço prestado por cada elevador (uso geral, serviço, manutenção);
- Distribuição dos elevadores;

- Capacidade de cada elevador;
- Número de grupos de elevadores existentes e número de elevadores isolados;
- Andares servidos e paradas dos elevadores;
- Estratégias utilizadas para os grupos;
- Tipo de controle instalado;
- Tipo de acionamento principal do elevador (hidráulico, elétrico).

Etapa 2: Definição do sistema a ser modelado

Nesta etapa, as informações levantadas são analisadas e é avaliada a validade e viabilidade técnica do atendimento das necessidades do pessoal envolvido com o sistema, considerando as normas relacionadas com os sistemas de elevadores e o tipo e função do prédio onde são instalados, além da tecnologia disponível, para se obter uma definição mas precisa do que é requerido para este.

Uma avaliação cuidadosa e uma análise das informações levantadas nesta etapa pode permitir identificar erros de interpretação e verificar a necessidade de novos levantamentos em função de:

- Informações não suficientemente claras
- Informações contraditórias ou incorretas.

E, até avaliar críticas e reconsiderações ao sistema e aos objetivos ao identificar-se:

- Objetivos não realizáveis com a tecnologia disponível
- Objetivos não alcançáveis por razões de custo – benefício.

Nesta etapa pode-se utilizar ferramentas como a apresentada em [Miyagi, 1996], que consiste em um grafo que explicita a relação objetivo – procedimento, derivada de técnicas de “engenharia de produção”.

Assim, são definidas entre outras características do sistema: o tipo de controle, estratégias para funcionamento em grupo e integração com outros sistemas prediais, etc. As informações obtidas nesta etapa serão a base das subseqüentes etapas, o que denota sua importância.

Uma vez que o sistema de elevadores tenha sido definido, a concepção de modelos como técnica de descrição formal permite a organização do conhecimento, facilita a comunicação entre diferentes pessoas, detecta erros e permite determinar a validade dos requerimentos levantados, tornando mais fácil e objetiva a especificação do comportamento do sistema.

Etapa 3: Modelagem estrutural do sistema

Esta etapa consiste no desenvolvimento do modelo estrutural do sistema de elevadores, onde são identificadas as partes que o compõem, considerando-o dentro do contexto dos edifícios inteligentes e levando em conta a arquitetura adotada para o sistema de controle.

Nesta etapa, o sistema é abordado de forma bipartida, dado que este pode ser representado mediante a inter-conexão de dois subsistemas fundamentais que se comunicam cooperativamente, estes subsistemas representam a parte operativa relacionada ao objeto de controle (cabins dos elevadores) e a parte de controle relacionada ao sistema de controle [Silva, 1985] (vide figura 4.2)

Esta decomposição do sistema consiste em estabelecer uma distinção entre o subsistema de execução (parte operativa) e o subsistema de coordenação (parte de controle). Assim, a parte operativa envia para a parte de controle informações sobre seu estado (que possibilitam a realização do controle) e, a parte de controle de acordo com

estas informações retorna à primeira ordens de operação por intermedio dos atuadores. Desta forma, impõe-se o comportamento dinâmico desejado de acordo com a especificação das ordens de comando externas.

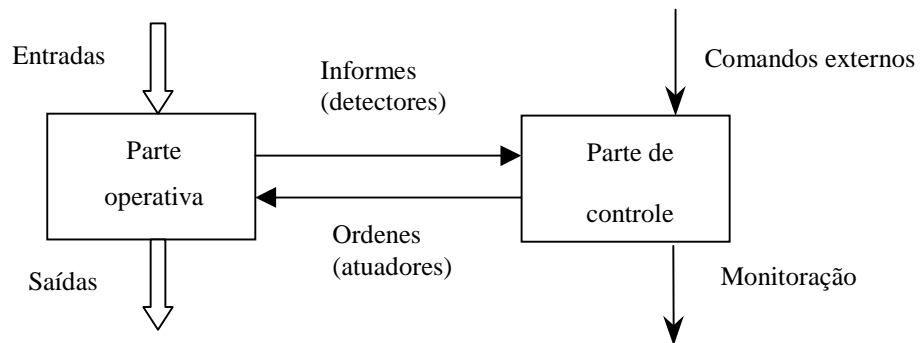


Figura 4.2. Descomposição da descrição de um sistema em parte operativa e parte de controle

Esta descomposição permite tratar a complexidade do sistema de elevadores e simplifica a construção do modelo global do sistema.

Nesta etapa, os componentes da parte de controle são considerados de acordo com o diagrama apresentado na figura 2.3, levando em conta os dispositivos usados indicados na tabela 2.2.

No modelo estrutural é indicada a interação entre as diferentes partes do sistema, onde cada um dos elementos estruturais deste pode ainda ser dividido em módulos, para facilitar a modelagem do sistema.

Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema

Nesta etapa a modelagem de cada um dos elementos estruturais do sistema é realizada de forma sistemática e hierárquica, sendo sua característica abordar a modelagem do sistema a nível conceitual para seguidamente fazer um refinamento do mesmo e obter seu modelo funcional. Assim, inicialmente manipula-se o sistema num nível de abstração que não considera o seu comportamento dinâmico e, posteriormente, realiza-

se o detalhamento progressivo e estruturado deste até derivar o modelo funcional do sistema.

O modelo conceitual do sistema é particularmente importante para tratar os problemas de interpretação das informações obtidas pelas pessoas (as quais muitas vezes tornam-se específicas e subjetivas), ao auxiliar a organização das idéias e o conhecimento do sistema e permitindo a descrição e compreensão deste ao modelar as principais inter-relações e funções de seus diferentes componentes, para depois derivar uma especificação funcional adequada.

Para esta etapa é adotada como ferramenta de modelagem o PFS utilizado dentro do contexto da metodologia PFS/MFG, pelas considerações e características desta técnica apresentadas no item 3.1.2 do capítulo 3.

A elaboração de um modelo em PFS adequado e correto nesta etapa da metodologia é de fundamental importância não somente porque ajuda a organizar as idéias e informações coletadas, mas também porque os modelos subsequentes são baseados no refinamento destes modelos. Assim, os modelos construídos são avaliados e revisados em função da satisfação plena das características do sistema definido. Nessas avaliações podem ser detectadas falhas na construção dos modelos, ou até mesmo falhas no levantamento das informações, o que pode implicar em novos levantamentos e até na redefinição do sistema.

Neste nível, deve-se inicialmente identificar as principais atividades realizadas em cada um dos elementos considerados no modelo estrutural do sistema, sendo importante ter em conta as inter-relações entre estes elementos, definindo as suas respectivas funções

dentro do sistema. A representação é realizada por elementos ativos que se interrelacionam através dos fluxos definidos pelo sistema.

Nos sistemas de elevadores estas inter-relações podem ser identificadas como fluxos de informações na entrada e saída de cada subsistema.

Por sua vez, a modelagem funcional compreende a descrição do comportamento dinâmico do sistema. Para a consecução deste modelo é adotado o MFG (MFG original e suas extensões: F-MFG, E-MFG, MFG auto-modificável necessárias para abordar adequadamente as características do sistema de elevadores). Aqui os fluxos podem ser representados dinamicamente através de uma evolução de *marcas* no modelo e o controle dos fluxos pode ser realizado através do controle dessa evolução de *marcas*.

A utilização desta técnica de modelagem permite a representação explícita dos estados alcançáveis do sistema e a troca eficiente de sinais entre o controlador e o objeto de controle através de elementos estruturais como as *portas externas* e *arcos de sinal de saída*. Sua aplicação baseia-se na representação do fluxo de informações decorrente das solicitações dos usuários do sistema. Assim, o controlador recebe estas informações e envia os sinais pertinentes aos dispositivos a partir de *arcos de sinal de saída* no sentido de habilitar a realização de uma determinada tarefa e, em contra partida, recebe informações de confirmação do término da tarefa a partir de *portas externas* associadas aos dispositivos, deixando livre o controlador para a realização da etapa seguinte de controle.

Desta forma, realiza-se a integração das diversas partes estruturais do sistema através do controle do fluxo de informação.

Os modelos são avaliados com a finalidade de verificar se eles representam adequadamente as especificações do sistema real, de tal forma que seu comportamento dinâmico seja coincidente com o comportamento esperado. Esta análise pode implicar em correções do modelo.

A especificação funcional do sistema obtida nesta etapa serve para definir os requisitos para o projeto do sistema. Uma análise destes requisitos permite até mesmo alterar os parâmetros inicialmente adotados para o sistema.

4.2. OBSERVAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a metodologia para a modelagem de sistemas de elevadores. Esta é uma metodologia que permite a modelagem passo a passo e é iniciada a partir do levantamento de informações que são utilizadas para a definição do sistema a ser modelado (elevadores considerados, estratégias de controle, etc.). Em seguida, são desenvolvidos os modelos do sistema iniciando com um modelo estrutural deste, para depois gerar os modelos conceituais em PFS, que são posteriormente refinados em modelos funcionais em MFG os quais permitem descrever a dinâmica do sistema incluindo até níveis operacionais.

Desta forma a metodologia explora os recursos das redes interpretadas para a modelagem de sistemas de elevadores através do uso do PFS e o MFG.

A partir do modelo funcional pode-se ainda derivar um modelo estendido para análise, para isto o modelo deve incluir o conceito de tempo através de estruturas adequadas.

Capítulo 5

ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a modelagem de sistemas de elevadores no contexto de edifícios inteligentes resultante da aplicação da metodologia descrita no capítulo 4, para o caso de um prédio hospitalar.

5.1. PRÉDIO DOS AMBULATÓRIOS (PAMB)

Dentre as aplicações que poderiam ser consideradas, foi definido como estudo de caso o prédio dos ambulatórios (PAMB) do Instituto Central do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP). Este prédio não é de fato um edifício inteligente entretanto, em virtude de suas características é considerado aqui como um objeto de estudo relevante para a investigação da implantação do conceito de sistemas inteligentes.

O PAMB faz parte do HC-FMUSP (Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo) o qual é um complexo hospitalar de atendimento terciário, isto é, que atende a todas as especialidades médicas e é responsável pelos casos médicos complexos a ele trasladados de um posto de saúde ou um hospital regional que não têm condições de atendimento. Este complexo é formado por 2 hospitais auxiliares, 1 divisão de medicina de reabilitação e pelos seguintes institutos e prédios (vide figura 5.1):

- Instituto central (IHC) : cujo prédio conta com 44.760 m² de área construída. Além deste prédio, fazem parte deste instituto:
 - O Prédio dos Ambulatórios (PAMB): com cerca de 111.000 m² de área construída.

- O Instituto de radiologia (InRad): com um prédio de cerca de 4.000 m² de área construída.
- Instituto do Coração (InCor): com cerca de 31.800 m² de área construída.
- Instituto de Ortopedia (IOT): com cerca de 22.668 m² de área construída.
- Instituto de Psiquiatria (IPq): com cerca de 13.067 m² de área construída.
- Instituto da Criança (ICr): com cerca de 11.000 m² de área construída.
- Prédio da Residência Médica: com cerca de 5.100 m² de área construída. Neste prédio se dispõe de acomodações para os residentes médicos.
- Prédio do CPD: Central de processamento de dados.
- Prédio da Administração: com cerca de 12.000 m² de área construída.
- Garagem da divisão de transporte: com cerca de 2.700 m² de área construída.
- Depósito de lixo.
- Casa de caldeiras.
- Oficina de conservação e reparo: com cerca de 2.882 m² de área construída.



Figura 5.1 Localização do PAMB no complexo hospitalar das Clínicas

O prédio do PAMB foi construído em 1979 e por ele circulam aproximadamente 5.000 funcionários, onde também são atendidos diariamente cerca de 2.300 pacientes.

5.1.1. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA AO SISTEMA DE ELEVADORES DO PAMB

Etapa 1: Conhecimento e levantamento de informações e dados do sistema

Esta etapa foi desenvolvida através das visitas ao complexo HC - FMUSP, e a revisão de plantas e da documentação existente.

Inicialmente foi identificada a função do sistema de elevadores dentro do PAMB: possibilitar o transporte vertical de pacientes, visitantes, funcionários da área de saúde e funcionários em geral, além, evidentemente, de equipamentos, alimentos e outras cargas móveis.

As informações importantes para a modelagem do sistema de elevadores do PAMB são:

- INFORMAÇÕES DO EDIFÍCIO
 - Função desempenhada em seu interior: hospital (de ambulatorios);
 - Número de pavimentos (divisão espacial): 11, discriminados assim:
 - Casa de máquinas.
 - Subsolo (andar 1): serviços gerais
 - Pavimento térreo (andar 2): acesso de funcionários
 - Primeiro pavimento (andar 3): banco de sangue (Hemocentro).
 - Segundo pavimento (andar 4): laboratório central.
 - Quarto pavimento (andar 5): praça de acesso e atendimento ao público (serviços administrativos, consultórios).

} Refeitórios, vestiários,
creche, recepção de
material, etc.

- Quinto pavimento (andar 6): andar de ambulatórios.
- Sexto pavimento (andar 7) : andar de ambulatórios.
- Oitavo pavimento (andar 8): farmácia industrial.
- Nono pavimento (andar 9): centro cirúrgico com 33 salas cirúrgicas.
- Cobertura (andar 10): heliporto e áreas para primeiros socorros.

E mais 7 pavimentos técnicos (inter-andares ou pavimentos específicos para a instalação de equipamentos e outras facilidades previstas para a flexibilidade funcional do edifício) a partir do primeiro andar. Estes são servidos por elevadores de manutenção.

Como pode ser apreciado segundo a nomeação dos andares, no PAMB não existem pavimentos identificados como terceiro e sétimo devido à correspondência por nomes que foi realizada com os pavimentos do prédio do instituto central. Para efeitos deste trabalho considerou-se adequado nomear os andares de 1 ao 10 a partir do subsolo (sem considerar os pavimentos técnicos e casa de máquinas).

Ressalta-se também que o prédio possui duas entradas, localizadas em diferentes partes do prédio, devido à irregularidade do terreno onde este se encontra, uma delas é destinada para os funcionários do hospital e esta localizada no pavimento térreo, a outra entrada é usada pelos pacientes e visitantes e se encontra no nível do quarto pavimento.

- Área construída: 111.000 m²
- Tipos de usuários: Correspondem basicamente aos seguintes tipos:
 - Pessoal da saúde: médicos, enfermeiras, estudantes de medicina (graduação e pós-graduação), auxiliares;
 - Pessoal administrativo e operativo assistencial;
 - Público geral: pacientes e visitantes

} Funcionários

- Configuração do edifício. A arquitetura estrutural do PAMB é genérica, isto é, basicamente a mesma planta estrutural para todos os andares, e assim cada ambulatório adaptou-a de acordo a sua necessidade. O prédio dos ambulatórios está dividido em quatro blocos de circulação (A, B, C, D) (vide figura 5.2)
- Existência de Sistema de Gerenciamento do Edifício (SGE): na atualidade não existe nenhum tipo de SGE instalado
- INFORMAÇÕES DOS ELEVADORES
 - Número de elevadores: 16 elevadores (vide tabela 5.1):
 - Tipo de serviço prestado: no PAMB atualmente, existem elevadores diferentes para uso geral, serviço e manutenção (vide tabela 5.1);
 - Distribuição dos elevadores: os elevadores estão distribuídos em zonas de circulação como apresentado pela tabela 5.1 e a figura 5.2
 - Capacidade de cada elevador: no PAMB existem elevadores de vários tamanhos e capacidades segundo sua função (vide tabela 5.1).

Tabela 5.1 Algumas informações do sistema de elevadores do PAMB

Bloco de circulação	No de elevadores	Lotação (pessoas – kg-f)	Usuários (atuais)
A	4	21 – 1470	funcionários e público geral
B	3	24 – 1680	funcionários e público geral
C	3	24 – 1680	público geral
D	2	18 - 1260	funcionários
Prumadas 1 e 2	2	16 –1120	funcionários
Prumadas 1 e 2	2 (manuten.)	3500 Kg	pessoal manutenção

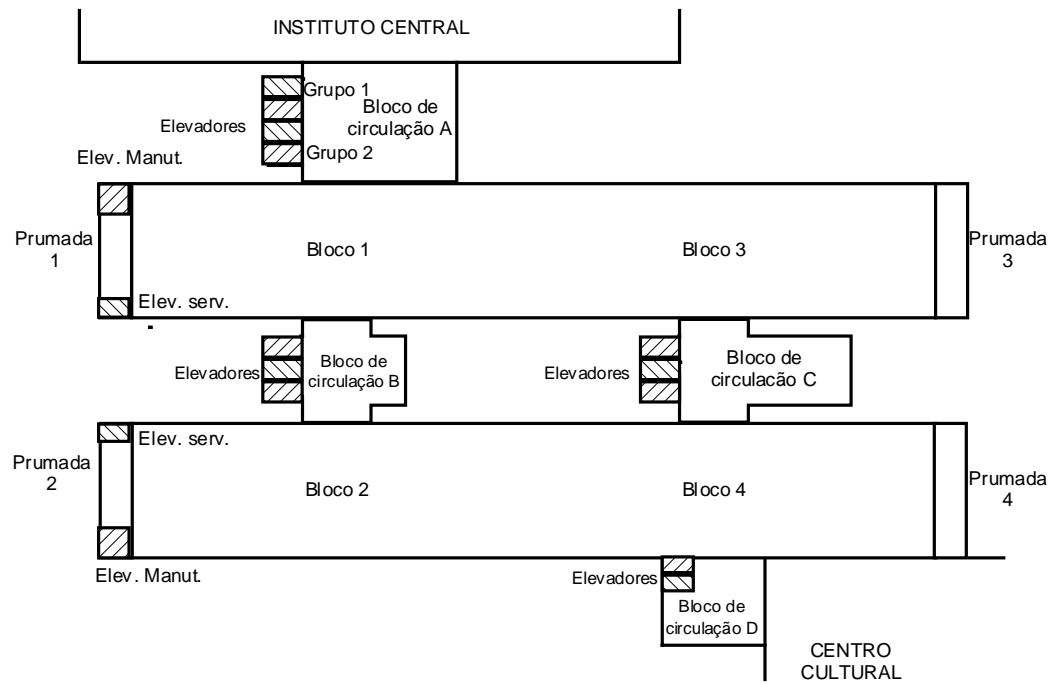


Figura 5.2. Planta ilustrativa do prédio dos ambulatórios (PAMB) com a disposição dos elevadores.

- Número de grupos de elevadores: existem no PAMB 5 grupos de elevadores, distribuídos segundo os blocos de circulação como se apresenta na tabela 5.2.

Tabela 5.2 Número de grupos de elevadores no PAMB

Bloco de circulação	No de grupos de elevadores
A	2
B	1
C	1
D	1

- Andares servidos e paradas dos elevadores: Para o PAMB atualmente, tanto os grupos como os elevadores isolados (de serviço), realizam paradas em diferentes andares, como apresentado na tabela 5.3

Tabela 5.3 Andares servidos e paradas dos elevadores do PAMB

Bloco de circulação	Grupos de elevadores	Paradas (andares servidos) (situação atual)
A	Grupo 1	Andar 3 até andar 10 : 8 paradas
	Grupo 2	Andar 1 até andar 10: 10 paradas
B		Andar 1 até andar 7: 7 paradas
C		Andar 3 até andar 7: 5 paradas
D		Andar 1 até andar 9: 9 paradas

- Estratégias utilizadas para os grupos: atualmente os elevadores não trabalham em grupo, cada um deles opera de maneira independente comandados por um ascensorista.
- Outras Estratégias: O sistema de elevadores conta com um sistema eletromecânico usado em caso de falta de energia elétrica, que é encarregado de fazer descer (mediante a entrada em operação do gerador de energia de emergência) os elevadores (um de cada vez) até o pavimento térreo e ali abrir as portas e travar. As cabinas contam também com dispositivos para, por meios mecânicos (chaves), fazer sua movimentação independente, em resposta a um atendimento preferencial.
- Tipo de controle instalado: A lógica de controle instalada está baseada em relés eletromecânicos. Atualmente só é realizada a “monitoração” geral dos elevadores por meio de lâmpadas sinalizadoras em um painel instalado numa sala no subsolo que indica a direção (descida e subida) de movimento do elevador e os andares onde estão sendo efetuadas as chamadas.

- Tipo de elevador: Os elevadores são acionados por motores elétricos de corrente alternada em um sistema de tração com redutor.

Algumas características do sistema de elevadores no PAMB são:

No PAMB dispõe-se de pessoal de apoio no hall de acesso aos elevadores para público geral e sua função é coordenar e dirigir às pessoas em forma ordenada (mediante filas) para o uso dos elevadores. Entre suas tarefas está também a de informar aos usuários o sentido de viagem do elevador, dar prioridade aos doentes, idosos, pessoal de macas, cadeira de rodas e mulheres grávidas. Todos os elevadores contam com ascensorista que além de realizar a operação do elevador, orienta o ingresso e saída dos usuários.

O PAMB conta com rampas entre os andares para facilitar a mobilidade do pessoal e os veículos (macas, cadeiras de rodas, carros de roupas, de comida ou de instrumentos, dispositivos portáteis, etc.) e conseguir maior circulação vertical, embora seja proibido o transporte de pacientes em maca por este meio [Min. Saúde, 1995]. Estas rampas facilitam o manejo de materiais cirúrgicos e de farmácia em conjunto com os montacargas (o PAMB possui 4, dois no centro cirúrgico para o transporte de lixo e dois na farmácia para o transporte de medicamentos).

Etapa 2: Definição do sistema a ser modelado

Segundo a norma 7192 da Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT, 1982], e a norma para projetos de estabelecimentos de saúde [Min. Saúde, 1995], algumas das principais especificações, para os sistemas de elevadores instalados nestas instituições são:

- Os elevadores de pacientes servindo a mais de quatro andares devem ter comando automático coletivo.

- Deve existir também pelo menos, um elevador adaptável para as manobras do corpo de bombeiros.
- O sistema de elevadores deverá contar com estratégias adequadas em caso de incêndio e falta de energia.
- Instalações de ajuda adequadas para facilitar a orientação das pessoas (sinalização visual e sinais acústicas como meio complementar, sobretudo para o caso de incêndio).
- Nos hospitais com mais de 17 andares se impõe a criação de zonas para evitar tempos excessivos de transporte.
- A instalação deve ser capaz de transportar em cinco minutos:
 - 8 % da população do edifício, quando houver tubo de queda para roupa e montacarga para o serviço de alimentação.
 - 12 % da população para consultórios e escritórios
- O tempo máximo admissível que um passageiro deve esperar pelo elevador em um hospital é de 45 s.

Tendo em conta as especificações expostas e em referência ao PAMB como objeto de estudo para serem aplicados nele os conceitos de edifício inteligente, considera-se que a introdução de um sistema de controle microprocessado, adequado à organização e as restrições inerentes ao funcionamento do hospital, e integrado com outros sistemas prediais, pode melhorar o grau de serviço do sistema de elevadores.

É importante fazer a ressalva de que não faz parte do presente trabalho tratar sobre o *hardware* necessário para a implementação do controle, embora sejam levantadas algumas das necessidades deste.

A análise das informações levantadas do sistema e a consideração das normas que existem para hospitais resultaram na especificação das seguintes estratégias de funcionamento do sistema de elevadores do PAMB e de integração deste com outros sistemas prediais:

Estratégia duplex / triplex

Esta estratégia é considerada adequada no caso de serviço para hospitais [Elevator World, 1992] e é disponível para grupos de dois ou três elevadores, em edifícios de poucos andares. Requer dois botões em cada andar, um para descer e um para subir, exceto para os andares terminais (subsolo e cobertura). Esta opera pelo princípio direcional, segundo o qual só quando nenhum serviço na atual direção de movimento é requerido, o elevador pode servir a direção oposta [Yuan, 1990], assim o elevador responde suas chamadas de andar e de cabina de forma sequencial desde sua posição atual e na sua direção de viagem.

Nesta estratégia é selecionado o elevador considerado como o “melhor posicionado” para responder uma determinada chamada de andar, segundo a menor diferença entre a posição do elevador e o andar onde foi realizada a chamada. A chamada é cancelada quando um elevador com a direção solicitada pára no andar correspondente. Esta estratégia é adequada para atender o tráfego inter-andares [Barney & Dos Santos, 1979]. Podem ser estabelecidas também outras estratégias para os período de tráfego de pico de subida ou de pico de descida¹.

¹ Tráfego de pico de subida e de descida: é a condição de tráfego existente quando o fluxo dominante é na direção de subida ou descida respectivamente.

Estratégia para tráfego de pico de subida

Esta estratégia é executada nos períodos de tráfego de pico de subida [Elevator World, 1992] que acontecem no PAMB das 7:00 hs às 8:30hs o qual é o período de chegada de pacientes da manhã e funcionários e das 13:00hs às 14:30 período que corresponde à chegada de pacientes da tarde e a volta do almoço dos funcionários. Esta estratégia é ativada pelo SGE (Sistema de Gerenciamento do Edifício) nestes períodos quando é detectada nos elevadores (mediante o uso das balanças instaladas nestes) uma carga igual ou maior ao 60% da capacidade permitida para cada um destes.

Estratégia para tráfego de pico de descida

Para a ativação desta estratégia pelo SGE é considerado o período de saída dos funcionários, correspondente ao intervalo entre as 18:00 hs às 18:30hs e quando a carga dos elevadores é maior ou igual ao 60% da capacidade permitida em cada cabina.

Estratégia em caso de incêndio

A operação dos elevadores em caso de incêndio tem por objetivo, parar rapidamente suas funções, e não considera o transporte de passageiros como prioridade, pois o sistema não tem capacidade suficiente de transporte para atender um *rush* de passageiros em pânico, e o transporte nestes casos poderia agravar o desastre [Elevator World, 1990].

No caso de ser detectado fogo no prédio, o sistema de detecção de incêndio deve enviar um sinal para o SGE, o qual o interpreta e envia a informação pertinente para outros sistemas prediais predeterminados como o sistema de elevadores e o sistema de ar condicionado. Este sinal pode também ser oriundo diretamente da console do SGE.

Para o caso do sistema de elevadores a informação recebida permite a execução de duas fases na estratégia, as quais incluem as seguintes atividades por grupo:

Estratégia em caso de incêndio - fase 1

- Desabilitar os botões de chamadas de cabina de cada um dos elevador do grupo, para evitar movimentações não autorizadas durante a execução da estratégia.
- Cancelar as solicitações do gerenciador de chamadas de cada elevador do grupo, com a finalidade de evitar que o elevador se desloque até algum andar.
- Desabilitar os botões de andar do grupo.
- Parar os elevadores do grupo (sem abrir as portas exceto no andar pavimento térreo) no andar mais próximo no sentido do seu movimento, no caso de não estar parados em algum deles e quando sua movimentação atual os afaste do pavimento térreo.
- Movimentar todos os elevadores do grupo até o pavimento térreo, de modo a realizar a evacuação dos passageiros.
- Desligar os elevadores.

Estratégia em caso de incêndio - fase 2

Uma vez a estratégia em caso de incêndio fase 1 tenha sido completada pode-se ligar algum dos elevadores e colocá-lo em serviço independente (está operação é explicada na página 115) para o uso dos bombeiros. Esta informação é enviada pelo SGE para o grupo pertinente, segundo o setor afetado do prédio.

As estratégias descritas são as únicas aceitas pelas normas de proteção contra incêndios definidas pela NFPA (National Fire Protection Association) e não podem ser desativadas em caso de falta de energia [NFPA,1990].

Estratégia em caso de falta de energia.

Esta estratégia opera os elevadores mais eficientemente com um mínimo de dispêndio de energia e realiza as atividades de emergência pertinentes imediatamente.

No caso de falta de fornecimento de energia pela concessionária, o sistema de gerenciamento de energia deverá acionar os geradores de energia. Neste caso o sistema de elevadores é informado desta situação pelo SGE, o qual pode também emitir diretamente este comando pela sua console. A partir do recebimento desta informação a estratégia é ativada e as atividades a serem realizadas são:

- Parar os elevadores do grupo no andar mais próximo no sentido do seu movimento, no caso de não estar parados em algum deles e quando sua movimentação atual os afaste do pavimento térreo. Com a finalidade de permitir a evacuação de pessoas que assim o desejem e evitar o consumo excessivo de energia.
- Desabilitar os botões de andar do grupo.
- Desabilitar os botões de chamadas de cabina de cada elevador do grupo.
- Cancelar as solicitações armazenadas no gerenciador de chamadas de cada um dos elevadores do grupo, com a finalidade de evitar que o elevador se desloque até algum andar.
- Movimentar cada um dos elevadores do grupo sucessivamente até o pavimento térreo, evitando sobrecarga de energia.
- Colocar em serviço independente um elevador do grupo para facilitar o transporte vertical das pessoas e a evacuação dos andares prioritários se for necessário.
- Desligar os elevadores que não estejam em serviço independente.

Estratégia para manutenção preventiva

Esta estratégia permite a avaliação dos equipamentos, além da execução da manutenção preventiva e é realizada pelo sistema toda vez que seja recebida a indicação dos elevadores que entrarão em manutenção oriunda do sistema de gerenciamento da manutenção através do SGE e/ou diretamente deste último. As atividades para esta estratégia, considerando que a manutenção é um procedimento planejado para ser realizado quando não existe registro de nenhuma solicitação no sistema, são:

- Colocar o elevador em serviço independente.
- Colocar o elevador em estado de manutenção/concerto.

Estratégia em caso de falha

No caso de ser detectada uma falha em um elevador, pelo sistema de diagnóstico de falhas acoplado ao sistema de manutenção, este enviará a informação ao SGE, que por sua vez indicará ao respectivo grupo a realização das seguintes atividades:

- Desabilitar os botões de chamadas de cabina do elevador correspondente.
- Colocar o elevador em serviço independente.
- Desligar o elevador.
- Colocar o elevador em estado de manutenção/concerto.

Entre as falhas consideradas que podem acontecer geralmente no sistema de elevadores estão:

- Falha permanente no intertravamento das portas.
- Falha por motor parado (sobrecarga ou temperatura muito alta).
- Elevador parando desnivelado.

Etapa 3: Modelagem estrutural do sistema

A modelagem do sistema de elevadores do PAMB, inicia-se com a obtenção do modelo estrutural do sistema, neste modelo são identificadas as partes que o compõem levando em conta o fato deste prédio ser o objeto de implantação do conceito de edifício inteligente. Considera-se aqui a estrutura para estes sistemas apresentada no item 2.2.3. Esta etapa identifica os diversos componentes do sistema em dois tipos, segundo pertençam ao dispositivo de controle (fluxo de informações) ou ao objeto de controle. Os elementos do dispositivo de controle são identificados e interrelacionados de acordo com o esquema da figura 2.3. Assim, o modelo estrutural obtido para o sistema de elevadores do PAMB é apresentado na figura 5.3

Considerando a complexidade do modelo completo do sistema de elevadores do PAMB, devido ao número de elevadores e andares envolvidos, e com a finalidade de permitir modelos mais compactos e de fácil entendimento, considerou-se um elemento adicional não apresentado na configuração genérica do sistema de controle de grupo (figura 2.4), o controle dos andares para cada grupo, cuja função é receber as informações vindas dos dispositivos de comando dos andares (botoeira de andares) e dos dispositivos de detecção de cada uma das cabinas pertencentes ao grupo e enviar para cada andar os sinais correspondentes aos dispositivos de monitoração (sinalizações nos botões). Este controle é compartilhado por todas as cabinas do grupo. No modelo são identificados tanto (linha tracejada em vermelho) os elementos que pertencem a um grupo (grupo B), como as partes (em azul) que correspondem ao grupo por cada cabina (cabina 1).

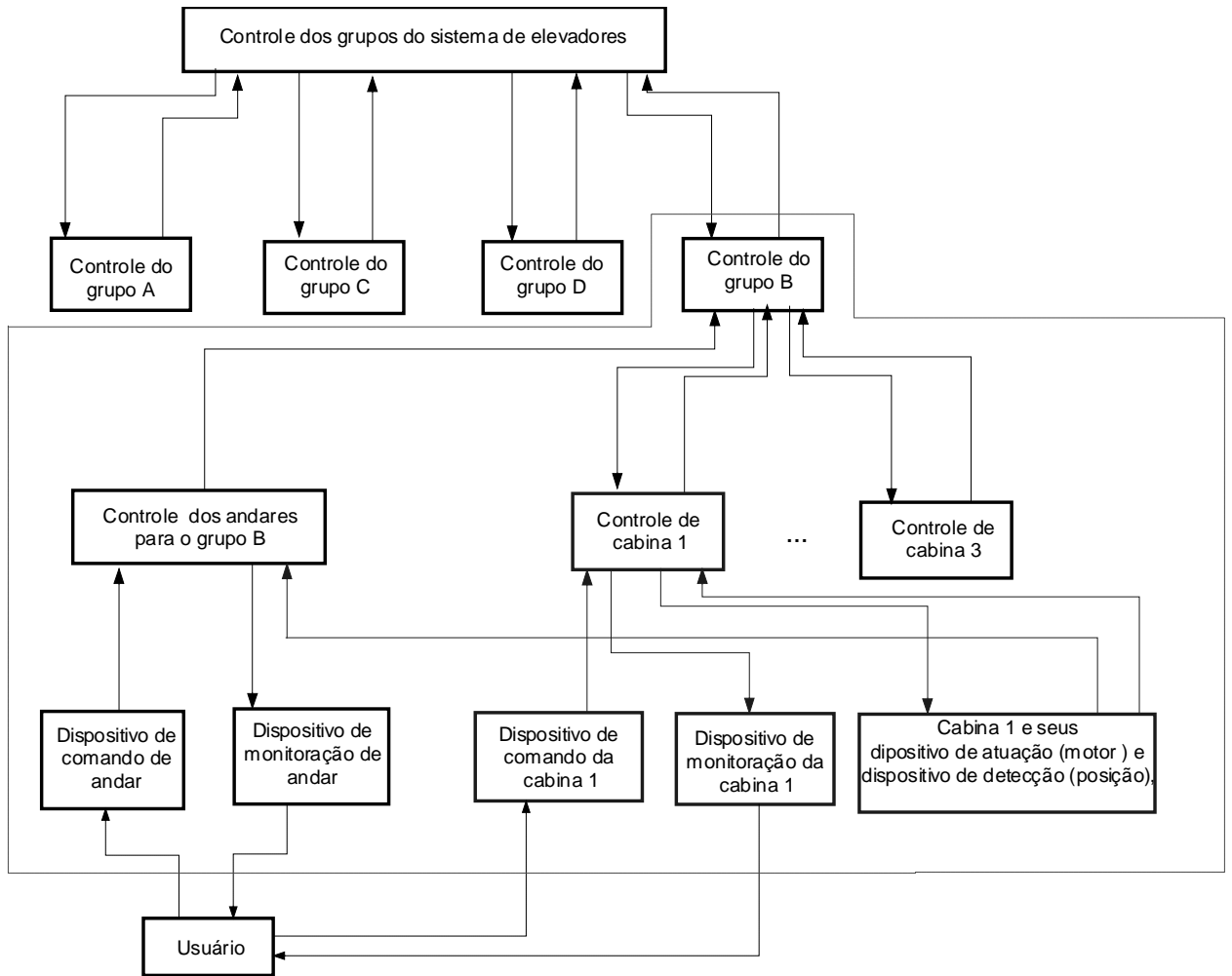


Figura 5.3 Modelo estrutural do sistema de elevadores do PAMB

Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema de elevadores

Os modelos conceitual e funcional do sistema de elevadores do PAMB são desenvolvidos de acordo com as informações e a definição do sistema e segundo o modelo estrutural. Assim a modelagem conceitual considera cada um dos elementos estruturais do sistema em uma abordagem *top down*. Esta modelagem é realizada usando o PFS e o MFG e suas extensões.

MODELAGEM DO CONTROLE DOS GRUPOS DO SISTEMA DE ELEVADORES

Como apresentado no item 2.2.3 o sistema de controle dos grupos envia comandos e informações, que permitem ações como: ligar ou desligar elevadores, por elevadores em serviço independente ou em serviço em grupo e executar alguma estratégia específica, para cada um dos controles de grupo existentes no sistema.

Nesta modelagem é usado o conceito de *portas de dados* (apresentado no item 3.1.2.B) para representar o envio de dados de e para os grafos. Esta *porta* contém 4 campos de atributos :

- **ORDEM:** define as diferentes operações que podem ser enviadas aos grupos em qualquer instante. Estas são: executar estratégia, ligar elevadores, desligar elevadores, colocar em serviço independente, colocar em serviço em grupo.
- **COMPLEMENTO DA ORDEM:** define a especificação da ordem, que para este campo refere-se à ordem de executar estratégia e que pode adotar os seguintes valores: estratégia em caso de incêndio (fase 1 e fase 2), estratégia em caso de falta de energia, estratégia em caso de falha de elevador, estratégia duplex/triplex, estratégia de manutenção, estratégia para tráfego pico de subida e estratégia para tráfego pico de descida.
- **GRUPO:** no qual é definido o grupo que deverá cumprir a ordem.
- **ELEVADOR:** define qual é o elevador para o qual é enviada a respetiva ordem.

O modelo conceitual das atividades realizadas neste nível de controle é apresentado na figura 5.4

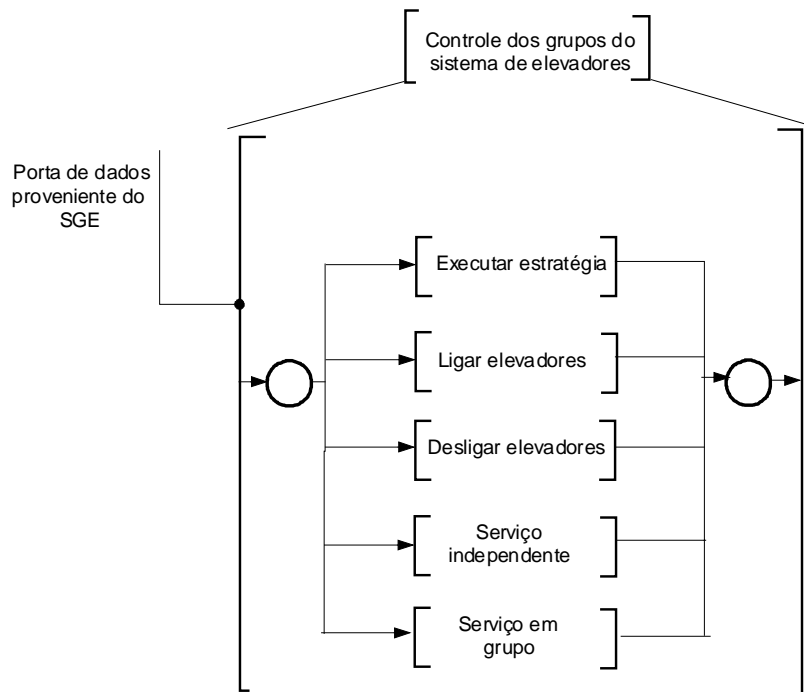


Figura 5.4 Modelo conceitual em PFS do controle dos grupos.

O detalhamento das atividades [ligar elevadores] e [serviço independente] são indicados na figura 5.5. A modelagem das outras atividades é semelhante à apresentada para estas atividades.

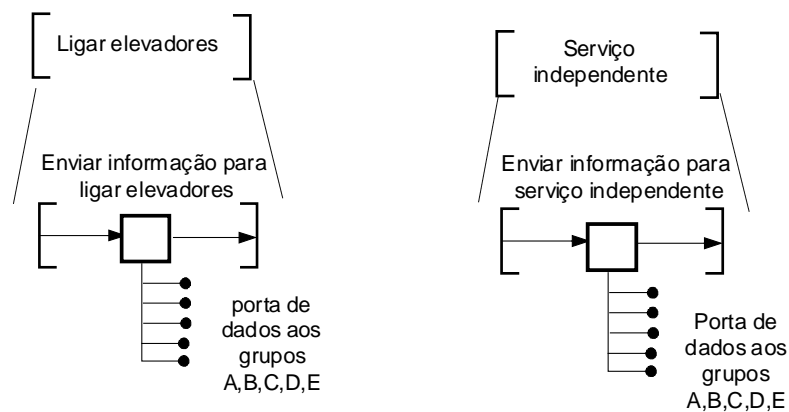


Figura 5.5 Detalhamento em MFG das atividades [ligar elevadores] e [serviço independente].

A modelagem que se segue será apresentada apenas para o grupo B do PAMB, pois os modelos para os outros grupos são semelhantes. No presente estudo não foram considerados os elevadores de manutenção que atendem a casa de máquinas e os andares técnicos (inter-andares), nem os elevadores isolados.

MODELAGEM DO CONTROLE DE GRUPO

Neste nível são consideradas duas partes: as estratégias a serem executadas pelo grupo, e as operações sobre os controles de cabina como: ligar elevador, desligar elevador, elevador em serviço independente, cancelar chamadas de andar, etc. Algumas destas operações podem ser acionadas pelas estratégias ou pelo controle dos grupos ou ainda por um dispositivo de comando como no caso do interruptores (de andar e de cabina) que permitem colocar um elevador em serviço independente (vide figura 5.6).

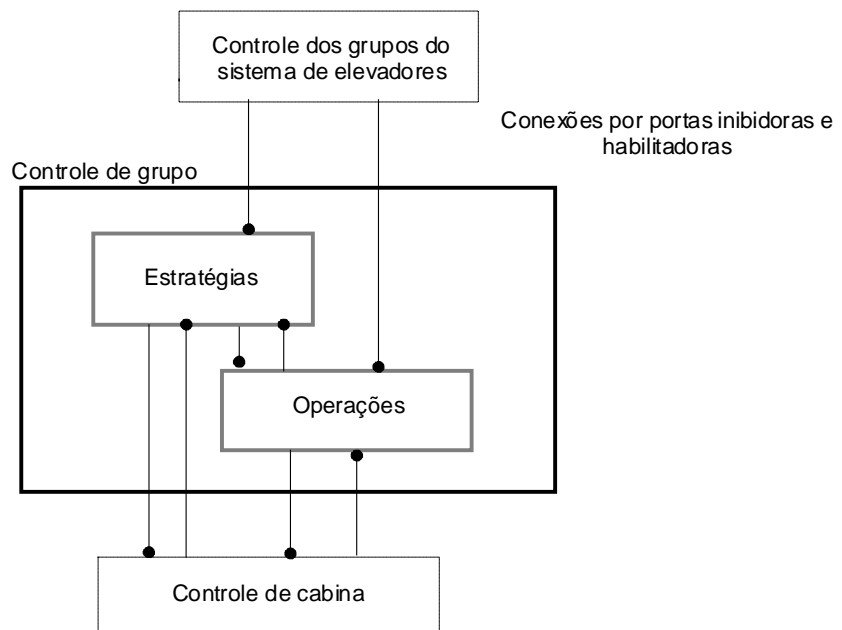


Figura 5.6 Esquema das atividades realizadas pelo controle de grupo

A seguir tem-se a descrição destas partes e sua modelagem.

MODELAGEM DAS ESTRATÉGIAS

Aqui encontram-se além das estratégias que permitem a seleção de um elevador para um determinado atendimento, as estratégias que permitem ao sistema de elevadores interagir com outros sistemas prediais.

Para uma determinada estratégia ser executada deve ser transmitida ao respectivo grupo a informação pertinente, indicando qual destas deve ser ativada e quais desativadas. A modelagem conceitual da parte das estratégias em PFS é apresentado na figura 5.7

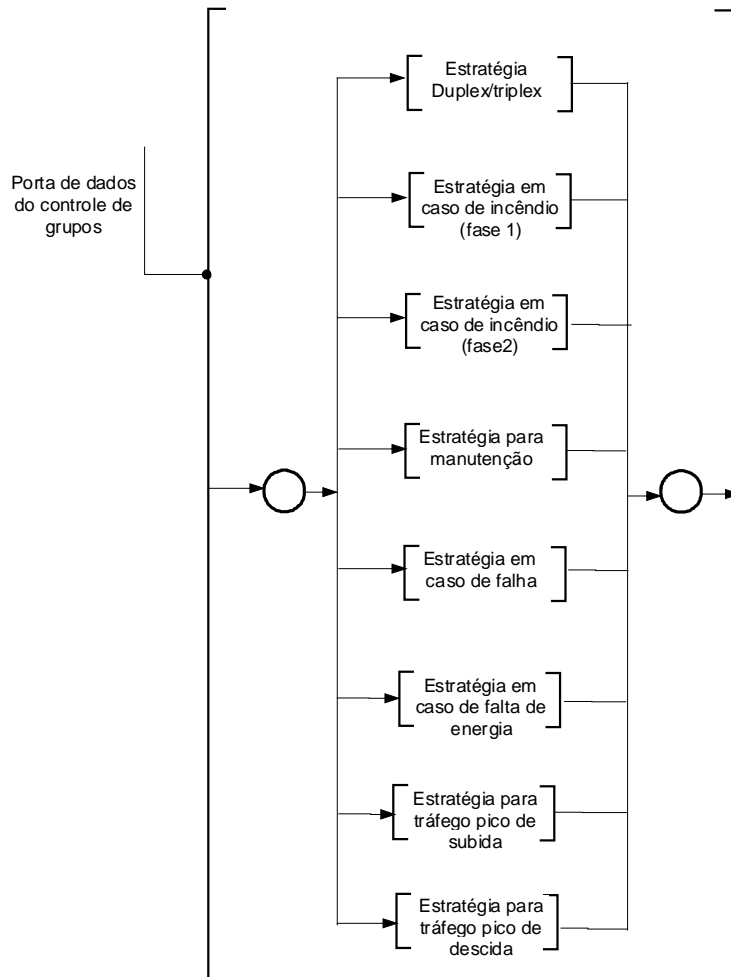


Figura 5.7 Modelo em PFS das estratégias de controle consideradas para cada um dos grupos do PAMB

As estratégias modeladas enviam informações ao controle de cabina e este por sua vez aos diferentes dispositivos que permitem a interface com o objeto de controle.

O detalhamento das estratégias de controle é apresentado a seguir:

Estratégia duplex / triplex

Para o caso do PAMB tem-se a estratégia que considera o elevador mais próximo ao andar da chamada, segundo o princípio direcional.

Com a finalidade de modelar de forma adequada esta estratégia, considerou-se as características das chamadas [Yuan, 1990] da seguinte forma:

Cada cabina possui um sentido de movimento ou direção (*dc*) e as chamadas de andar podem ser decompostas em duas partes, assim:

- Primeira direção (*pd*): que corresponde ao sentido para o qual o elevador deverá-se deslocar para atender a solicitação e a qual depende da posição relativa atual da cabina.
- Segunda direção (*sd*): A qual é especificada pelo sentido de subida ou descida, escolhido ao serem pressionados os respectivos botões. Este é o sentido de serviço.

As chamadas de cabina, só definem a primeira direção (*pd*), que causa a movimentação da cabina até o andar especificado.

Considerando estas características das chamadas, as solicitações podem ser classificadas da seguinte forma, para facilitar sua interpretação. Para a representação indicada a seguir considera-se unicamente chamadas para subir, pois as chamadas para descer possuem a mesma lógica, no correspondente sentido. São esquematizados também os andares *i*, *j*, *k* arbitrariamente, para indicar de forma adequada as situações consideradas. O número de andares é igual a 10.

1. Solicitação de primeira ordem

Para este tipo de solicitação são considerados dois casos: quando a chamada é de andar e quando a chamada é de cabina. Para o caso de existir uma solicitação para subir de

andar as condições para ser considerada uma chamada de primeira ordem são (vide figura 5.8):

- $pd = sd = dc = \text{subir}$
- Andar de chamada (k): $2 \leq k \leq 9$
- Posição do elevador (j): $1 \leq j < k$
- Sentido do elevador: subindo
- Sentido da chamada: subir

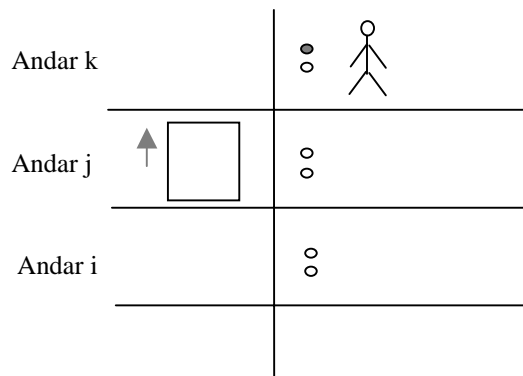


Figura 5.8 Representação de uma solicitação para subir de primeira ordem (de andar)

Para o caso da chamada ser de cabina (vide figura 5.9), as condições são:

- $pd = dc = \text{subir}$
- Chamada de cabina: chamada para um andar superior a posição atual (j)
- Sentido do elevador: subindo.
- Sentido da chamada: subir.

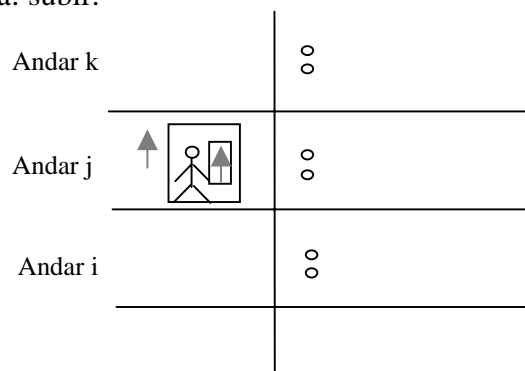


Figura 5.9 Representação de uma solicitação para subir de primeira ordem (de cabina)

2. Solicitação de segunda ordem

Uma solicitação de segunda ordem para subir existe se (vide figura 5.10):

- $pd = dc = \text{descer}$ e $sd \neq dc$
- Andar da chamada (i): $1 \leq i \leq 9$
- Posição do elevador (j): $i < j \leq 10$
- Sentido do elevador: descendo
- Sentido da chamada: subir

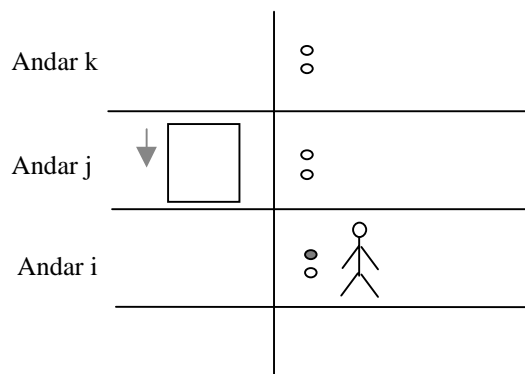


Figura 5.10 Representação de uma solicitação para subir de segunda ordem

3. Solicitação de terceira ordem

Neste tipo de solicitação se consideram dois casos. No caso de uma solicitação de terceira ordem de andar para subir as condições são (figura 5.11):

- $pd \neq dc$ e $sd \neq dc$ assim, $pd = sd = \text{subir}$.
- Andar da chamada (k): $3 \leq k \leq 9$
- Posição do elevador (j): $2 \leq j < k$
- Sentido do elevador: descendo
- Sentido da chamada: subir

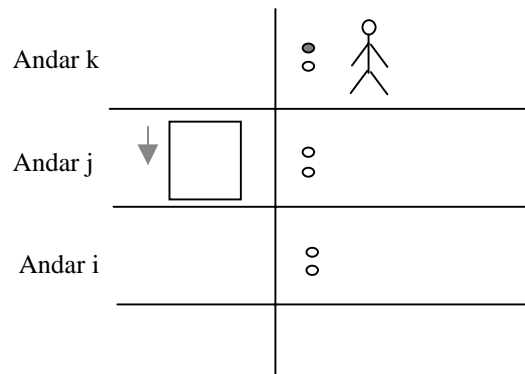


Figura 5.11 Representação de uma solicitação para subir de terceira ordem (de andar)

Para o caso de uma chamada para subir de terceira ordem da cabina tem-se (vide figura 5.12):

- $pd \neq dc$
- Chamada de cabina: chamada para um andar maior que a posição atual (j).
- Sentido do elevador: descendo.

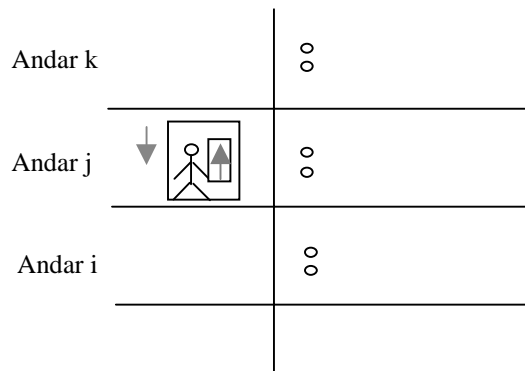


Figura 5.12 Representação de uma solicitação para subir de terceira ordem (de cabina).

4. *Solicitação de quarta ordem*

Uma solicitação para subir é considerada de quarta ordem para subir se (vide figura 5.13):

- $pd \neq dc$ e $sd = dc = \text{subir}$
- Andar da chamada (i): $1 \leq i \leq 9$
- Posição do elevador (j): $i < j \leq 9$
- Sentido do elevador: subindo

- Sentido da chamada: subir.

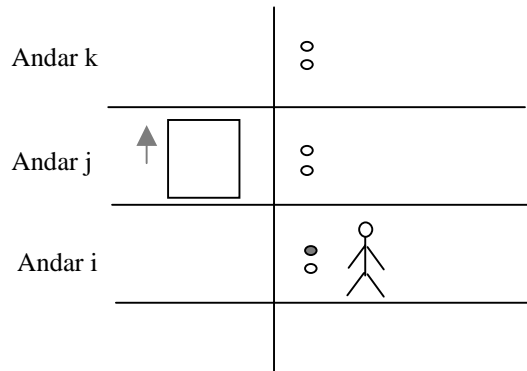


Figura 5.13 Representação de uma solicitação para subir de quarta ordem.

O modelo em PFS da estratégia duplex/triplex é apresentado na figura 5.14

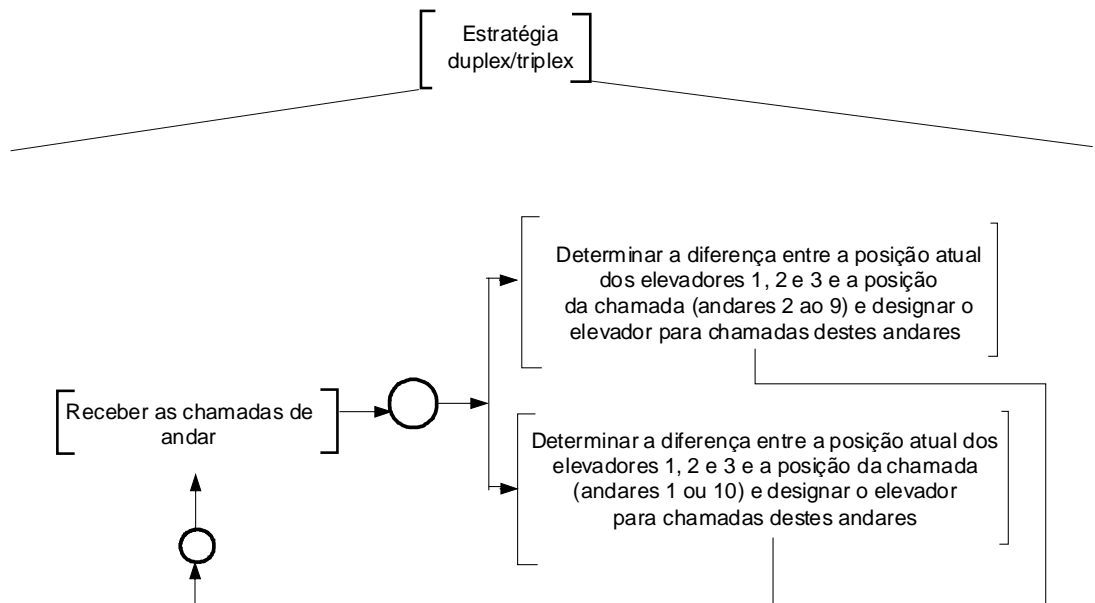


Figura 5.14 Modelo em PFS da estratégia duplex/triplex

A atividade [receber chamadas de andar] é a responsável por receber tanto as chamadas de andar que são enviadas pelo controle de andar como as chamadas que são classificadas dentro da estratégia como chamadas de terceira e quarta ordem. Estas últimas deverão esperar um tempo (em um box temporizado) antes de ingressar novamente para a designação, com a finalidade de encontrar os elevadores em novas posições que permitam a seleção de um elevador para seu atendimento. Seu detalhamento em MFG é apresentado na figura 5.15

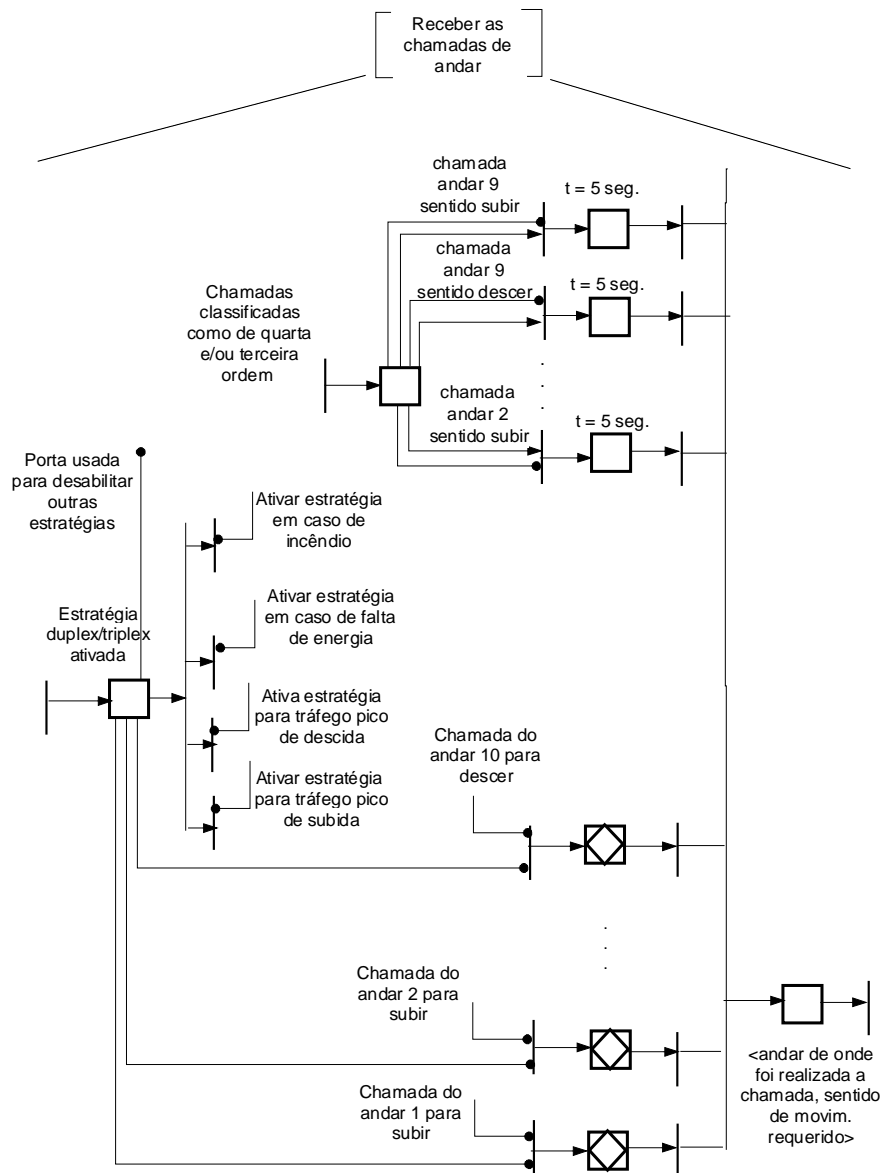


Figura 5.15 Refinamento em MFG (E-MFG) das atividades [receber chamadas de andar].

A atividade [determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 2 ao 9) e designar o elevador para chamadas dos andares 2 ao 9] é a encarregada de calcular qual é a distância a que se encontra cada um dos elevadores do grupo em relação a uma solicitação de andar e de selecionar o elevador com a menor distância entre sua posição atual e o andar da solicitação, sempre que a chamada seja de primeira ou segunda ordem. O modelo desta atividade em MFG para os andares 2 ao 9 é apresentado nas figura 5.16 e 5.17 .

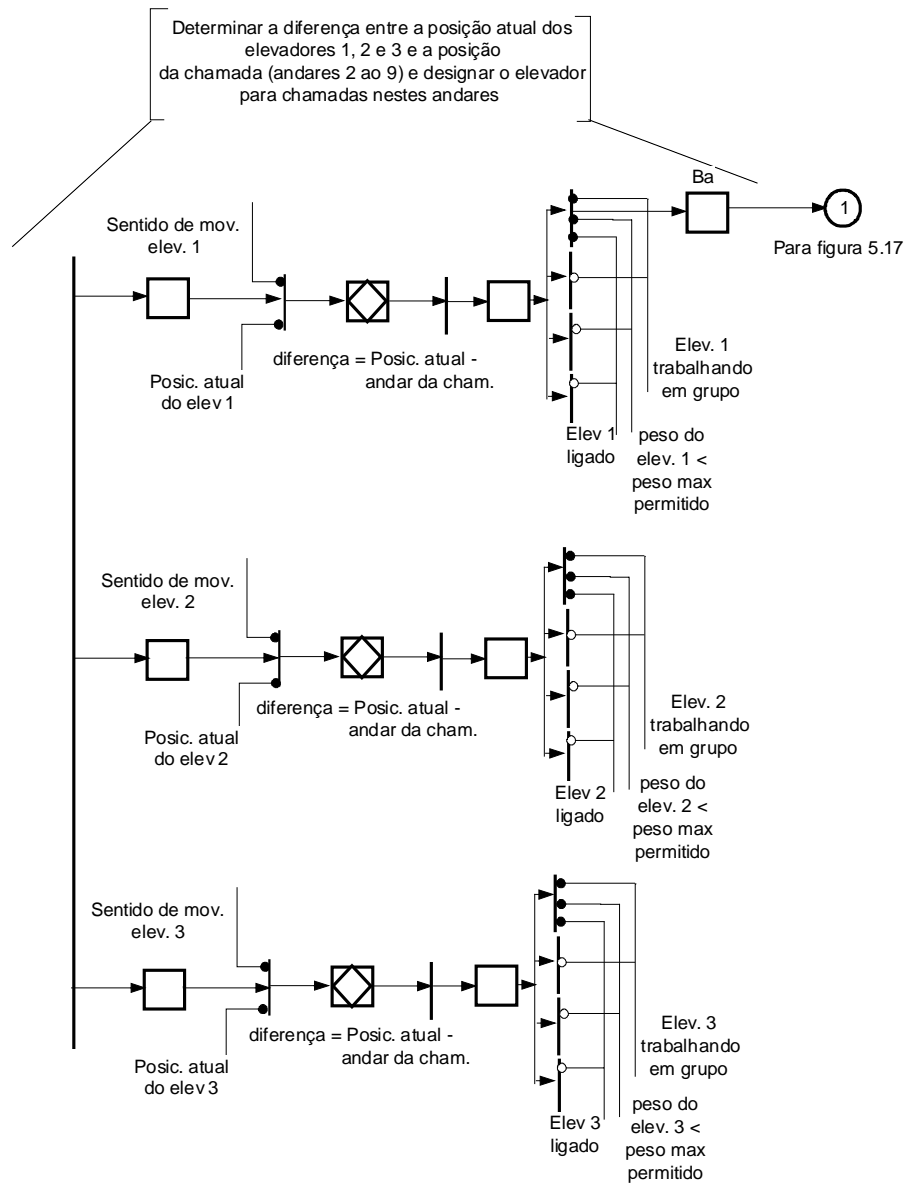


Figura 5.16 Refinamento em MFG (E-MFG) da atividade [determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 2 ao 9) e designar o elevador para chamadas nestes andares]. Primeira parte.

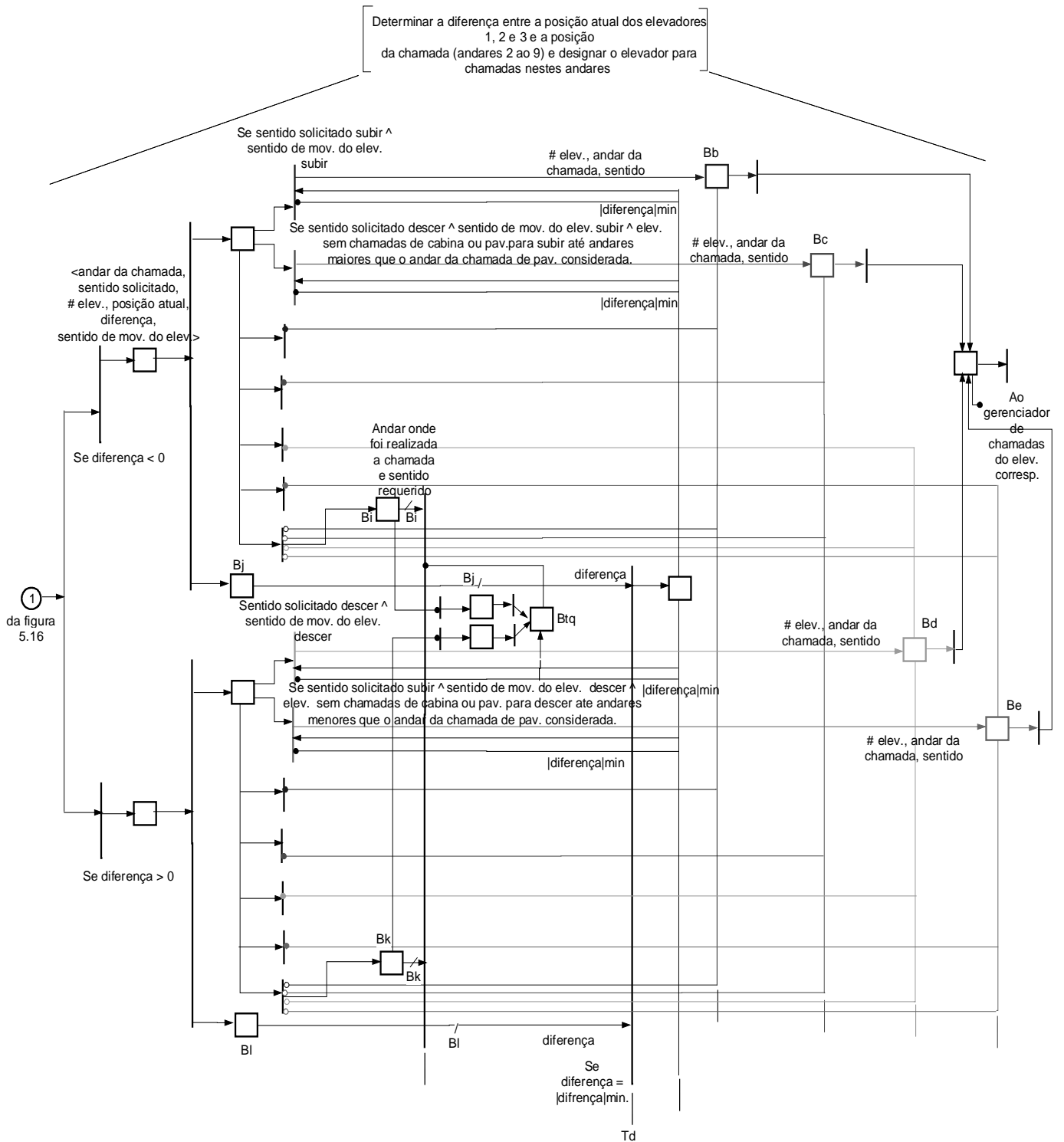


Figura 5.17 Refinamento em MFG(E-MFG, MFG auto-modificável) da atividades [determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 2 ao 9) e designar o elevador para chamadas nestes andares]. Segunda parte.

O “arco” para (1) apresentado na figura 5.16 e o “arco” de (1) da figura 5.17 fazem a conexão dos modelos, onde é detalhada a estrutura para a designação usada para a consideração de todos os elevadores do grupo, embora com a finalidade de facilitar sua visualização seja apresentada somente a estrutura para o elevador 1, os modelos para os outros elevadores do grupo são análogos.

Os seguintes elementos na figura 5.17 são compartilhados por todos os elevadores do grupo: os boxes Bb (azul), Bc (vermelho), Bd (verde) e Be (roxo), a transição (Td) que escolhe a menor diferença, e o box (Btq) que habilita a transição referente às chamadas de terceira e quarta ordem.

Na estratégia duplex/triplex para o caso de ocorrer as solicitações nos andares 1 ou 10 só é considerada a distância entre o andar da chamada e a posição atual do elevador, sem considerar se a chamada é de primeira ou segunda ordem, pois todos as cabinas estarão em uma posição acima ou abaixo da solicitação respectivamente, e é descrita através da atividade [Determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 1 ou 10) e designar o elevador para chamadas dos andares 1 ou 10]. Sua modelagem é semelhante ao apresentado para os andares 2 ao 9 e é descrita também em duas partes para facilitar seu entendimento. A Figura 5.18 indica a primeira parte do modelo em MFG desta atividade e a figura 5. 19 a segunda parte. O “arco” para (2), e o “arco” de (2) em cada uma das figuras (respectivamente) realizam a conexão dos modelos.

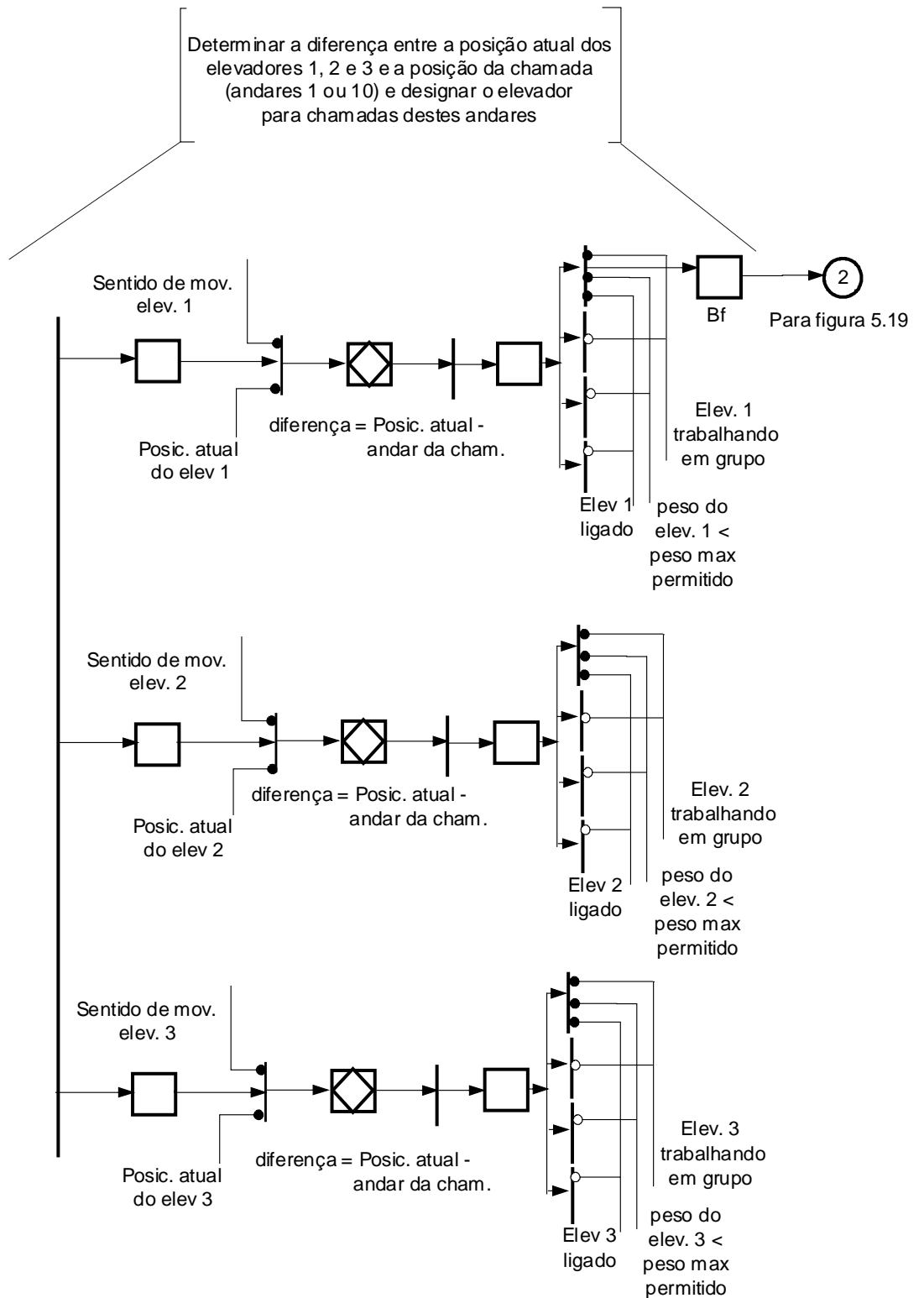


Figura 5.18 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [Determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 1 ou 10) e designar o elevador para chamadas destes andares]. Primeira parte.

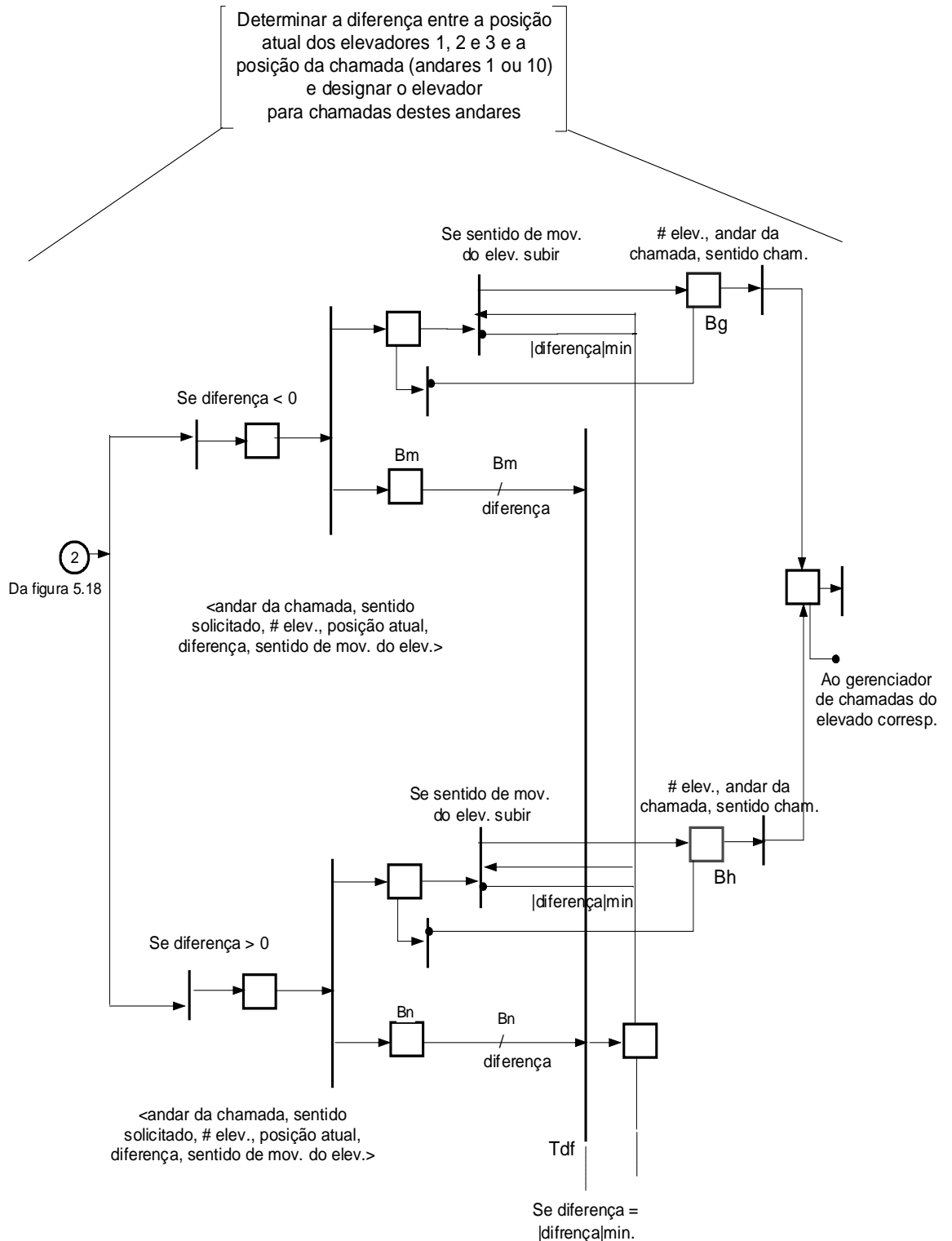


Figura 5.19 Modelo em MFG (E-MFG, MFG auto-modificável) da atividade [Determinar a diferença entre a posição atual dos elevadores 1, 2 e 3 e a posição da chamada (andares 1 ou 10) e designar o elevador para chamadas destes andares] Segunda parte

Neste modelo os boxes Bg (azul) e Bh (vermelho) são compartilhados por todos os elevadores do grupo, assim como a transição Tdf que escolhe a menor diferença. Nestas figuras é apresentado somente o modelo para um elevador com a finalidade de facilitar sua visualização, sendo que os modelos para os outros elevadores do grupo são análogos.

Estratégia para tráfego de pico de subida

Nesta estratégia para o caso do PAMB considera-se que um elevador (considerou-se como o #1) dos três elevadores que compõem o grupo B, é reservado para atender as chamadas para descer de qualquer andar. Assim o elevador 1 é o encarregado de atender as chamadas desde o andar 5 (pavimento de acesso do público do lado do grupo B) para o andar 1, o andar 2, o banco de sangue (andar 3) ou o laboratório central (andar 4), e todas as chamadas que surgirem para descer dos andares superiores. Esta distinção se faz para facilitar a utilização dos elevadores aos usuários. Os dois elevadores restantes são designados para atender as chamadas de subida, dando prioridade às chamadas do andar 5 pois sempre que seja realizada uma chamada para subir neste andar, serão designados os dois elevadores com a finalidade de manter algum elevador neste andar (andar 5). A modelagem conceitual desta estratégia é apresentada na figura 5.20

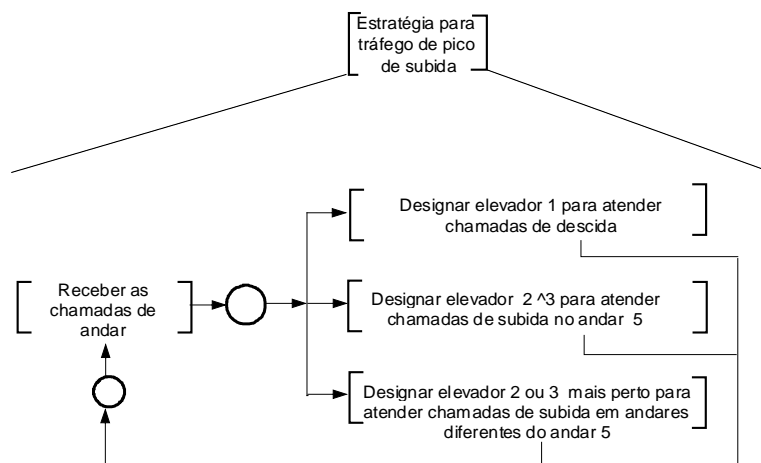


Figura 5.20 Modelo conceitual em PFS da estratégia para tráfego de pico de subida

A modelagem em MFG da atividade [receber chamadas de andar] é apresentada na figura 5.21

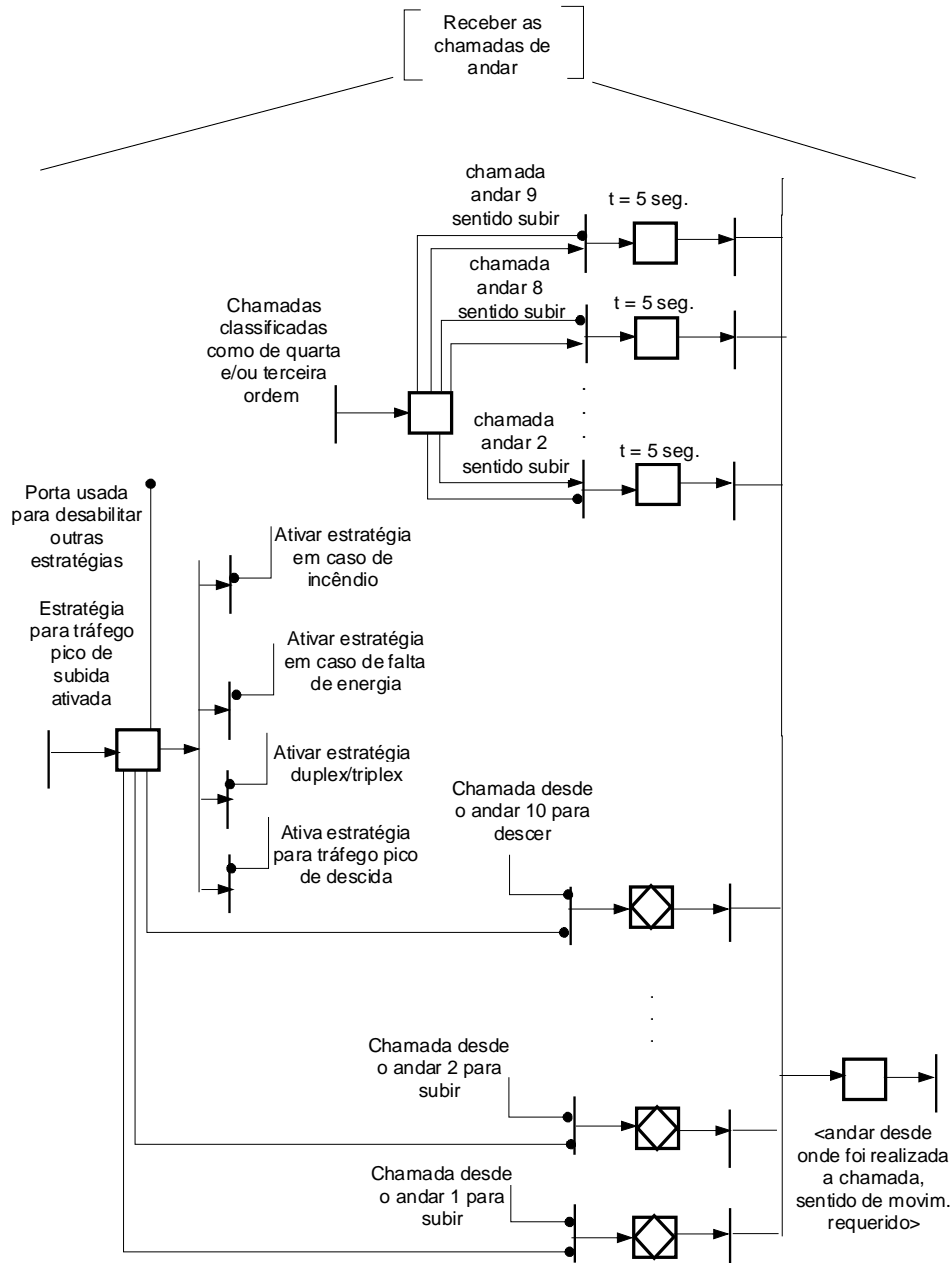


Figura 5.21 Modelo MFG (E-MFG) da atividade [receber chamadas de andar]

A atividade [Designar elevador 1 para atender chamadas de descida], é modelada em MFG na figura 5.22

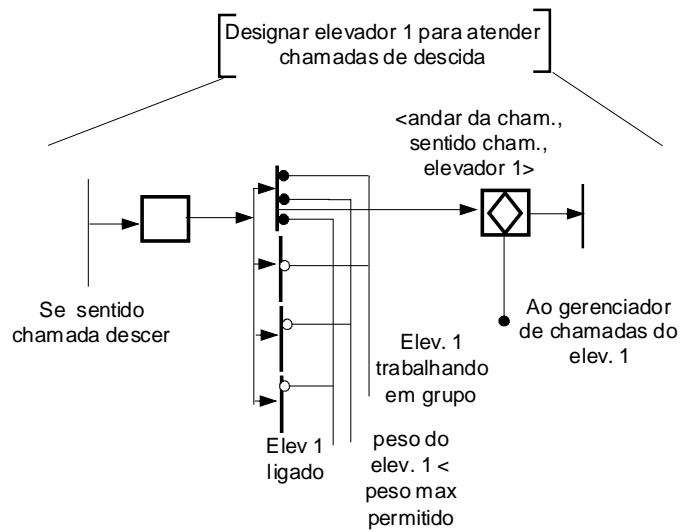


Figura 5.22 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [designar elevador 1 para atender chamadas de decida]

A seguir é detalhado o modelo da atividade [designar elevador 2 e 3 para atender chamadas de subida no andar 5 (pavimento de acesso ao público)]. Neste modelo, quando é realizada uma solicitação do andar 5 e seu sentido é subida, são designados os elevadores 2 e 3. A figura 5.23 apresenta este modelo.

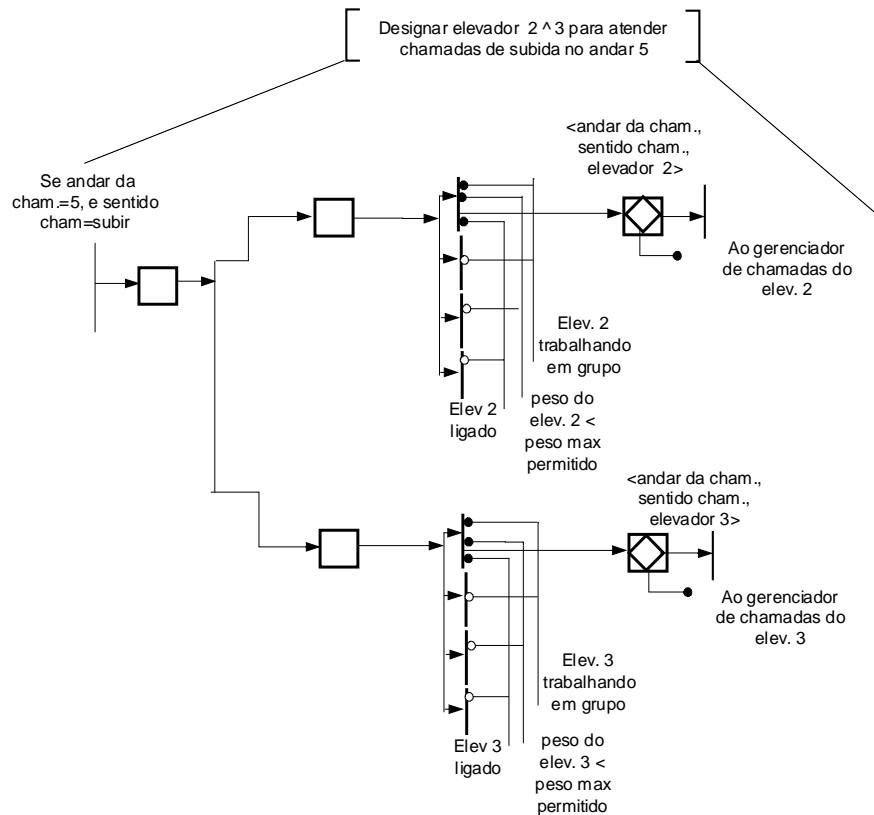


Figura 5.23 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [designar elevador 2 e 3 para atender chamadas de subida no andar 5]

O atendimento das chamadas para subir em andares diferentes do 5 e representado pela atividade [designar elevador 2 ou 3 para atender chamadas de subida em andares diferentes do andar 5]. Este serviço é realizado considerando o elevador que esteja à menor distância entre o elevador e a chamada, sempre que não seja uma chamada de quarta ordem, caso este no qual a chamada deverá ingressar novamente à estratégia, pela atividade [receber chamadas de andar]. Sua modelagem é apresentada na figura 5.24.

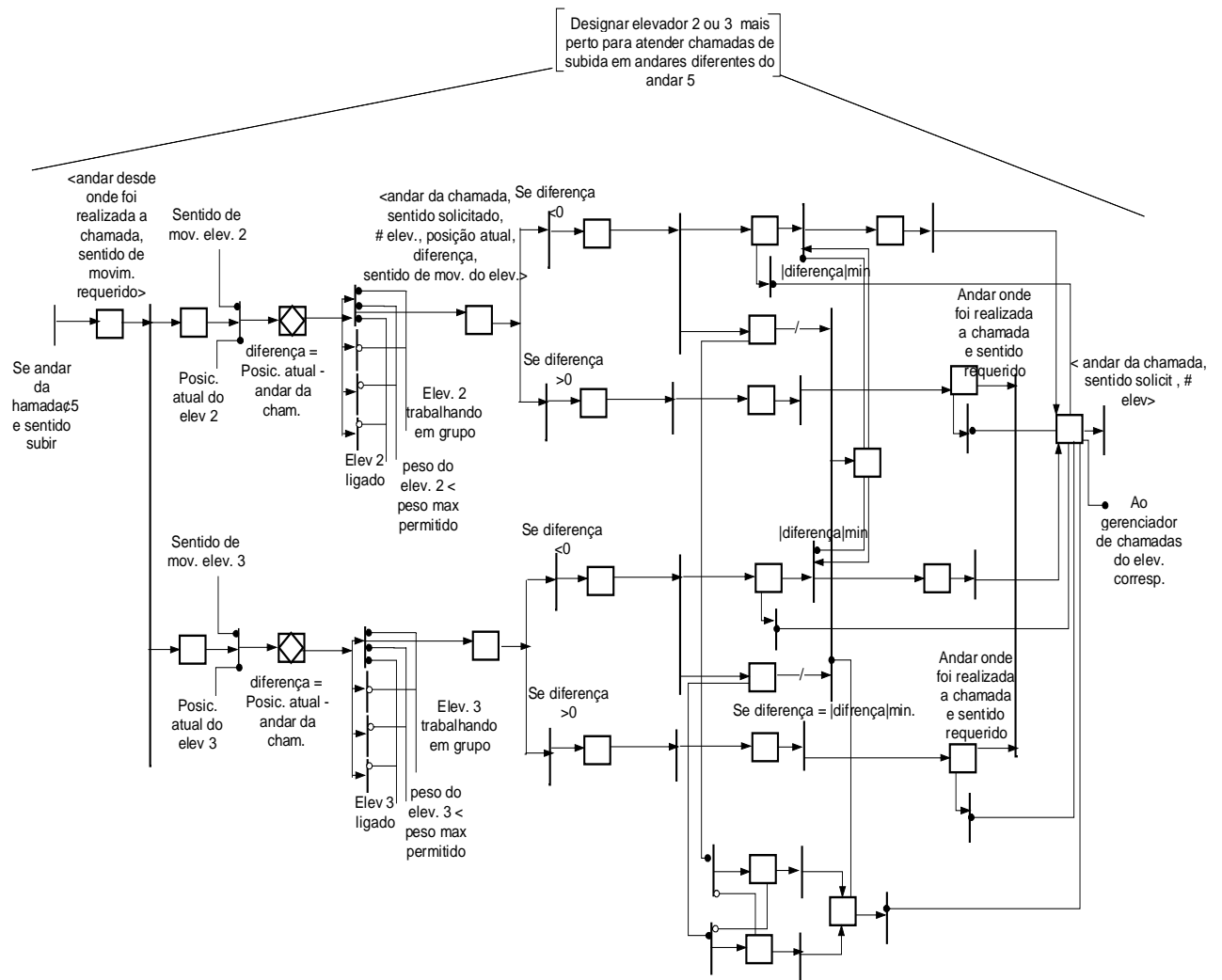


Figura 5.24 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [Designar elevador 2 ou 3 mais perto para atender chamadas de subida em andares diferentes do andar 5]

Estratégia para tráfego de pico de descida

Nesta estratégia o tráfego de pico de descida para o grupo B é servido pelos elevadores 2 e 3, enquanto que o tráfego de subida que possa ser gerado é atendido pelo elevador 1, o qual é preestabelecido da mesma forma que na estratégia de tráfego de pico de subida, com a finalidade de facilitar seu uso. O modelo conceitual desta estratégia é apresentado na figura 5.25

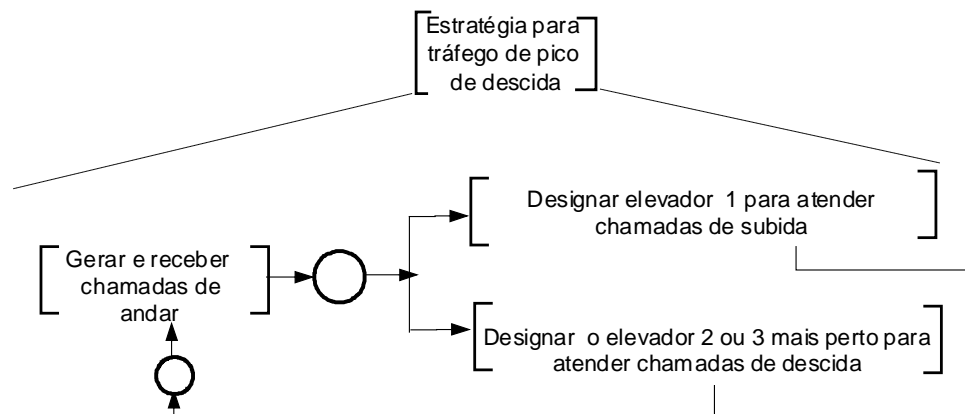


Figura 5.25 Modelo em PFS da estratégia para tráfego de pico de descida.

Para esta estratégia foi considerado adequado manter elevadores no andar 7 por ser este o andar mais alto que o grupo pode alcançar, com a finalidade de prover um melhor serviço de descida. Para conseguir este objetivo é gerada uma “chamada” que ingressa à estratégia para que seja realizada a respectiva designação de elevador. O modelo em MFG desta atividade é apresentado na figura 5.26.

Para as atividades [designar elevador 1 para atender chamadas de subida] e [Designar o elevador 2 ou 3 mais perto para atender chamadas de descida] o detalhamento é similar ao apresentado nas figuras 5.22 e 5.24 respectivamente.

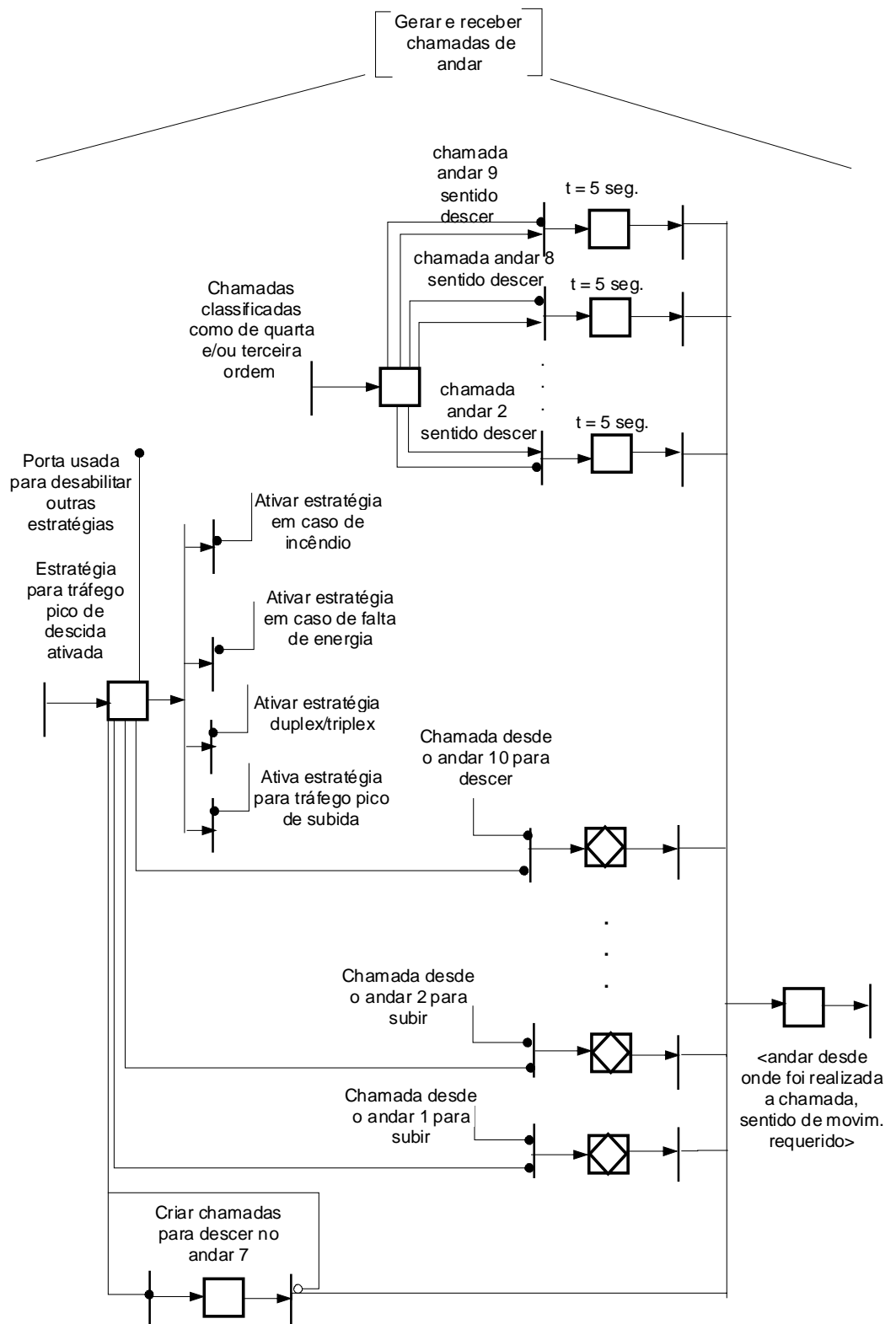


Figura 5.26 Modelo em MFG (E-MFG) da atividade [Gerar e receber chamadas de andar]

Cada uma das estratégias apresentadas a seguir, é executada através de várias operações seqüenciais, que fazem com que o sistema de controle de cada cabina passe pelos estados adequados.

Estratégia em caso de incêndio

O modelo em PFS desta estratégia que indica as atividades a serem realizadas é apresentado na figura 5.27.

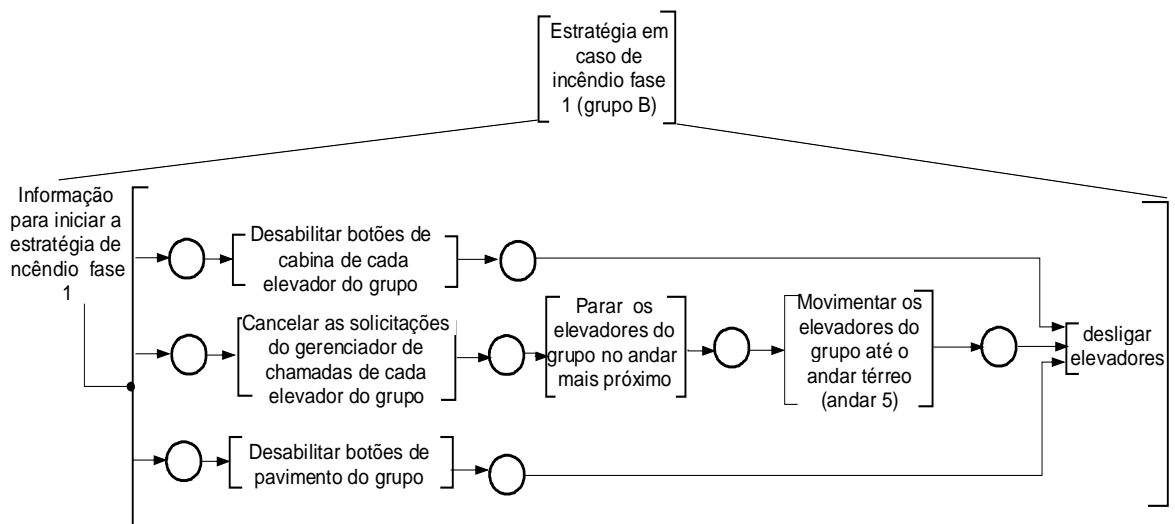


Figura 5.27 Modelo em PFS da estratégia em caso de incêndio fase-1 para o grupo B

No caso da realização da fase 2 desta estratégia, as atividades a serem realizadas são indicadas pela figura 5.28

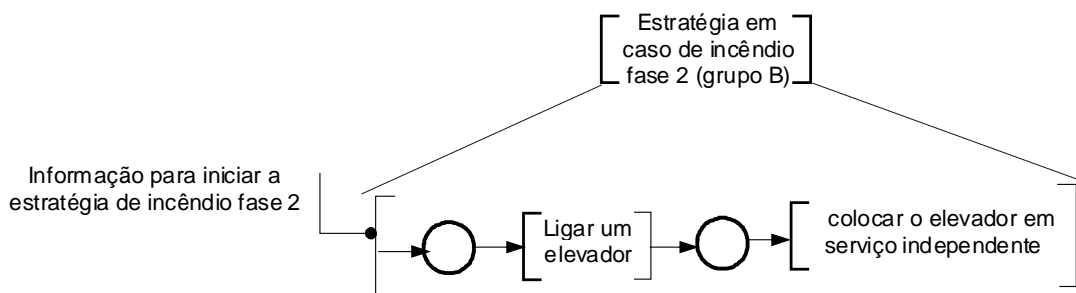


Figura 5.28 Modelo em PFS da estratégia em caso de incêndio fase - 2 para o grupo B

Estratégia em caso de falta de energia

As atividades a serem realizadas para esta estratégia são apresentadas no modelo da figura 5.29.

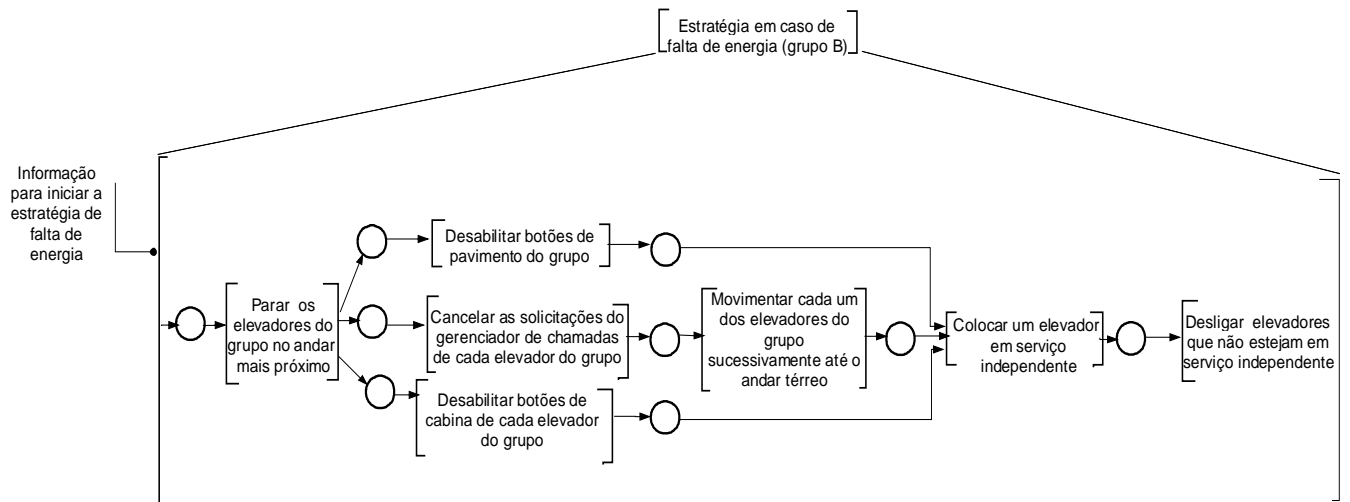


Figura 5.29 Modelo em PFS da estratégia em caso de falta de energia para o grupo B

Estratégia para Manutenção

Nesta estratégia as atividades a serem realizadas são indicadas no modelo da figura 5.30

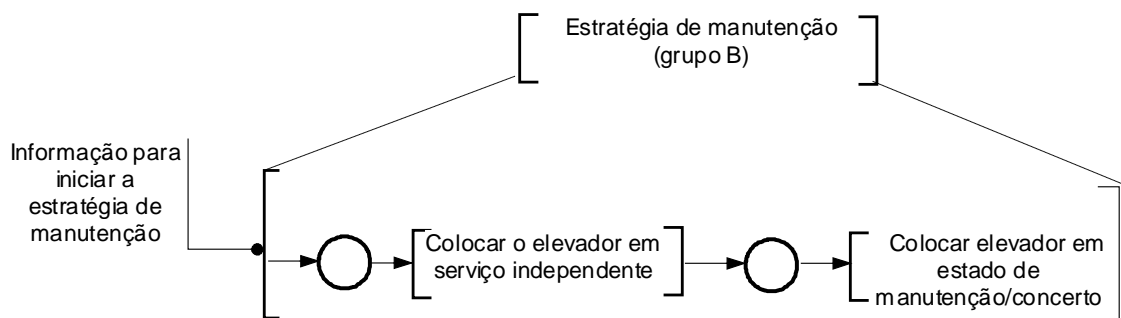


Figura 5.30 Modelo em PFS da estratégia de manutenção para o grupo B

Estratégia por falha em um elevador

Para esta estratégia as atividades pertinentes, são apresentadas no modelo da figura 5.31.

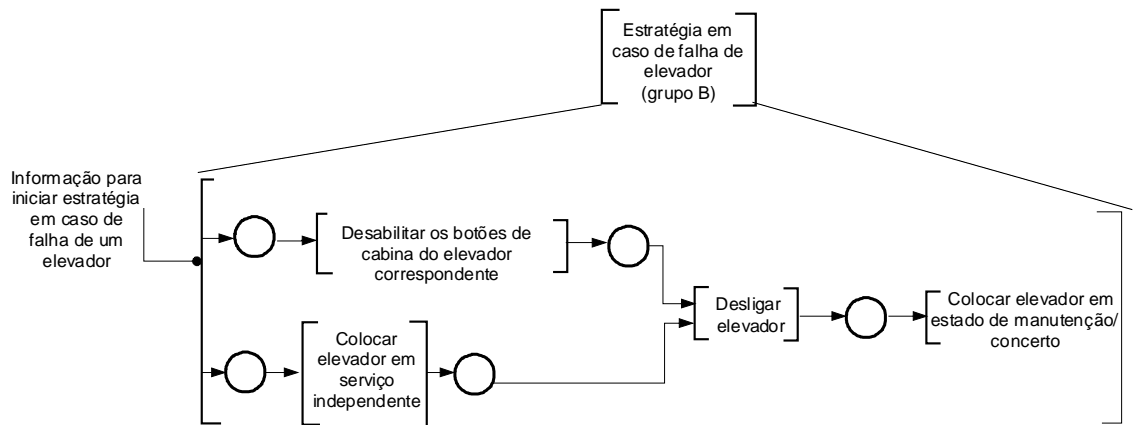


Figura 5.31 Modelo em PFS da estratégia em caso de falha de elevador no grupo B

O detalhamento em modelos MFG de algumas das atividades requeridas nas estratégias é apresentado a seguir (vide figura 5.32 e 5.33):

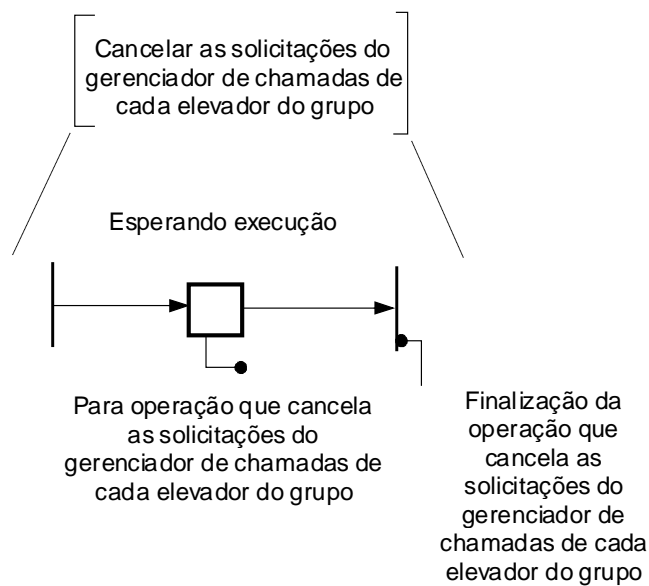


Figura 5.32 Detalhamento em MFG (E-MFG) da atividade [Cancelar as solicitações do gerenciador de chamadas de cada elevador do grupo]

A maioria das atividades apresentas nas estratégias têm um detalhamento semelhante ao indicado na figura 5.32, exceto para a atividade [enviar um elevador a serviço independente], cujo detalhamento é apresentado na figura 5.33

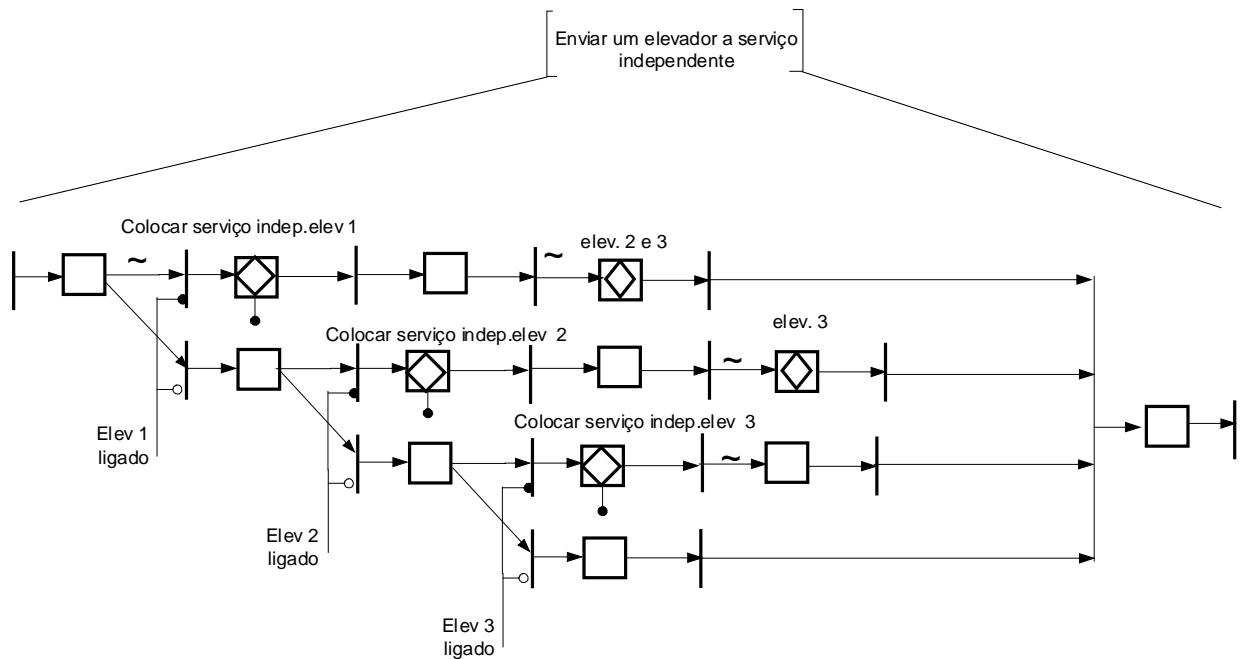


Figura 5.33 Detalhamento em MFG (E-MFG) da atividade [enviar um elevador a serviço independente]

Nestes modelos as *portas* permitem a comunicação entre as estratégias e as operações e vice-versa.

A seguir são apresentados os modelos das operações que permitem a comunicação do sistema de gerenciamento do edifício e algumas das estratégias com os controles de cabinas de cada grupo.

MODELAGEM DAS OPERAÇÕES DO SISTEMA

As operações realizadas no sistema são:

Colocar elevador em serviço em grupo

Esta operação é ativada pela informação oriunda do SGE através do controle dos grupos, e permite colocar em serviço em grupo elevadores que estavam trabalhando em serviço independente por manutenção, falha, etc.. A figura 5.34 apresenta o modelo em MFG desta operação, onde são indicados somente os elevadores com a informação pertinente para entrar neste serviço.

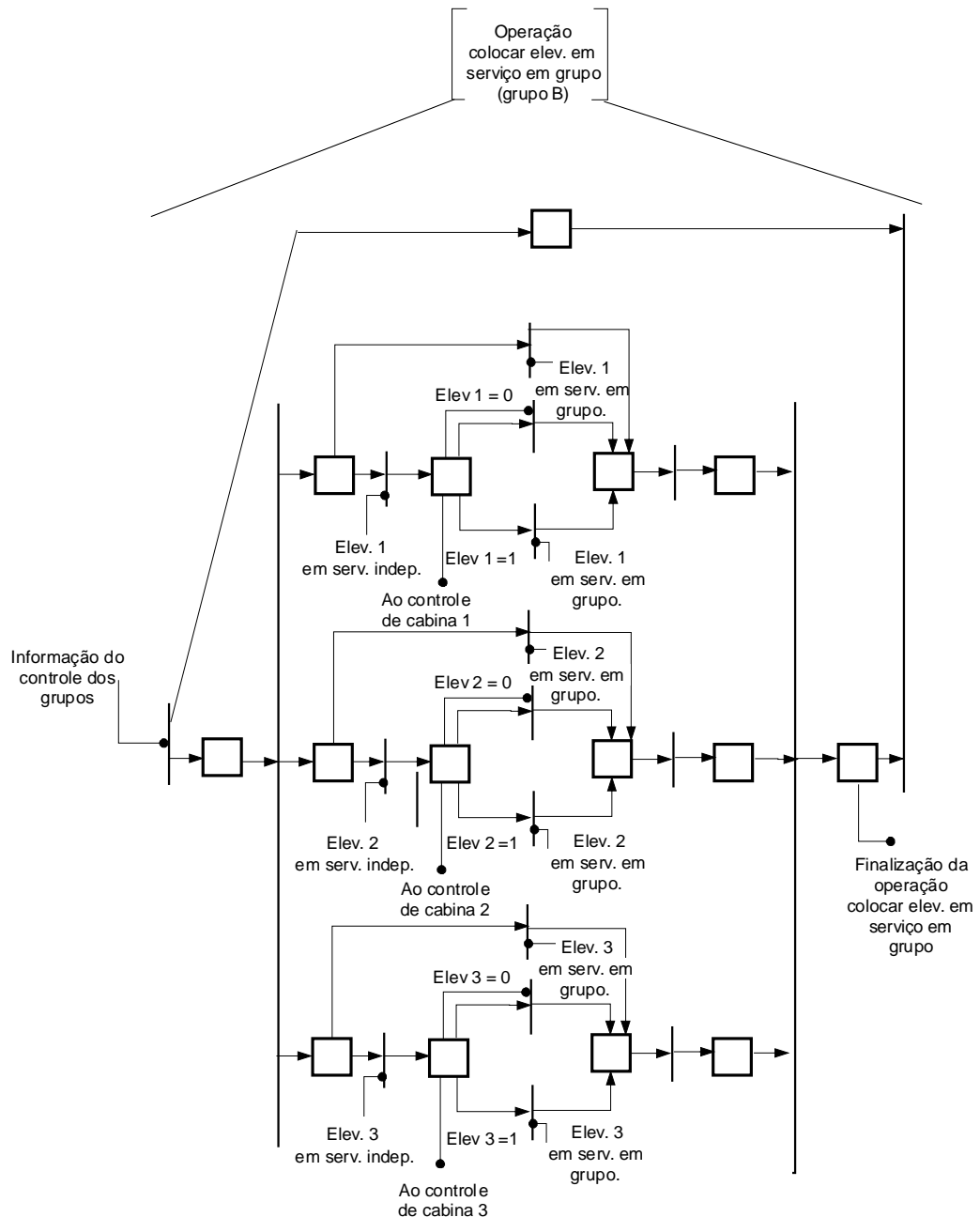


Figura 5.34 Modelo em MFG (E-MFG) da operação colocar elevador em serviço em grupo

Ligar elevadores

Nesta operação são ligados os elevadores pertinentes de acordo com o requerido pelo controle dos grupos, pela estratégia em caso de incêndio fase - 2 ou pelo botão que para esta tarefa se encontra instalado em cada cabina (seu uso é restrito por chave). O modelo em MFG desta operação é apresentado na figura 5.35.

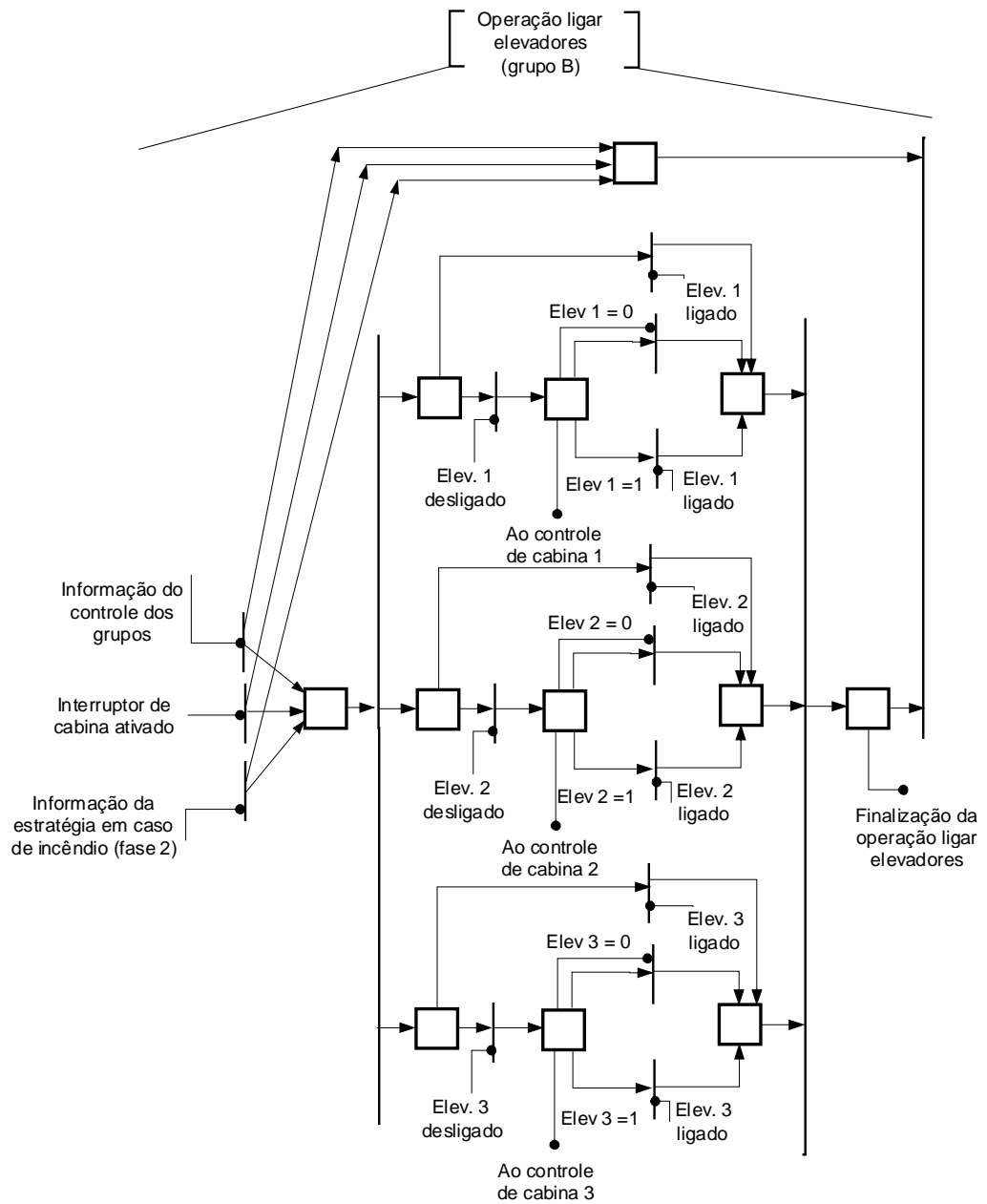


Figura 5.35 Modelo em MFG (E-MFG) da operação ligar elevadores

Para as operações: desligar elevadores, cancelar as solicitações do gerenciador de chamada de cada elevador do grupo, colocar elevador em estado de manutenção/concerto, seu detalhamento é semelhante ao apresentado nas figura 5.34 e 5.35, variando unicamente nas estratégias que os ativam.

A seguir são indicados os detalhes de outras operações que embora sejam semelhantes às anteriores possuem na sua estrutura um elemento adicional para a comunicação com o controle das cabinas.

Parar os elevadores do grupo no andar mais próximo

Esta operação é ativada pela estratégia em caso de incêndio fase - 1 e a estratégia em caso de falta de energia. Sua modelagem para um elevador é apresentado na figura 5.36.

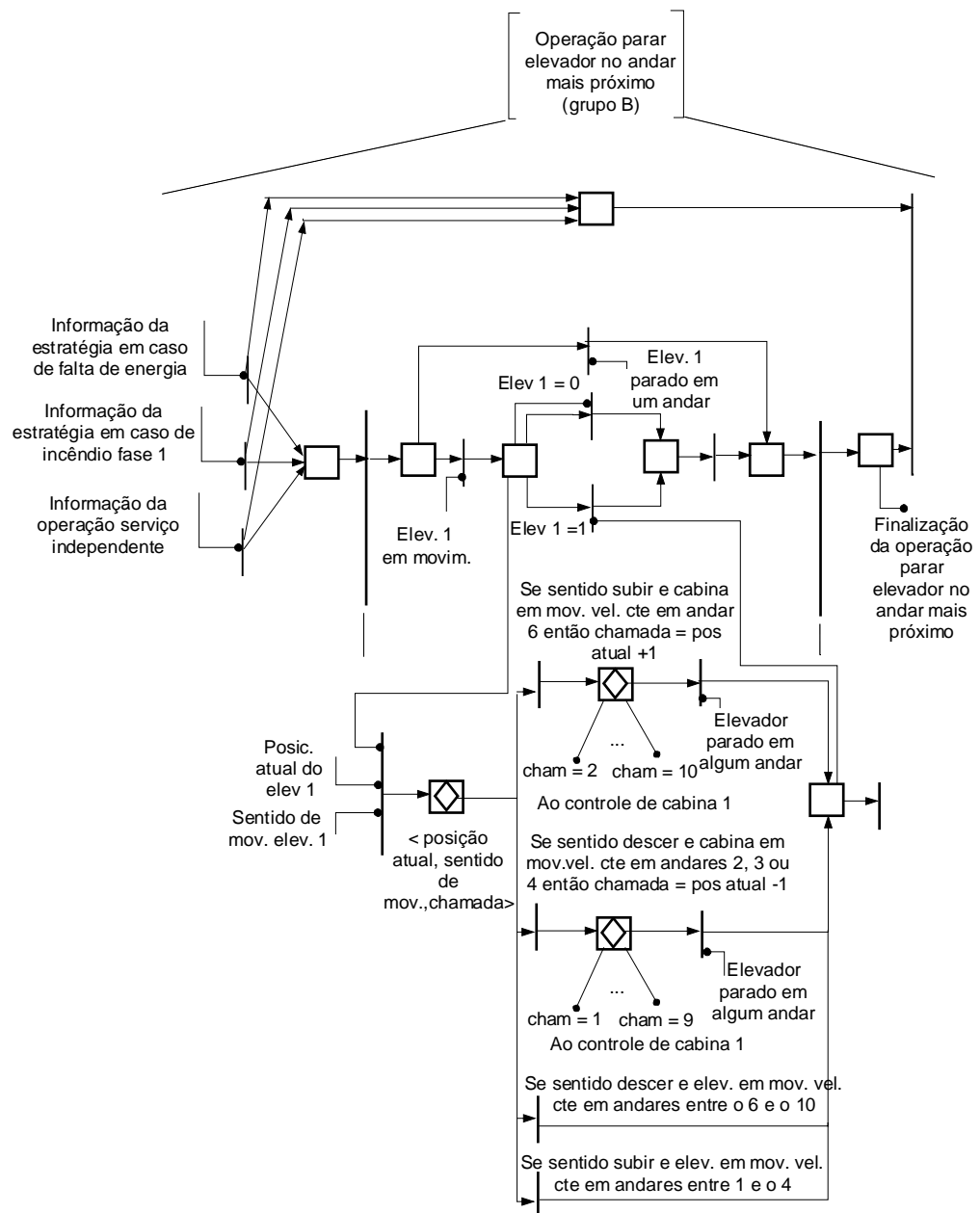


Figura 5.36 Modelo MFG (E-MFG) da operação parar os elevadores do grupo no andar mais próximo.

Movimentar elevadores do grupo sucessivamente até o térreo

O modelo em MFG desta operação é apresentado na figura 5.37

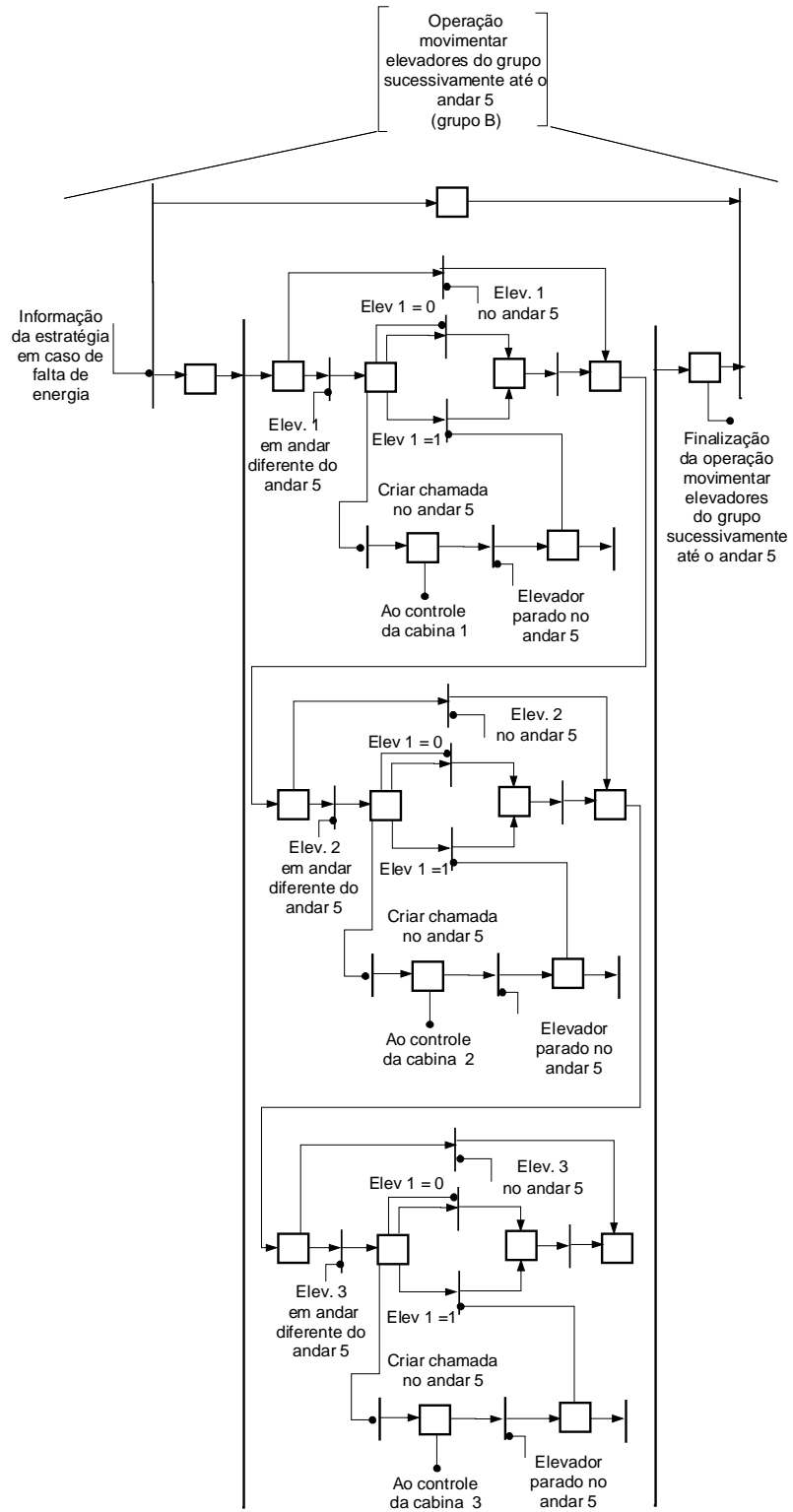


Figura 5.37 Modelo em MFG (E-MFG) da operação movimentar elevadores do grupo sucessivamente até o térreo

A modelagem da operação movimentar os elevadores do grupo até o térreo é semelhante ao modelo apresentado na figura 5.37, mas nesta operação os elevadores não precisam esperar que a movimentação seja sucessiva (quando um elevador chegue ao pavimento térreo outro poderá ser movimentado para esse andar).

Desabilitar botões de cabina

Mediante esta atividade são desativados os botões de cabina. A modelagem em MFG desta operação é apresentada na figura 5.38 quando é ativada pelas estratégias de incêndio fase - 1 e falta de energia e na figura 5.39 quando ativada pela estratégia de falha de um elevador. Nestas figuras o modelo é apresentado para um elevador, pois é igual para os outros elevadores do grupo B.

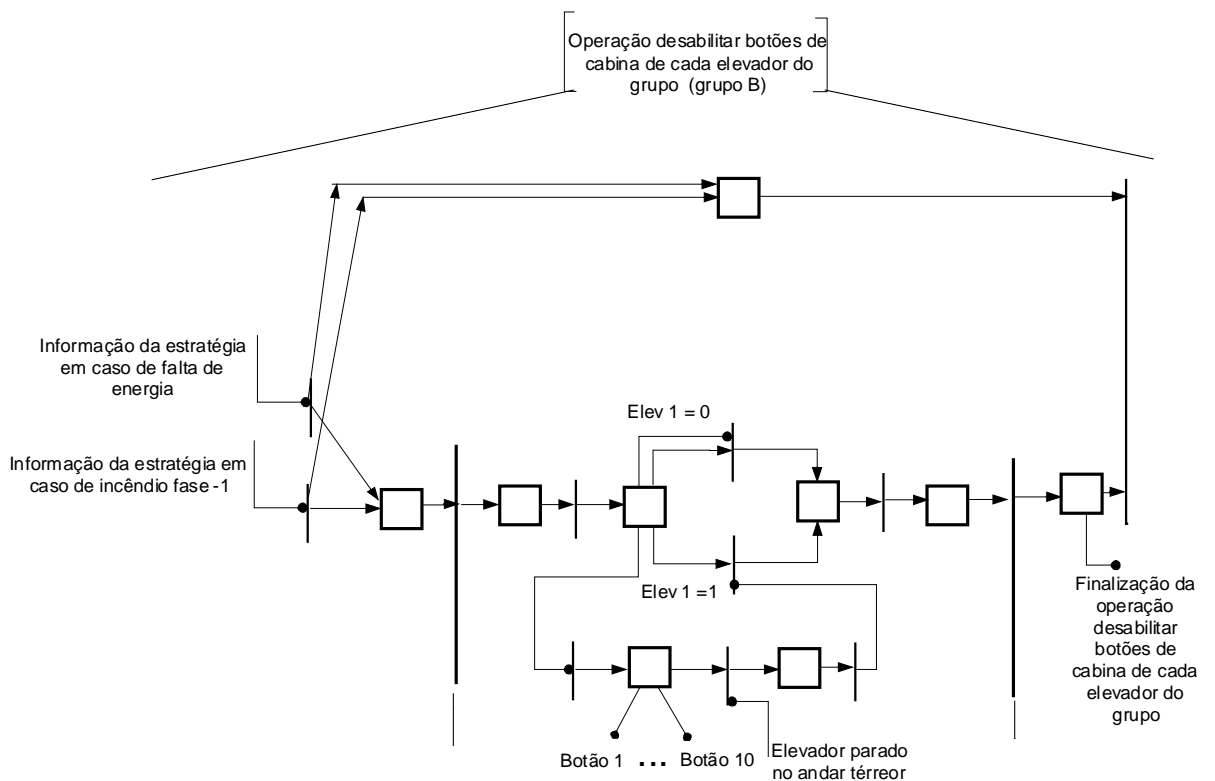


Figura 5.38 Modelo em MFG (E-MFG) da operação desabilitar botões de cabina de cada elevador do grupo ativada pelas estratégias de incêndio fase - 1 e falta de energia.

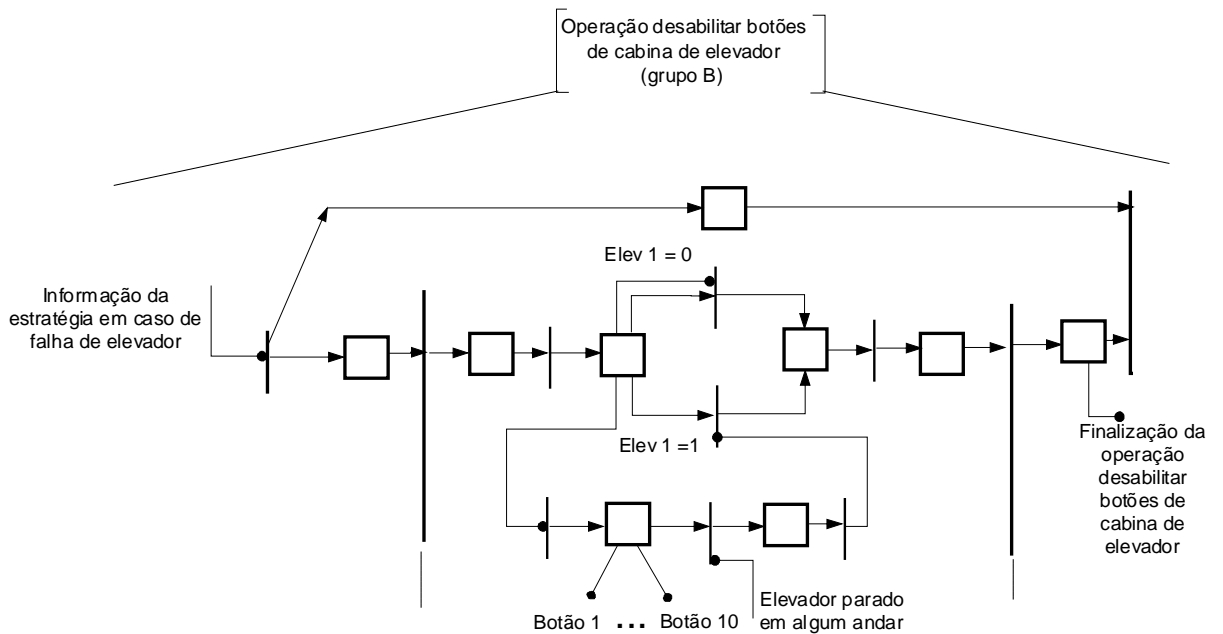


Figura 5.39 Modelo em MFG (E-MFG) da operação desabilitar botões de cabina de elevador

A operação desabilitar botões de andar apresenta um detalhamento em MFG semelhante ao apresentado nas figuras 5.38 e 5.39

Colocar elevador em serviço independente

O serviço independente é uma forma de atendimento de usuários na qual somente são servidas as chamadas realizadas dentro da cabina (realizadas por pessoal autorizado), para fazer com que o elevador deixe de trabalhar em serviço em grupo [SIE, 1998].

Na modelagem do PAMB são consideradas as seguintes formas de colocar um elevador nesta operação:

1. Por ativação do interruptor localizado em cada um dos andares: quando o interruptor é ativado um elevador é chamado para o respectivo andar, normalmente estabelecendo prioridade, permitindo que seguidamente seja ativado o interruptor para serviço independente localizado dentro da cabina. As atividades necessárias para esta tarefa são:

- Escolher o elevador do grupo mais perto do andar onde foi solicitado.
- Retirar o elevador do serviço em grupo.

- Cancelar solicitações do gerenciador de chamadas do elevador escolhido.
- Parar o elevador no andar mais próximo no sentido do seu movimento, no caso de não estar parado em algum deles e quando sua movimentação atual o afaste do andar onde esta sendo solicitado.
- Movimentar o elevador até o andar requerido.

2. Por ativação do interruptor localizado em cada cabina: cuja ativação faz que sejam efetuadas as seguintes atividades:

- Retirar elevador do serviço em grupo.
- Cancelar as solicitações do gerenciador de chamadas do elevador.

3. Devido a uma das estratégias ou por requerimento do sistema de gerenciamento do edifício: neste caso as atividades a realizar são:

- Retirar o elevador do serviço em grupo.
- Parar o elevador no andar mais próximo.
- Cancelar as solicitações do gerenciador de chamadas do elevador

O modelo em PFS desta operação para cada forma de ativação é apresentado nas figuras 5.40 à 5.42.

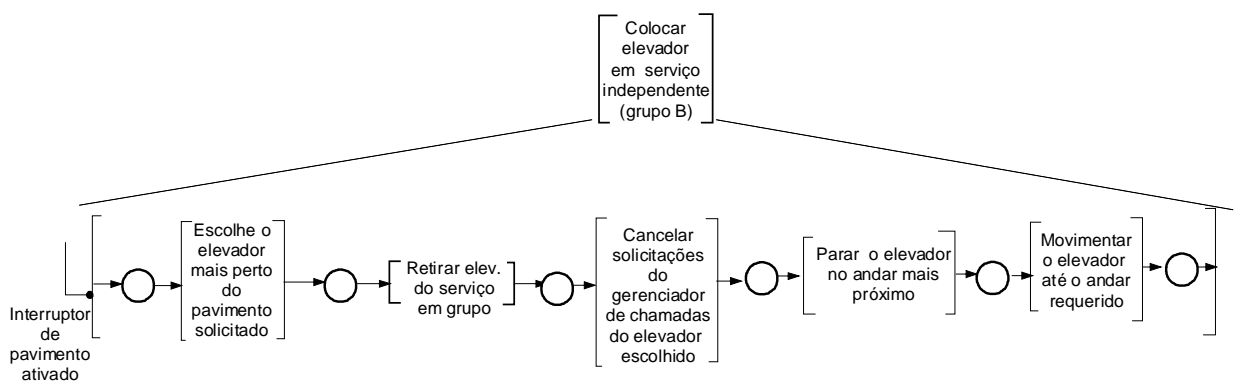


Figura 5.40 Modelo em PFS da operação colocar elevador em serviço independente ativada por interruptor de andar

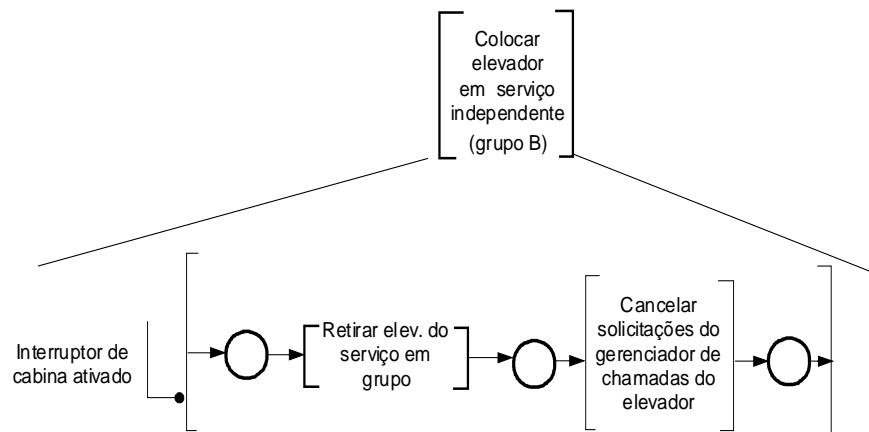


Figura 5.41 Modelo em PFS da operação colocar elevador em serviço independente ativada por interruptor de cabina

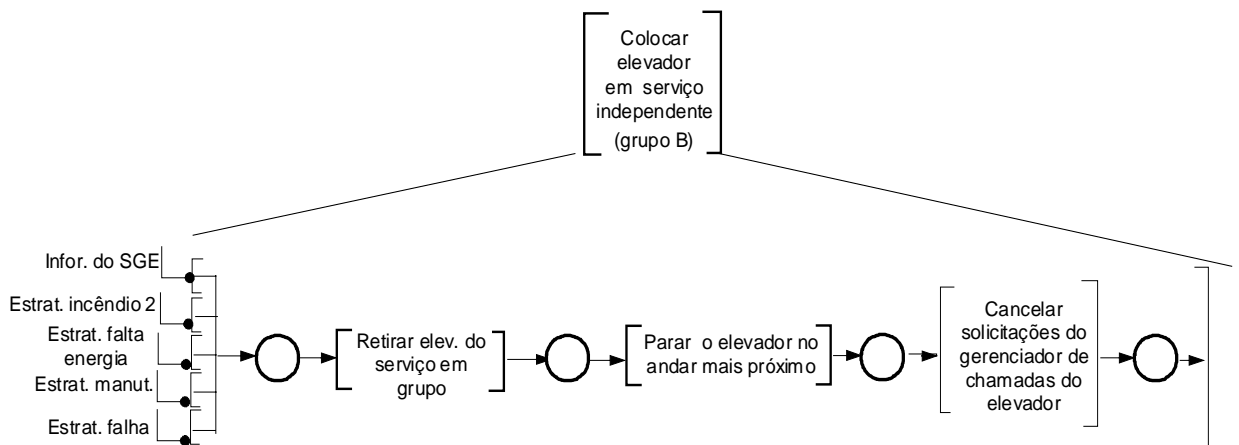


Figura 5.42 Modelo em PFS da operação colocar elevador em serviço independente ativada por uma estratégia ou pelo sistema de gerenciamento do edifício

Alguns detalhes das atividades usadas nesta operação são apresentados a seguir:

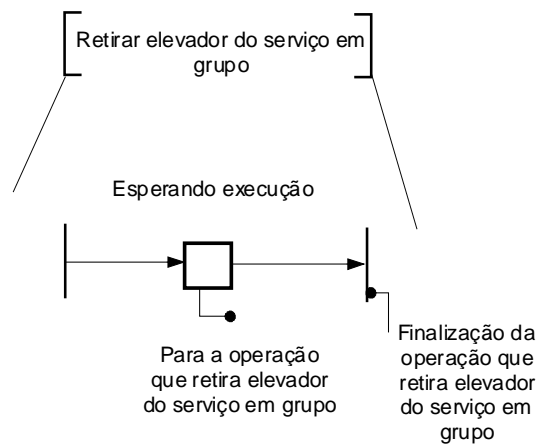


Figura 5.43 Detalhamento em MFG (E-MFG) da atividade [Retirar elevador do serviço em grupo]

As atividades apresentas nas operações de serviço independente têm um detalhamento semelhante ao da figura 5.43, exceto para a atividade [escolher o elevador mais perto do andar solicitado] e [movimentar o elevador até o andar requerido], cujo detalhamento é apresentado nas figuras 5.44 e 5.45 respetivamente.

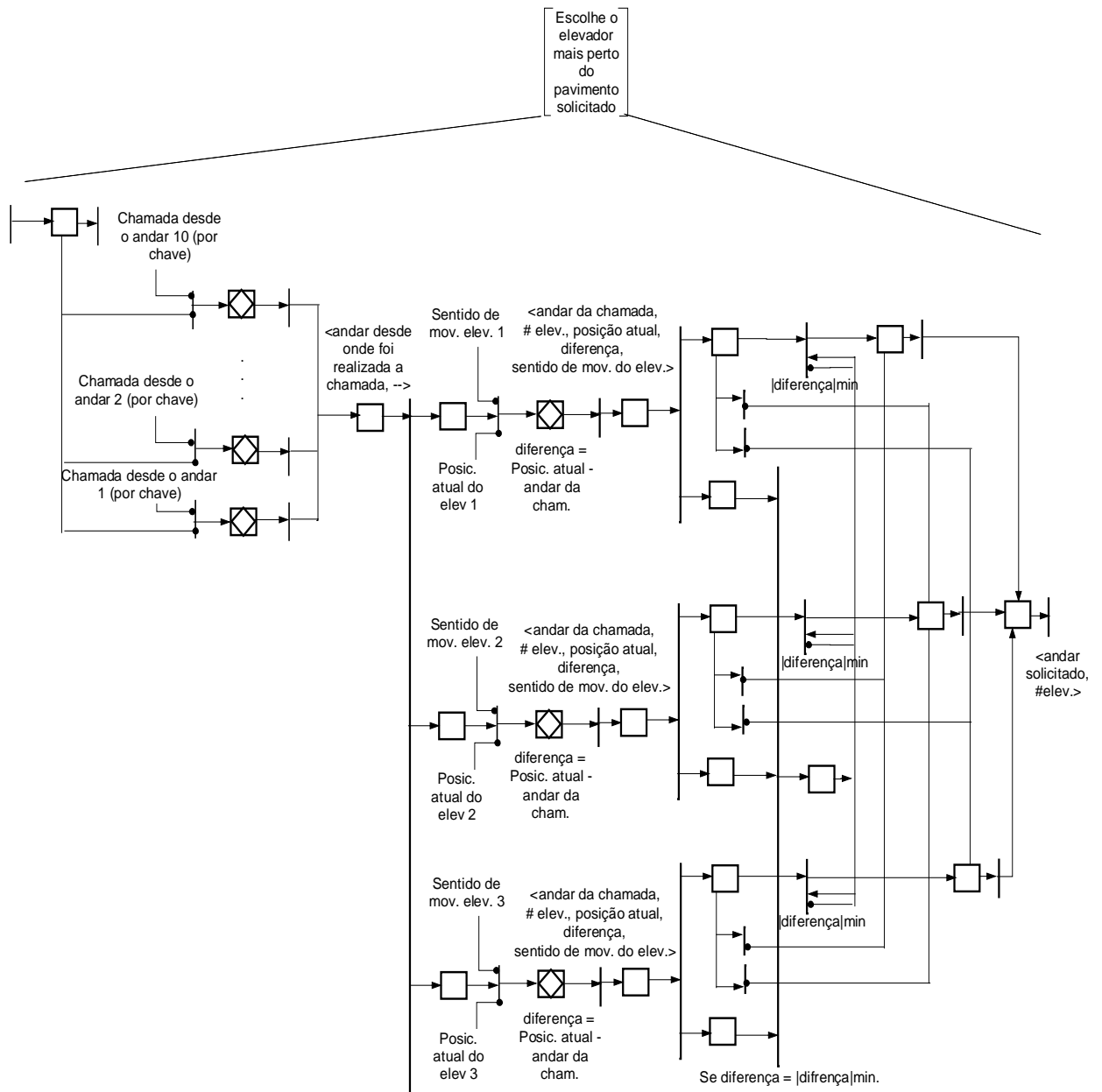


Figura 5.44 modelo em MFG (E-MFG) da atividade [escolher o elevador mais perto do andar solicitado]

A modelagem da atividade [movimentar o elevador até o andar requerido] é indicada na figura 5.45

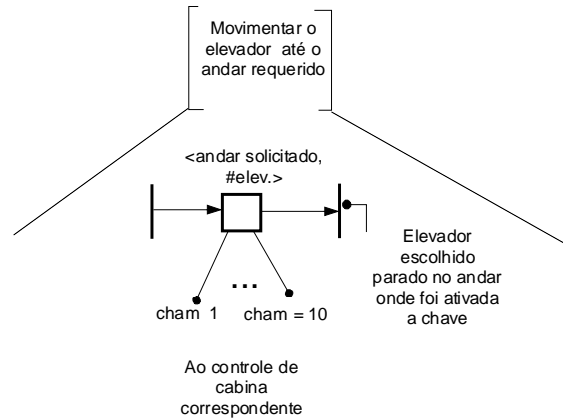


Figura 5.45 Detalhamento em MFG (E-MFG) da atividade [movimentar o elevador até o andar requerido]

A figura 5.46 modela a operação retirar elevador do serviço em grupo.

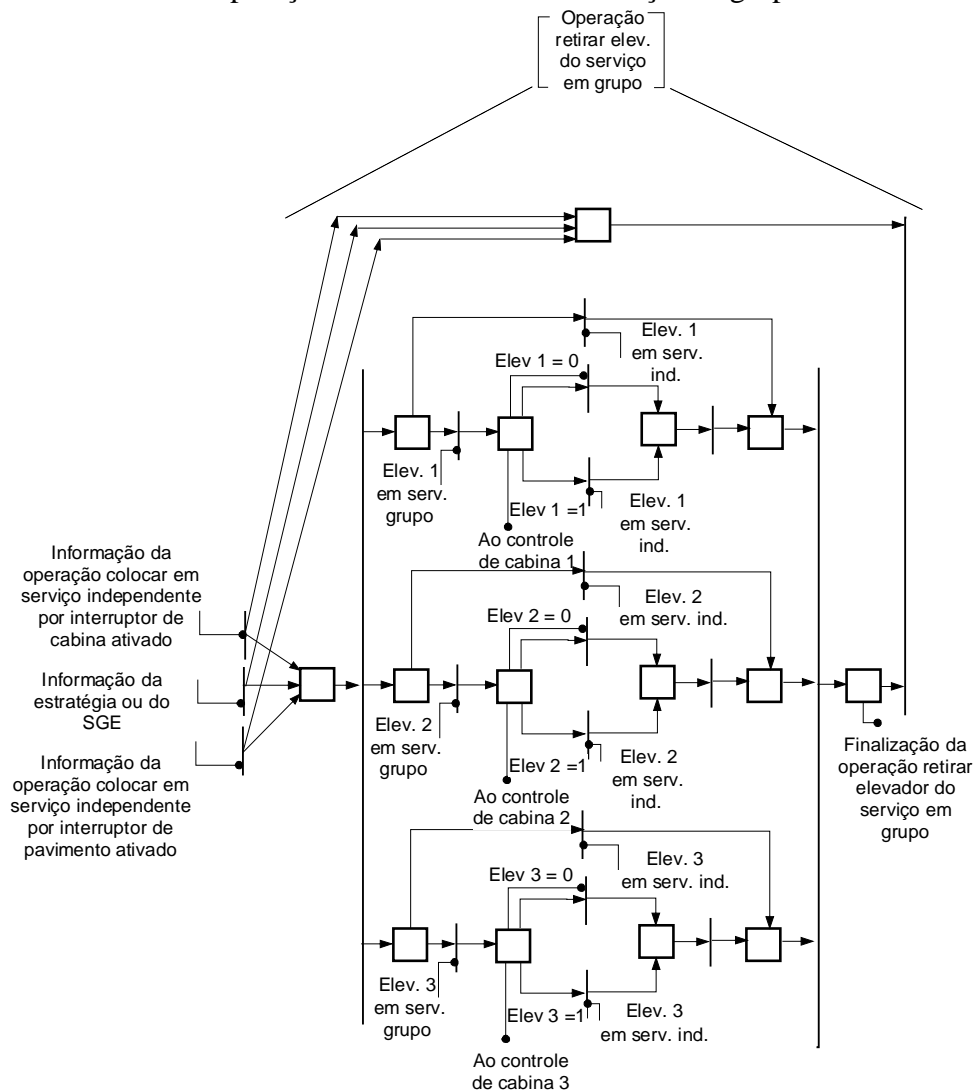


Figura 5.46 Modelo em MFG (E-MFG) da operação retirar elevador do serviço em grupo.

As outras operações envolvidas na operação de serviço independente foram consideradas anteriormente dentro das operações gerais.

A seguir é apresentado um exemplo onde é descrita a conexão entre uma atividade (ligar um elevador) da estratégia em caso de incêndio fase-2, a operação e a parte correspondente do controle de cabina (vide figura 5.47)

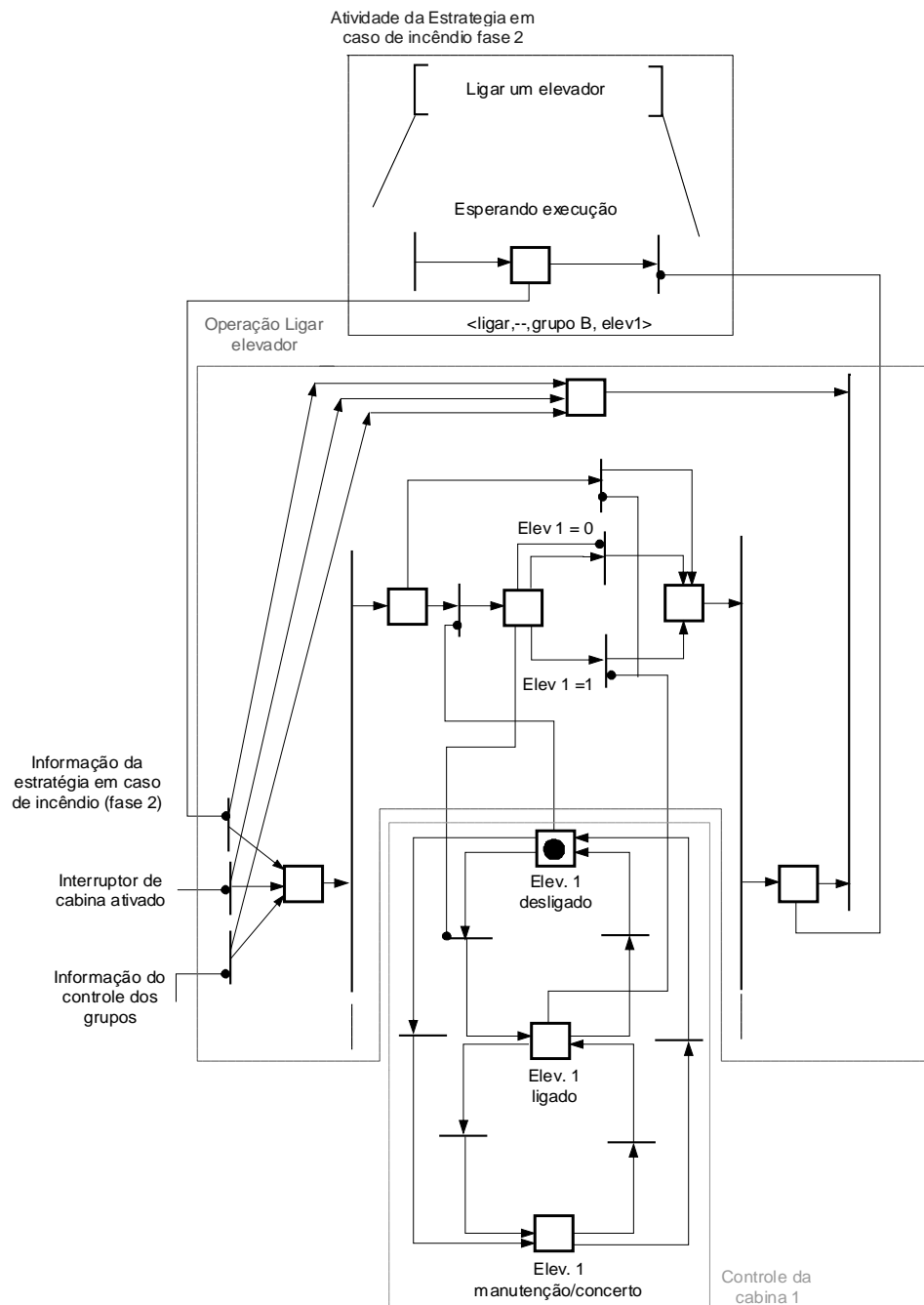


Figura 5.47 Exemplo em MFG (E-MFG) da conexão entre estratégia e operação

MODELO DO CONTROLE DE CABINA

Para modelar o controle de cabina considerou-se conveniente a divisão em 4 módulos das diferentes funções realizadas neste nível:

- Módulo de gerenciamento das chamadas.
- Módulo de inversão do sentido de movimento.
- Módulo de permissão.
- Módulo dos estados de operação

As redes originadas deste módulos serão integradas através de *portas habilitadoras e inibidoras*. Da mesma forma, este controle é integrado também aos diferentes dispositivos e ao controle de grupo através destas *portas*.

A representação destes módulos dentro do controle da cabina e suas interações com o controle de grupo, os dispositivos e o objeto de controle são apresentados na figura 5.48

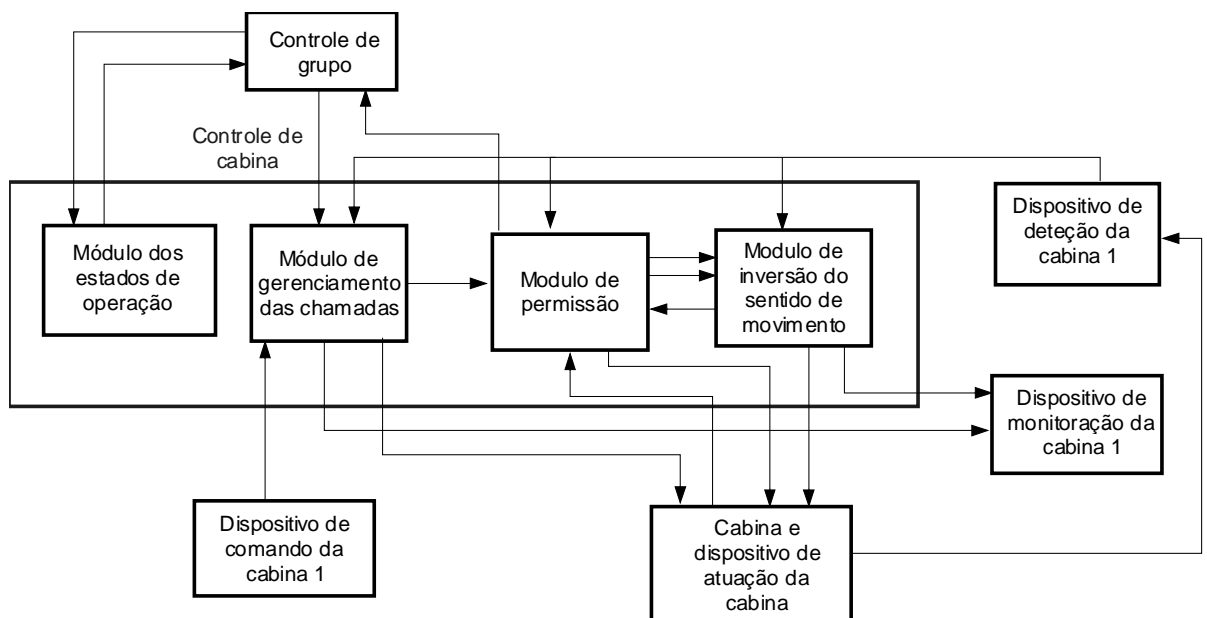


Figura 5.48 Modelo do controle de cabina identificando seus módulos e interações.

MÓDULO DE GERENCIAMENTO DAS CHAMADAS

Este módulo é o encarregado de gerenciar as chamadas de cabina e as chamadas de andar que são designadas para essa cabina. (vide figura 5.49).

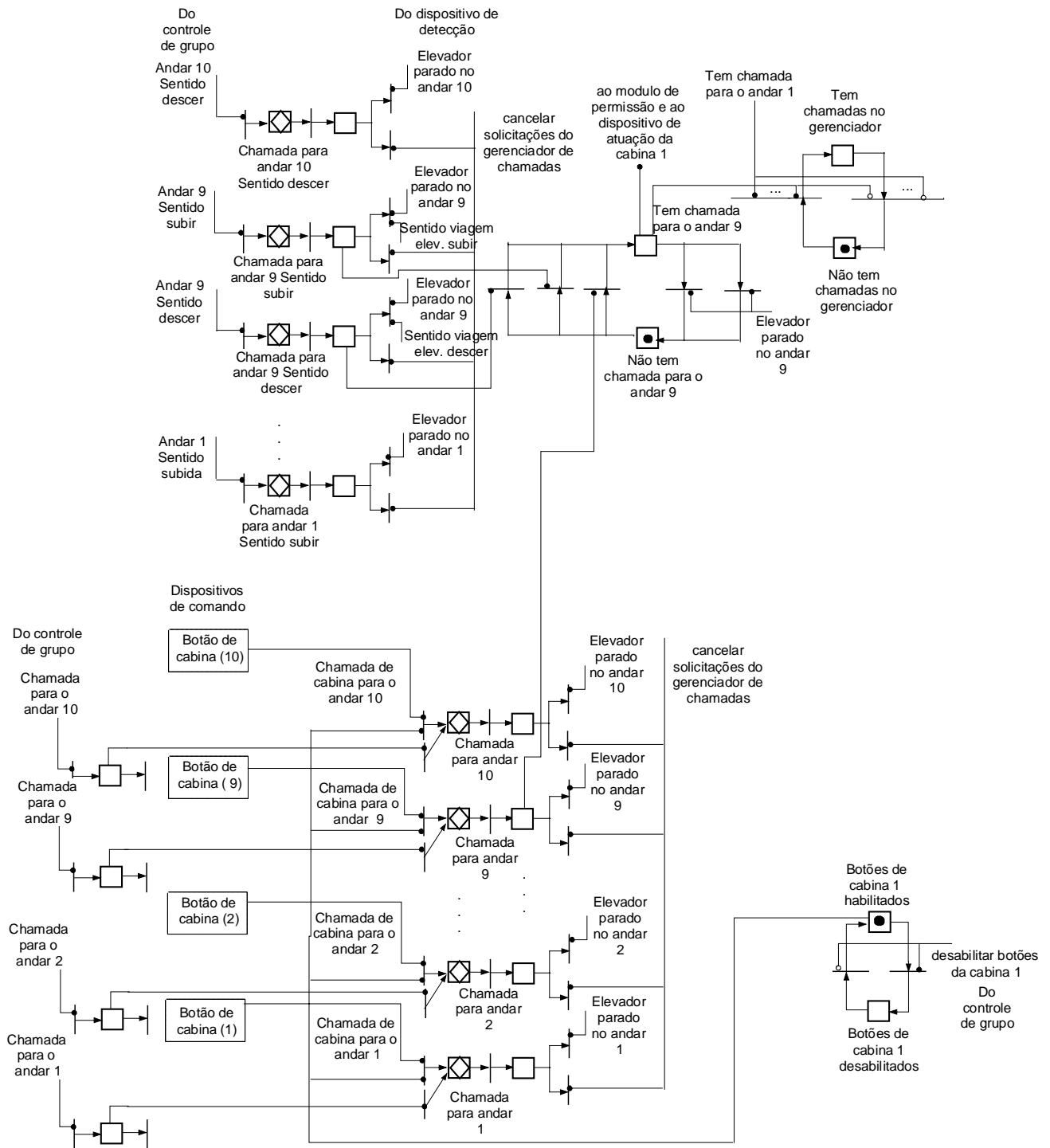


Figura 5.49 Modelo em MFG (E-MFG) do módulo de gerenciamento de chamadas

Quando uma chamada é atendida (a cabina se encontra no respetivo andar), a requisição é anulada.

O módulo permite que a cabina possa parar ou passar sem parar em um determinado andar caso exista chamada para o andar. Na figura 5.49 é apresentado também o modelo que permite saber se existe chamada para um determinado andar, neste caso para o andar 9, sendo que para os outros andares o modelo é semelhante.

MÓDULO DE INVERSÃO DO SENTIDO DE MOVIMENTO

Este módulo descreve a inversão do sentido de movimento da cabina, a qual deve ocorrer quando o elevador não possui chamadas no sentido de movimento atual e tem designada ao menos uma chamada no sentido oposto. Este módulo é representado no modelo em MFG da figura 5.50

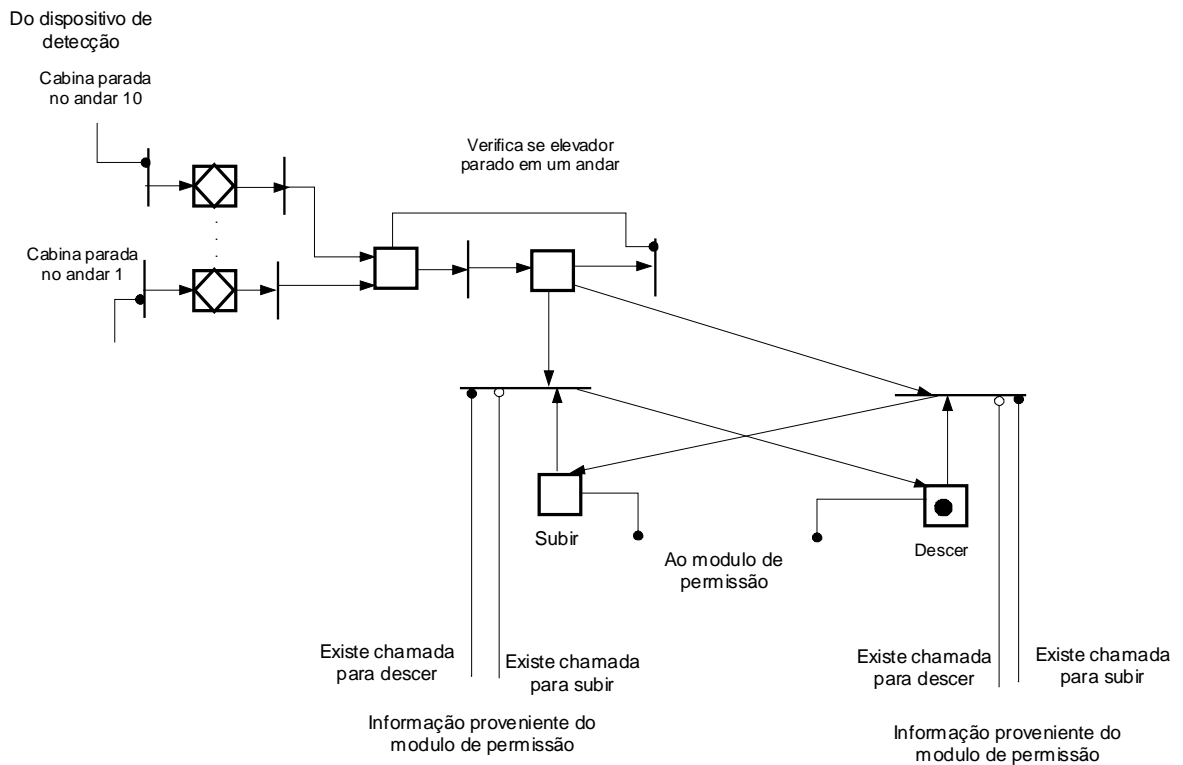


Figura 5.50 Modelo em MFG (E-MFG) do módulo de inversão do sentido de movimento

MÓDULO DE PERMISSÃO

Este módulo representa o controle da cabina que permite ou inibe ao elevador continuar na sua direção de movimento, dependendo se existe ou não, pelo menos uma chamada na sua direção, para realizar o deslocamento do elevador ao andar da chamada mais próxima, dentro das que deve atender. A Figura 5.51 apresenta o modelo deste módulo em MFG.

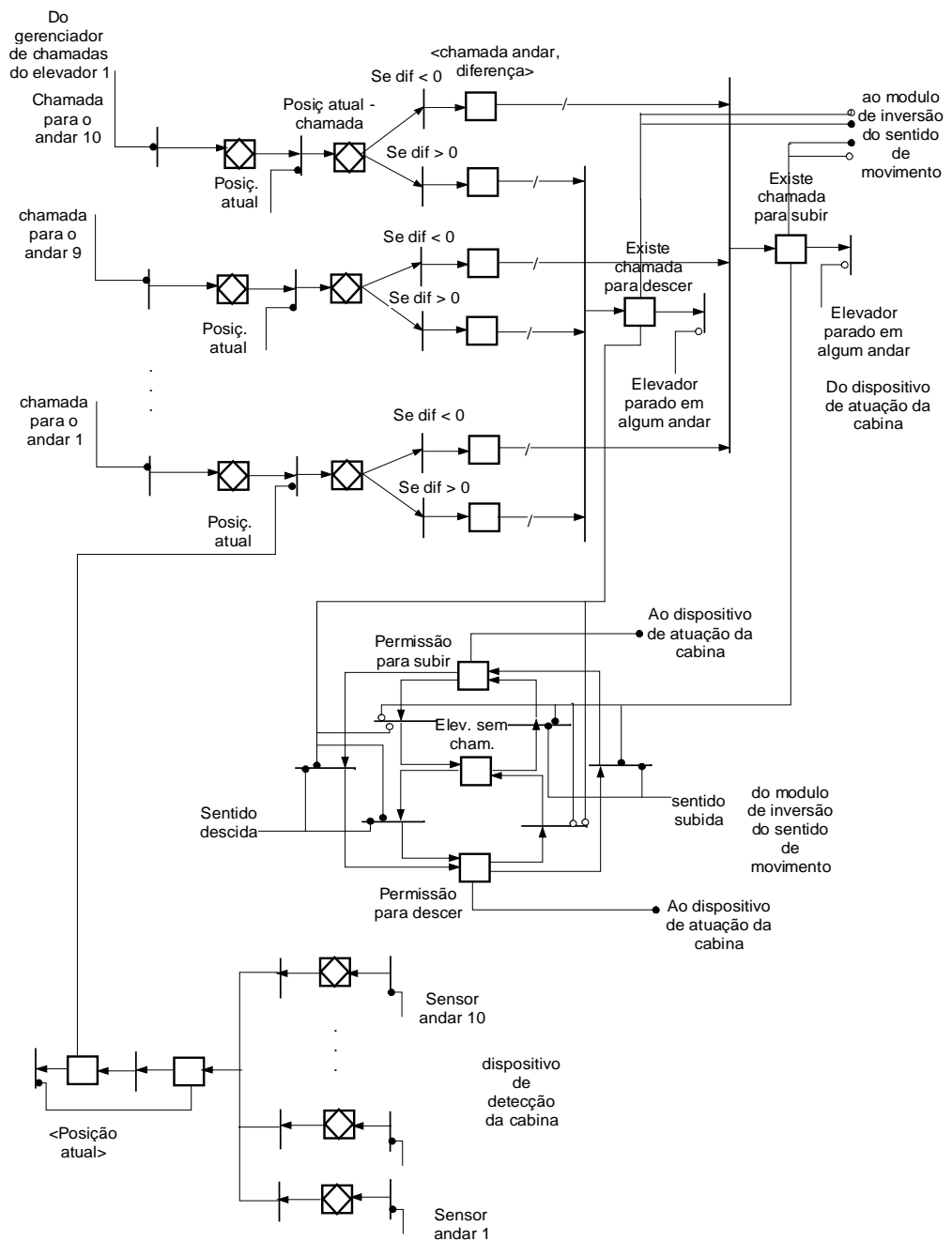


Figura 5.51 Modelo em MFG (E-MFG, MFG auto-modificável) do módulo de permissão.

MÓDULO DOS ESTADOS DE OPERAÇÃO

Este módulo contém a modelagem dos estados de operação nos quais um elevador pode-se encontrar: ligado, desligado, em manutenção/concerto, trabalhando em serviço em grupo e trabalhando em serviço independente. A figura 5.52 apresenta os modelos correspondentes a este módulo. É necessário anotar que no caso do PAMB é conveniente se manter os usuários informados mediante sinalizações do estado dos elevadores.

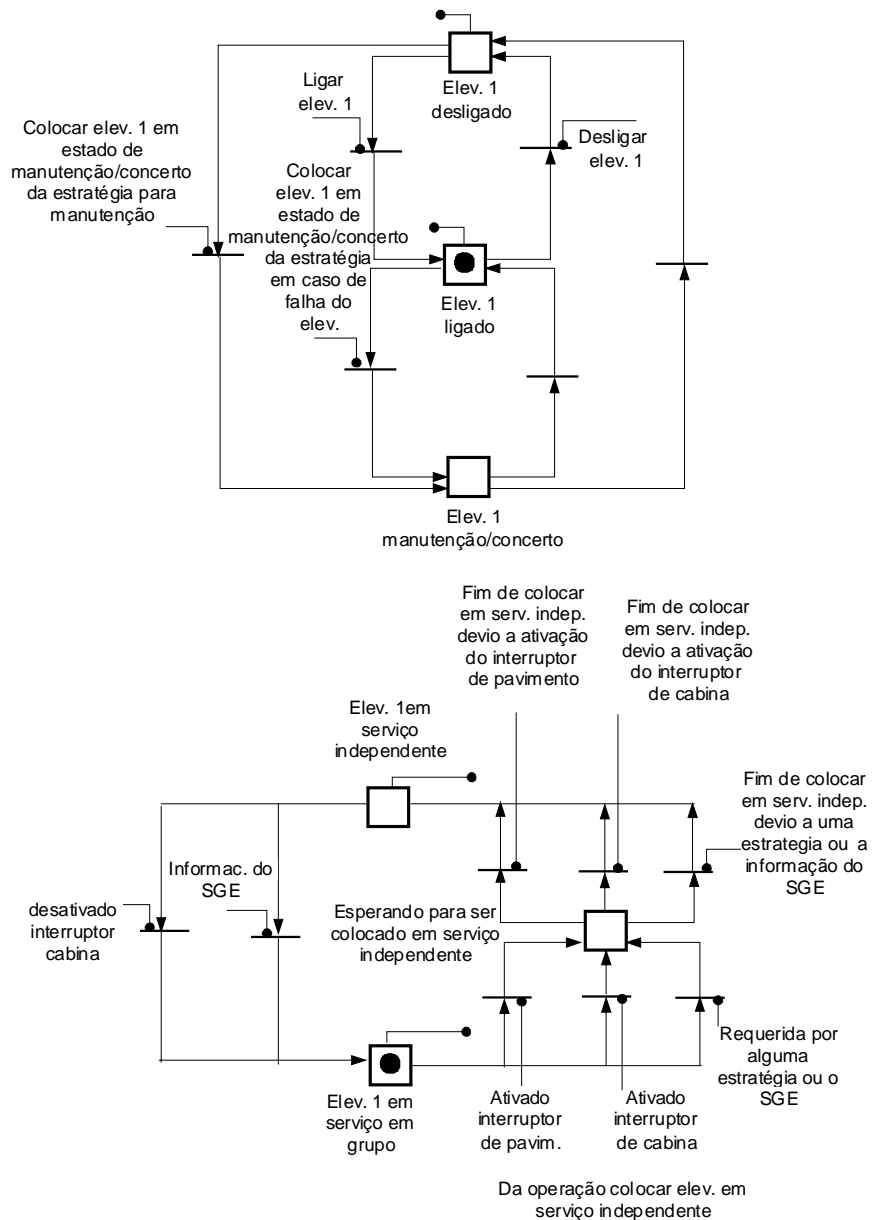


Figura 5.52 Modelos em MFG do módulo dos estados de operação

MODELO DO CONTROLE DE ANDAR

Este controle tem como função receber informação dos dispositivos de comando dos andares e de detecção das cabinas e realizar a sinalização adequada em cada andar, além de informar ao controle de grupo sobre as chamadas realizadas em cada andar. A modelagem em MFG deste controle é apresentada na figura 5.53

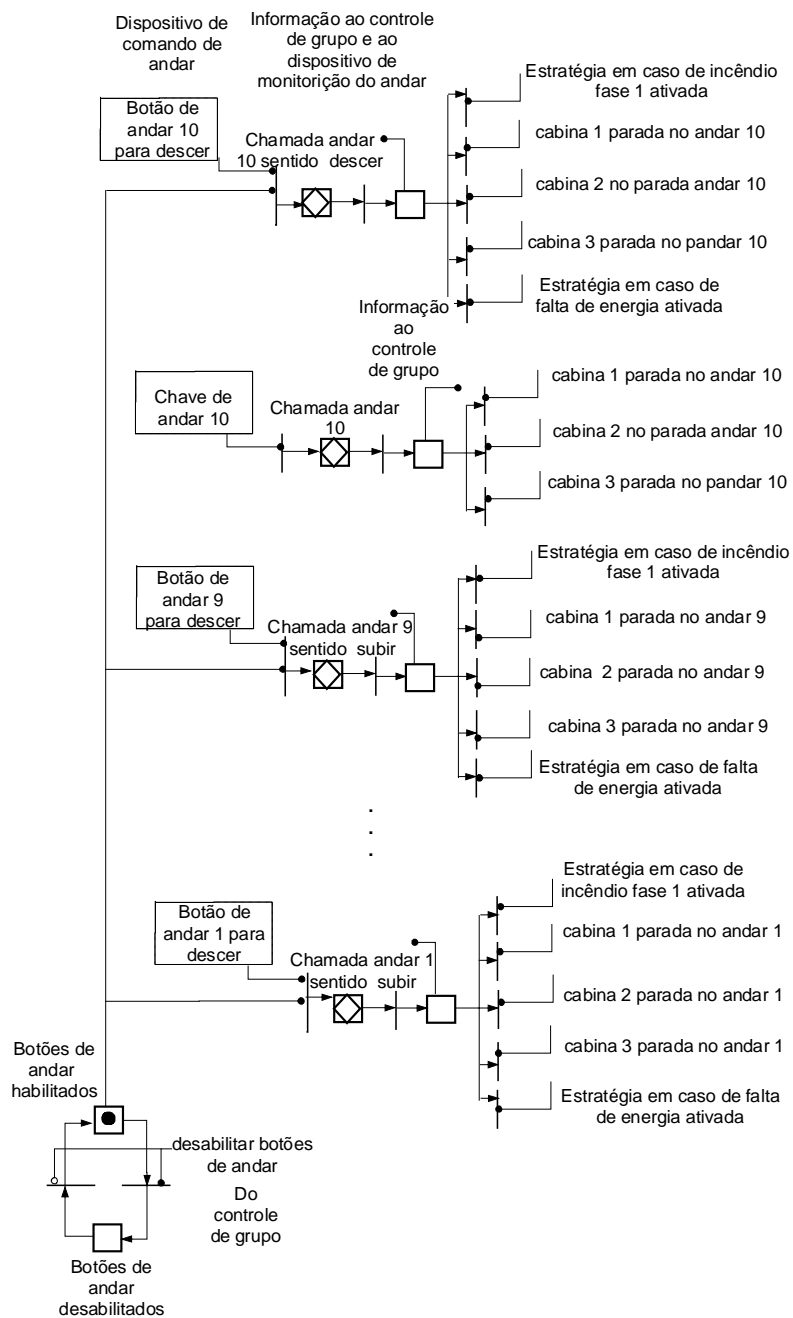


Figura 5.53 Modelo em MFG (E-MFG) do controle de andar

MODELAGEM DO OBJETO DE CONTROLE (CABINA E DISPOSITIVO DE ATUAÇÃO)

O modelo do objeto de controle, que para o sistema de elevadores é a cabina, representa as funções que esta desempenha. Estas funções são basicamente: a de movimentação entre andares e a parada em cada um deles, caracterizando os estados: cabina subindo, cabina descendo e cabina parada. Estes estados são atingidos devido à ação do dispositivo de atuação da cabina, este dispositivo é constituído pelo motor desta e o atuador das portas. Assim o modelo representa tanto a cabina propriamente dita, como o dispositivo de atuação.

No modelo conceitual do objeto de controle são identificadas as seguintes atividades : [subir], [descer] e um elemento inter-atividade que representa a parada nos andares. O modelo conceitual do objeto de controle é apresentado pela figura 5.54. Este modelo é análogo para todas as cabinas, mas com a finalidade de facilitar a compreensão da proposta, apresentara-se apenas a modelagem para a cabina 1 do grupo B.

Devido à dimensão do modelo optou-se por representar o modelo com partições adequadas.

Um detalhamento maior dos estados da cabina, considera que sua movimentação além de estar composta pelos movimentos de descida e subida, leva em conta que estes podem ser realizados a velocidade constante ou com algum tipo de desaceleração ou aceleração, quando o elevador esteja por parar em um andar ou deixando um deles respectivamente.

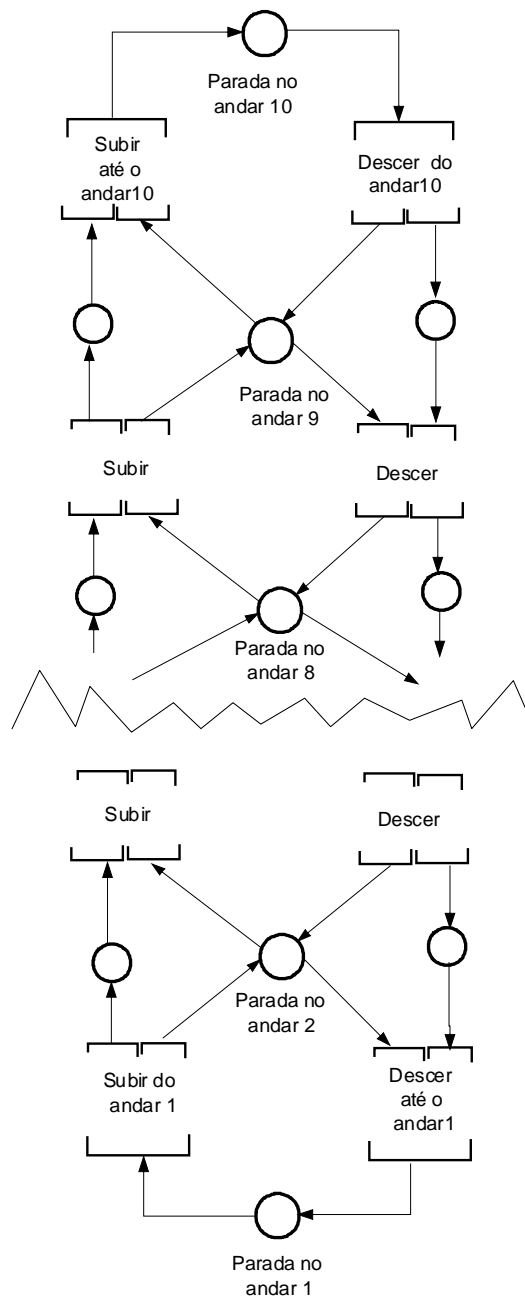


Figura 5.54 Modelo em PFS do objeto de controle (cabina 1 e dispositivo de atuação)

Assim realiza-se o refinamento da atividade [subir] no modelo em PFS da figura 5.55. Neste modelo a atividade é detalhada em duas atividades [subir acelerando], [subir desacelerando] e em um elemento inter-atividade que representa a cabina subindo a velocidade constante.

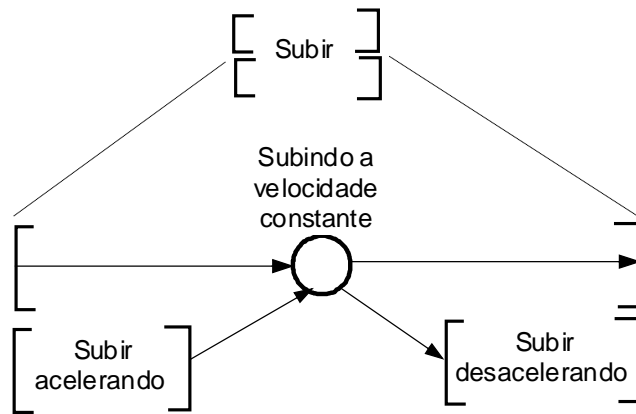


Figura 5.55 Detalhamento em PFS da atividade [subir]

A atividade [subir do andar 1] também pode ser refinada no modelo em PFS apresentado na figura 5.56

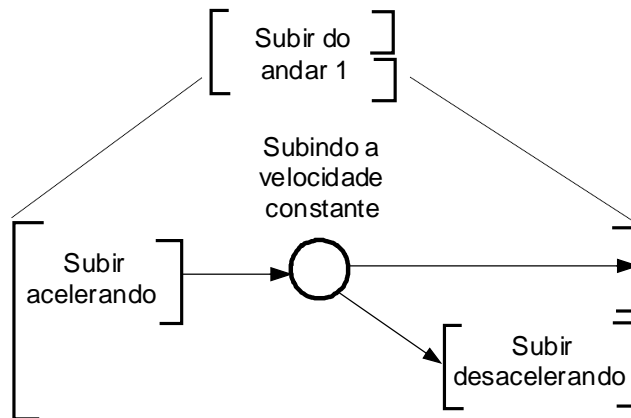


Figura 5.56 Detalhamento em PFS da atividade [subir do andar 1]

O procedimento para as atividades que correspondem às atividades de descida são semelhantes ao apresentado.

A inter-atividade parada no andar, pode ser refinada como apresentada na figura 5.57

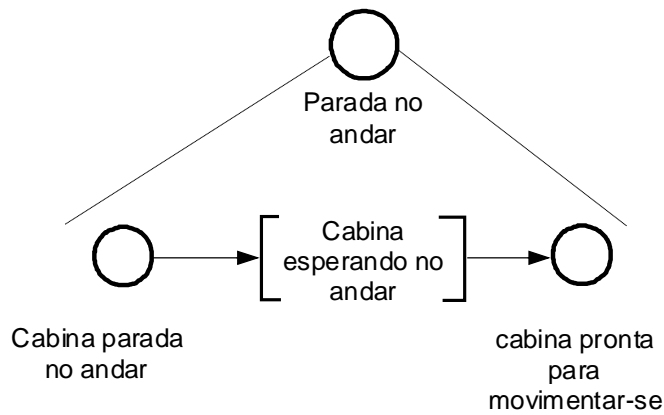


Figura 5.57 Detalhamento em PFS da inter-atividade parada no andar

A modelagem funcional do objeto de controle é obtida a partir do detalhamento em MFG dos modelos apresentados em PFS. Este modelo é apresentado na figura 5.58.

Neste modelo pode-se apreciar a dinâmica da cabina, através da evolução das marcas no grafo. Por exemplo, quando cabina está parada em um andar diferente do 1 ou do 10 tem-se duas possíveis ações ou subir ou descer. Para qualquer destas alternativas, o elevador deverá inicialmente acelerar ao deixar o andar, antes de conseguir atingir uma velocidade constante com a qual poderá continuar até finalmente desacelerar e parar no andar para o qual foi requerido o atendimento. Para os andares 1 e 10 tem-se os mesmos estados, mas o elevador só poderá subir do andar1 e descer do andar10.

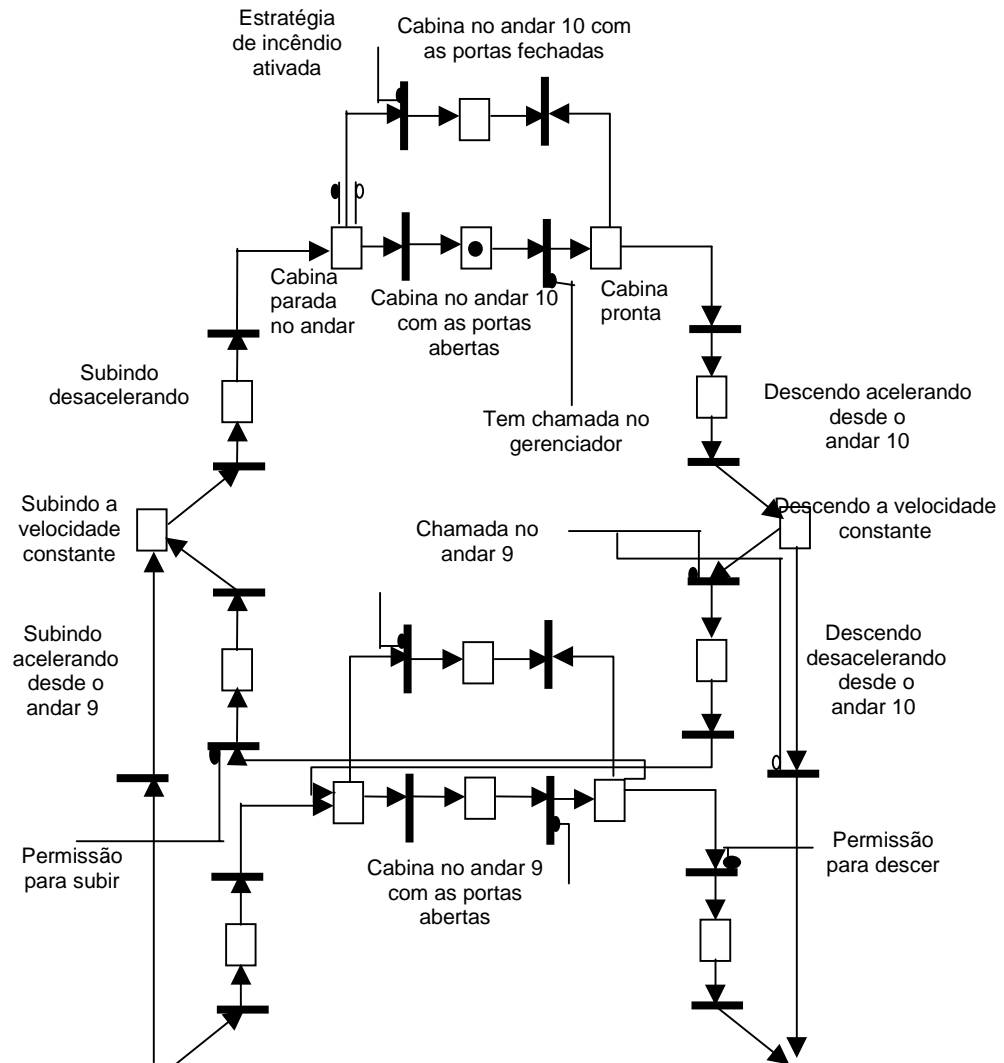


Figura 5.58 Modelo em MFG do objeto de controle

5.2. OBSERVAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi verificada a efetividade da metodologia para modelar o sistema de elevadores do prédio dos ambulatórios (PAMB) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP). A aplicação desta técnica permitiu a modelagem do sistema de elevadores passo a passo a partir do levantamento das informações do sistema (elevadores considerados, estratégias de controle, etc.). Assim, foram desenvolvidos os modelos do sistema iniciando com um modelo

estrutural de todo o sistema, para depois derivar os modelos conceituais em PFS refinando-os em modelos funcionais em MFG (que inclui o MFG original e suas extensões).

Considerando que atualmente cada um dos elevadores no PAMB opera de modo independente, verificou-se que a aplicação da metodologia de modelagem proposta facilita a construção do modelo completo do sistema de elevadores deste edifício, visando sua integração com outros sistemas fundamentais para um prédio hospitalar, servindo assim de auxílio ao projeto e definição de diretrizes para tornar o sistema de elevadores parte de um edifício inteligente, no qual um controle adequado apresente resultados muito mais satisfatórios.

Capítulo 6

COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

Este trabalho introduz uma metodologia para a modelagem de sistemas de elevadores em edifícios inteligentes através de uma abordagem de sistemas a eventos discretos, e especificamente mediante o uso das redes de Petri interpretadas. Esta metodologia permite o desenvolvimento estruturado de modelos e proporciona sua interpretação (indispensáveis em modelos complexos de sistemas de grande porte), facilitando o direcionamento do processo de modelagem e o aprimoramento da especificação do sistema.

A metodologia apresentada propõe o uso de modelos conceituais e funcionais, cuja finalidade é facilitar a construção de um modelo global do sistema de elevadores considerando sua integração com outros sistemas prediais, além de, disponibilizar um suporte adequado à flexibilidade do sistema e permitir sua utilização em uma posterior etapa de análise do sistema.

Nesta metodologia é explorada como técnica de modelagem a metodologia PFS/MFG. Além disso, foi introduzido o uso do MFG auto-modificável procurando incrementar o poder de modelagem do MFG e simplificar o grafo, ao reduzir as necessidades da definição de novas condições, e com isto assegurar maior legibilidade ao modelo.

O estudo confirmou a utilidade e eficiência das redes de Petri interpretadas e da metodologia PFS/MFG para a modelagem de sistemas prediais, especificamente dos sistemas de elevadores. Também verificou-se o potencial do MFG auto-modificável com sua capacidade de alterar a estrutura do grafo como forma de adaptar-se às

diferentes condições de operação do sistema. Confirmando-se assim, a possibilidade de se utilizar a metodologia PFS/MFG para auxílio a projetos (modelagem, análise e especificação) em edifícios inteligentes ao permitir a compreensão do sistema e sua modelagem funcional explicitando as interações entre os diferentes dispositivos do sistema.

A metodologia PFS/MFG também confirmou através da especificação do modelo funcional, ser efetiva para definir as funções de controle para o projeto de controladores programáveis, facilitando desta forma a implementação do controle e a integração do sistema de elevadores com outros sistemas prediais

A metodologia proposta no presente trabalho apresenta as seguintes características que foram corroboradas no estudo de caso:

- Fornece uma forma sistemática para o abordagem do sistema de elevadores e a construção de seus modelos, os quais podem ser usados para a verificação do sistema e sua implementação.
- Representa as características e operações do sistema de modo claro e uniforme.
- Representa o sistema do nível conceitual ao detalhado de acordo com a estrutura hierárquica das atividades do sistema, considerando modularidade, flexibilidade e capacidade de expansão.
- Permite definir diretrizes para tornar o sistema de elevadores parte de um edifício inteligente.
- É flexível na medida em que os modelos admitem composição com outras técnicas que possam também ser usadas na modelagem.

TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para trabalhos futuros são:

- Continuar o estudo da metodologia apresentada para desenvolver índices de desempenho para análise de sistemas de elevadores através do uso de ferramentas que permitam simular os modelos desenvolvidos em MFG e suas extensões.
- Desenvolver controladores e estratégias de controle geradas a partir da consideração de modelos em MFG e modelos híbridos no sentido de usar conjuntamente técnicas da inteligência artificial, conceitos fuzzy, entre outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMSON, A. B. The intelligent Building Evolution. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS. **Proceedings**. Tel-Aviv, 1995 p. 309-318.
- ALEXANDRIS, N.A.; BARNEY, G.C.; HARRIS C.J. Multi-car Lift System Analysis and Design. **Appl. Math. Modelling**. v.3, August, 1979.
- ARAKAKI, J. **Análise de Sistema de Manufatura através da Metodologia MFG/PFS e Regras de Produção**. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ARAKAKI, J. et al. Aplicação da Metodologia PFS/MFG na Modelagem de Sistemas de Edifícios Inteligentes In: WORKSHOP SINTED SOBRE EDIFÍCIOS INTELIGENTES, **Resumenes**. Varadero, 1998. p. 98-100.
- ARKIN, H.; PACIUK, M. Service system integration in intelligent buildings. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS. **Proceedings**. Tel-Aviv, 1995 p.19-30.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA, ABCI. **As Edificações do Terceiro Milênio**. Construção n.2355, p.25-26, março 29, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR7192 – Projeto, Fabricação e Instalação de Elevadores – Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro, jun/82.
- AZEGAMI M.; FUJIYOSHI, H. A Systematic Approach to Intelligent Bulding Design. **IEEE Communications Magazine**. October 1993.
- BARNEY, G. C; DOS SANTOS, S. M. **Elevator Traffic Analysis, Design and Control**. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1979.
- BECKER, R. What is an Intelligent Building?. In: INTELLIGENT BUILDINGS CONGRESS. **Proceedings**. Tel-Aviv, 1995. p. 320.
- CARDOSO, J.; VALETTE, R. **Redes de Petri**; Florianópolis, Editora da UFSC, 1997.
- CLARK G.; MEHTA, P. PROWSE, R. Intelligent Integrated Building Management Systems. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS. **Proceedings**. Tel-Aviv,1995. p. 9-18.
- ELEVATOR WORLD. **Educational Package and Reference Library**, v. 1, Mobile, Editor Elevator World Educational Division, 1990.
- ELEVATOR WORLD. **The Guide to Elevating**, Mobile, Editor Elevator World Educational Division, 1992.
- ETESSAMI, F. S. & HURA, G. S. Rule Based Design Methodology for Solving Control Problems. **IEEE Transactions on Software Engineering**. v. 17 , n. 3, 1991.
- DAVID, R. & ALLA, H. Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems – A Survey. **Automatica**, v. 30, n.2, p. 175-201, 1994
- FLAX, B. Intelligent Buildings. **IEEE Communications Magazine**. v. 29, n. 4, 1991 p. 24-27.

- FINLEY, M. R.; KARAKURA, A.; NBOGNI, R. Survey of Intelligent Buildings Concepts. **IEEE Communications Magazine**. April, 1991. p. 18-23.
- FUJIE, S.; MIKAMI, Y. Construction Aspectos of Intelligent Buildings. **IEEE Communications Magazine**. April, 1991. p. 50-57
- GOMEZ, L F. **Redes de Petri Reactivas e Hierárquicas - integração de formalismos no projecto de sistemas reactivos de tempo-real**. Lisboa, 1997. 240p. Tesis (Doctorado) - Universidade Nova de Lisboa.
- HAN, C.Y. An OOP Based Intelligent Building Information System in New Methods and Technologies in Planning and Construction of Intelligent Building II. **Proceedings of IB/IC Intelligent Building Congress**. Tel-Aviv, Israel, 1997.
- HASEGAWA, K.; TAKAHASHI, K.; MASUDA, R.; TANGE, K.; SUZUKI, T. Simulation of discrete production systems based on Mark Flow Graph. **Systems Science**, vol 13, n. 1-2, poland, 1987.
- HASEGAWA, K.; TAKAHASHI, K.; MIYAGI, P. E. Application of the Mark Flow Graph to Represent discrete Event Production Systems and System Control. **Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers**. v.24, n.1, p.67-75, 1988.
- HASEGAWA, K.; MIYAGI, P. E.; TAKAHASHI, K. Mark Flow Graph (MFG) para modelamento e controle de sistemas de eventos discretos. **Monografias em Automação e Inteligência Artificial**. PMC/PEL/EPUSP, São Paulo. V. 1, n. 1, p.1-10. 1989.
- HASEGAWA, K. Modeling, Control and Deadlock Avoidance of FMS, In: Conferências Plenárias, XI CBA, São Paulo, SBA, 1996, p.37-51.
- HO, Y. Discrete Event Dynamic Systems. Analyzing Complexity and Performance in the Modern World, **IEEE Control Systems Society**, Sponsor New York, 1991.
- INDUSTRIAS VILLARES S.A. **Manual de Transporte Vertical em Edifícios**. Departamento Técnico, 17 ed., São Paulo, Ed. Pini, 1994.
- KAGOHARA, M. Y. **Aplicação da Metodologia PFS/MFG a Sistemas de Produção Enxuta (Lean Manufacturing Systems)**. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- KRONER, W. M. An intelligent and responsive architecture; In: **Automation in Construction**, p. 381-393, vol. 6 n.5 September 1997.
- LIU, W. **Aplicação da Metodologia MFG/PFS no Desenvolvimento de Sistema de Informação de Industrias de Manufatura**. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MAEDA, S. **Intelligent Buildings: a key solution for the 21st century office**. Stanford, 1993. 185p. Tese (doutorado) –Stanford University.
- MARTE, C. L. **Estudo e Análise das Unidades Funcionais Remotas no Controle Distribuído em Processo de Automação Predial**. São Paulo, 1994. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MATSUSAKI, C. **Redes F-MFG (Functional Mark Flow Graph) e sua Aplicação no Projeto de Sistemas Antropocentricos**. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- MEHTA, P., CLARK, G., PROWSE, R. Intelligent Integrated Buildings Management Systems. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS. **Proceedings**. Tel-Aviv, 1995 p.9-18.
- MINISTÉRIO DE SAÚDE (Secretaria de Assistência à saúde. Departamento de norma técnicas). **Normas para projectos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde**. Brasilia, Serie saúde & tecnologia, p. 86 - 132. 1995
- MIYAGI, E. P., GUSTIN, G., SANTOS Fo, D., MARUYAMA, N. Modelagem do sistema de elevadores no contexto de edifícios inteligentes através de redes de Petri interpretadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA (XV COBEM), **Anais**. Aguas de Lindóia, SP., novembro 1999. p.
- MIYAGI, E. P., GUSTIN, G., ARAKAKI, J., VILLANI, E., MIYAGI, M., KISIL, M.. Integração de Atividades e Serviços em Edifícios Inteligentes – Aplicação da Metodologia PFS/MFG In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XII ENEGEP'98) **Anais**. Rio de Janeiro, RJ., setembro 1998.
- MIYAGI, E. P., GUSTIN, G., ARAKAKI, J., VILLANI, E., MIYAGI, M., KISIL, M.. Aplicação do PFS/MFG na Modelagem de Atividades e Serviços em Edifícios Inteligentes. In: 6º CONGRESSO ANUAL DA SBPN. **Anais**. Ilha Solteira, SP., julho 1998.
- MIYAGI, P. E. **Controle Programável - fundamentos do controle de sistema a eventos discretos**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1996.
- MIYAGI, P. E. **Control System Design, Programming and Implementation for Discrete Event Production System Using Mark Flow** . Tokyo, 1988. Tese (Doutorado) – Tokyo Institute of Technology.
- MURATA, T. Petri nets: properties, analysis and applications. **Proceedings of the IEEE**, v. 77, n. 4, p. 541-580, April, 1989.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION – NFPA. Fire Protection Handbook. Sixteenth edition. Quincy, Massachusetts, 1990.
- PERTUSIER, M.R.O. **Implantação, Operação e Manutenção de Edifícios de Alta Tecnologia. Curso sobre Edifícios Inteligentes**, Resumo Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC. São Paulo, 1993.
- PETERS, RICHARD. A consultant/ Researcher View point. **Elevator World Magazine**. January, 1996.
- PETERSON, J. L. **Petri Net Theory and The Modeling of Systems**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981.
- RAMAGDE, P.J.; WONHAM, W.M. The Control of Discrete Event Systems. **Proceedings of the IEEE**, v.77, n.1, 1989.
- REISIG, W. **Petri Nets an Introduction**. New York, Spring Verlag, 1985.
- RIASCOS, L. **Modelagem do Tratamento de Falhas em Sistemas de Manufatura Através de Rede de Petri**. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ROTH, B. Administración, Gestión, Control y Servicio de Edificios. **Desarrollo Nacional**. v.35, n.9, Noviembre 1998.

- SASAKI, K.; MARKON, S.; MAKAGAWA, M. Elevator Group Supervisory control System Using Neural Networks. **Elevator World Magazine**. January 1996.
- SANTOS Fo, D. **Controle de Sistemas Antropocêntricos de Produção Baseado em Redes de Petri Interpretadas**. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SANTOS Fo, D. **Proposta do Mark Flow Graph estendido para a Modelagem e Controle de Sistemas Integrados de Manufatura**. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SILVA, M.; FERREIRA, D. **Especificação e Desenvolvimento de um controlador E-MFG para Sistema Flexíveis de Produção**. São Paulo, 1998. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SILVA, J. R.; MIYAGI, P. E. A formal Approach to PFS/MFG: A Petri net representation of discrete Manufacturing systems, **Studies in Informatics and Control**, v. 5, n. 2, 1996
- SILVA, M. **Las Redes de Petri: en la Automática y la Informática**. Madrid, Editorial AC, 1985.
- STRAKOSCH, G. R. **Vertical transpotation: elevators and escalators**. 2.ed. New York, John Wiley, 1983.
- SUGISAWA, M. **A Study on Modelling and Deadlock Avoidance for Discrete Production Systems with Shared Resources**. Tokio, 1998. Tese (Doutorado) – Tohin Yokohama University.
- THUMM, G. Elevators and Escalators Withing Intelligent Buildings. New Methods and Technologies in Planning and Construction of Intelligent Building I. **Proceedings of IB/IC Intelligent Buildings Congress**. Ed. A. Lustig. Tel-Aviv, Israel, 1995.
- VALK, R. Self-modifying nets: a natural extension of Petri nets. **Advances en Petri Nets:lecture notes in computer science**, v. 62, p. 464-476, 1978.
- YUAN, C. Towards a General Solution of Systems Automation: A Net Specification of an N-Lift Systems. Arbeitspapiere der GMD 439.Sankt Augustin. March 1990
- ZURUWASKI, R.; ZHOU, M. Petri nets and industrial applications: a tutorial. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 41, n. 6, p. 567-583, December, 1994.

APÊNDICE I

Neste apêndice são apresentados os conceitos básicos referentes a Sistemas a Eventos Discretos (SED), assim como as considerações que os diferenciam dos Sistemas de Variáveis Contínuas (SVC), além de algumas das técnicas existentes para seu tratamento.

SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS – SED

Os Sistemas a Eventos Discretos (SED), são sistemas concebidos e construídos pelo homem (*man made systems*) e cuja dinâmica é dirigida pela ocorrência de eventos discretos a intervalos em geral irregulares e desconhecidos [Ramadge & Wonham, 1989]. Estes sistemas podem ser assíncronos e sequenciais, com características como concorrência, conflito e indeterminismo. Alguns exemplos destes sistemas são: sistemas de manufatura, redes de computadores, sistemas de tráfego, etc. [Cassandras, 90].

Nos SEDs a ocorrência de um evento (por exemplo: “chegada” de um usuário na entrada de um edifício, “início” ou “termino” de uma tarefa, etc.), causa a mudança na configuração interna ou estados do sistema, a qual será mantida até a ocorrência de um novo evento. Estes eventos são por natureza instantâneos (tempo de duração desprezível em relação à duração dos estados) o que lhes confere o caráter discreto. Em contraposição existem os chamados Sistemas a Variáveis Contínuas (SVC) dirigidos pelo tempo, e cuja dinâmica é descrita por variações contínuas (eventos e estados).

O estudo dos SED é relativamente recente em relação ao conhecimento alcançado nos SVC; principalmente se comparado com o paradigma das equações diferenciais usado para o tratamento dos SVC, nota-se que a modelagem matemática dos SED ainda está longe de sua consolidação. [Ho, 1991].

Devido às suas características, os SED não podem ser facilmente descritos utilizando a teoria tradicional de controle realimentado que trata os SVC ou sistemas com variações discretas síncronas, através das equações diferenciais ou equações de diferenças [Ho, 1989]. A “trajetória” (evolução de estados) típica de um SED é apresentada na figura I.1.

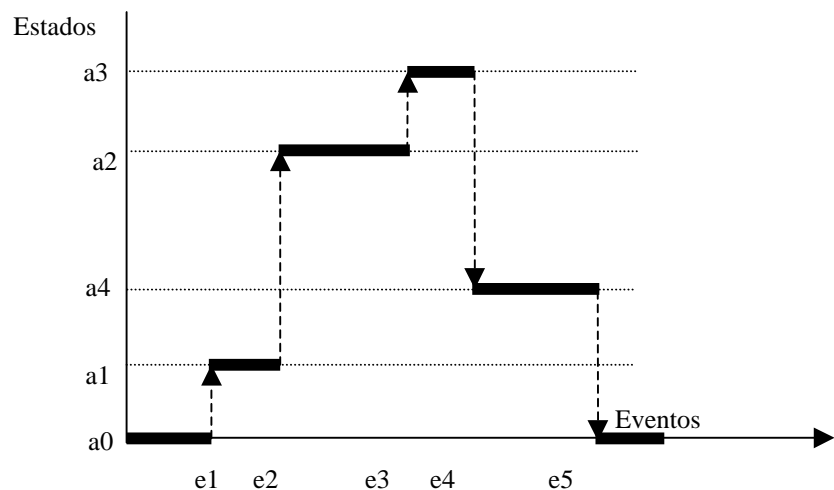


Figura I.1 Exemplo da trajetória de um SED

A figura I.1 apresenta como exemplo a dinâmica de um sistema de acesso a um edifício onde a0 representa o estado inicial, isto é, o estado no qual as portas se encontram antes da ocorrência do primeiro evento. Ao acontecer o evento e1 (ordem para abrir portas) o sistema muda para o estado a1 (porta externa abrindo). Depois de acontecer o evento e2 (porta externa aberta) o sistema ficará no estado a2 (porta interna abrindo) até que o evento e3 (porta interna aberta) ocorra o qual fará o sistema mude para o estado a3 (porta externa fechando). Após a ocorrência de e4 (porta externa fechada) o sistema está no estado a4 (porta interna fechando); mudando para o estado de repouso com a ocorrência de e5 (porta interna fechada).

Em contraste, a figura I.2 apresenta a trajetória de um SVC, por exemplo o sistema de acionamento do atuador para abertura de uma porta a qual é descrita por uma equação diferencial.

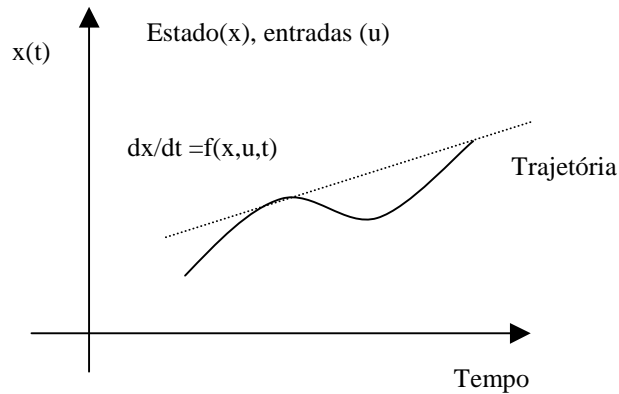


Figura I.2 Exemplo de trajetória de um SVC

A comparação da trajetória de estados de um SED com um SVC evidencia suas diferenças e ressalta o fato que o espaço de estados de um SED é limitado a um conjunto enumerável, enquanto que o espaço de estados de um SVC é contínuo e infinito. Estes sistemas em geral mudam de estado a cada instante, e seu comportamento é descrito por uma função que relaciona o estado (variável dependente) ao tempo (variável independente). Os SEDs por sua parte, podem permanecer um tempo arbitrário em um mesmo estado, sendo que sua trajetória pode ser caracterizada somente por uma seqüência de eventos.

Em geral, pode-se dizer que a teoria dos SEDs tratam com o controle das atividades que um sistema pode realizar, sem preocupar-se diretamente com as leis físicas envolvidas. Por sua vez a teoria dos SVC se relaciona diretamente com as leis físicas dessas atividades.

I.1 MODELOS DE SED

Considerando que os principais objetos de estudo de SEDs são sistemas caracterizados por altos custos e grande complexidade devido à quantidade e necessidade de integração de seus

componentes (hardware, software, seres humanos), é fundamental o emprego de metodologias de projeto e controle que assegurem, o comportamento do sistema de acordo com as especificações lógicas e restrições físico-operacionais.

Várias técnicas têm sido propostas e desenvolvidas para o modelagem de SEDs baseadas nas propriedades que estes sistemas apresentam (reinicialização, sincronização, concorrência, etc.), mas ainda nenhuma delas demonstrou generalização suficiente para ser amplamente adotada para qualquer tipo de sistemas (aplicações práticas). Entre elas estão [Ho, 1989; Cao, 1989; Zhou & Dicesare, 1993]:

- Cadeias de Markov/ Autômatos;
- Teoria de Filas;
- Processos Semi-Markovianos Generalizados (GSMP), incluídos aqui as linguagens de simulação discreta.
- Modelos auxiliados por computador: por exemplo processos recursivamente finitos ou processos seqüenciais de comunicação.
- Redes de Petri (ordinária), Máquina de estados finitos.

Segundo [Ho, 1989] estas teorias para o modelagem de SEDs podem ser classificadas de acordo com diferentes critérios como por exemplo o ilustrado na tabela I.1.

Nesta tabela, classificam-se em:

- Modelos temporizados e não temporizados conforme considerem ou não os instantes de tempo em que ocorrem os eventos.
- Modelos lógicos, algébricos e de análise de desempenho: segundo sejam orientados ao uso de asserções lógicas, operações algébricas ou formulação probabilística respectivamente.

Tabela I.1 Classificação dos modelos de SEDs

	TEMPORIZADOS	NÃO TEMPORIZADOS
LÓGICOS	Lógica temporal: autômatos temporizados	Redes de Petri (ordinária)
	Redes temporizadas: RP temporizadas	Máquinas de estado finito
ALGÉBRICOS	Álgebra min-max	Processos recursivamente finitos
		Processos sequenciais.
ANÁLISE DE DESEMPENHO	Cadeias de Markov	} Estocásticos
	Teoria de Filas	
	GSMP/Simulação	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAO, X. R. A comparison of the dynamics of continuous and discrete event systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 77, n. 1, p. 7-13, January, 1989.
- CASSANDRAS, C. G.; RAMADGE, P. J. Toward a control theory for discrete event systems. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 10, n. 4, p. 66-68, June, 1990
- HESS, R. A. A qualitative model of human interaction with complex dynamic system. **IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics**, v. SMC-17, n. 1, p. 33-51, January/February, 1987.
- HO, Y. Discrete Event Dynamic Systems. Analyzing Complexity and Performance in the Modern World, **IEEE Control Systems Society**, Sponsor New York, 1991.
- HO, Y. C.; CAO, X. R. Models of discrete event dynamics systems. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 10, n. 4, p. 69-76, June, 1990.
- HO, Y. C. Scanning the issue, dynamics of discrete event systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 77, n. 1, p. 3-6, January, 1989.
- RAMADGE, P.J.; WONHAM, W.M. The Control of Discrete Event Systems. **Proceedings of the IEEE**, v.77, n.1, 1989.
- ZHOU M; DICESARE, F. **Petri Nets Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems**. Kluwer A. Pub., 1993.

APÊNDICE II

Este apêndice trata das Redes de Petri, sua formalização, conceitos básicos, propriedades mais importantes e algumas das suas extensões.

REDES DE PETRI

O conceito de Redes de Petri (RP) foi introduzido por Carl Adam Petri em sua tese de doutorado (1962), como ferramenta para descrever relações entre condições e eventos. Embora ocorresse uma ampla divulgação acadêmica ao longo de três décadas, o seu potencial só foi reconhecido na metade da década dos oitenta, onde esta teoria foi usada para implementações práticas nas áreas de informática e manufatura devido à disponibilidade de novos recursos de “*hardware e software*”.

As Redes de Petri são uma ferramenta matemática e gráfica que oferece um ambiente uniforme para modelar, analisar e projetar sistemas a eventos discretos [Zurawki & Zhou, 1994].

A representação gráfica de uma estrutura de RP [Peterson, 1981; Murata, 1989] consiste de elementos conectados por segmentos orientados de ligação chamados arcos. Existem dois tipos de elementos, *lugares* (P) representados por círculos e *transições* (T) representadas por barras. Os arcos, são representados por setas, e conectam de forma alternada *lugares* a *transições* e vice-versa (representam uma relação de fluxo). Uma RP é um multigrafo, já que permite múltiplos arcos de um elemento do grafo até outro. É bipartido, já que os elementos do grafo são particionados em dois conjuntos (*lugares* e *transições*) e os arcos conectam, elementos de diferentes conjuntos. É direcionado, já que os arcos são orientados. O número de *lugares* e *transições* é finito e não nulo.

II.1 ESTRUTURA DE UMA REDE DE PETRI

Uma estrutura de rede de Petri pode ser definida formalmente como uma quádrupla (P, T, I, O) onde:

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ é o conjunto de *lugares* da rede, onde $m \in \mathbf{N}$ é o número total de *lugares* da rede.
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ é o conjunto de *transições*, $n \in \mathbf{N}$ é o número de *transições* da rede.
- $I : (P, T)$ é a função que define os arcos de entrada em relação às *transições*. Se $I(p_j, t_i) = k$, existem $k \in \mathbf{N}$ arcos orientados do *lugar* p_j para a *transição* t_i , e quando $I(p_j, t_i) = 0$, não existe arco orientado do *lugar* p_j para a *transição* t_i .
- $O : (T, P)$ é a função que define os arcos de saída em relação às *transições*.

Na representação gráfica a existência de múltiplos arcos conectando *lugares* e *transições*, pode ser realizada de forma compacta por um único arco rotulado com seu peso ou multiplicidade k (vide figura II.1)

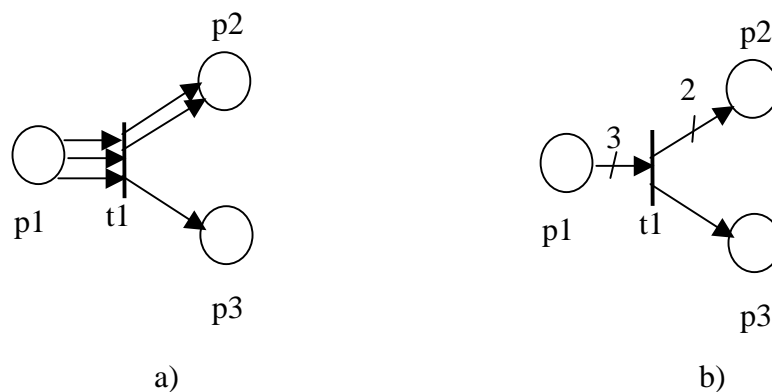


Figura II.1 a) Arcos múltiplos. b) Representação compacta.

II.2 MARCAÇÃO DE UMA REDE DE PETRI

Uma RP com marcas em seus *lugares* é chamada de Rede de Petri Marcada $RP = (P, T, I, O, M_0)$, onde M_0 é a marcação inicial. Graficamente estas marcas são

modeladas por pontos pretos no interior dos *lugares* Uma distribuição particular das marcas nos *lugares* da rede representa um estado do sistema.

$M = (M(p_1), M(p_2), \dots, M(p_m))$ onde $m \in \mathbf{N}$ é o número total de *lugares*. $M(p_i)$ é o número de marcas do *lugar* p_i ($M(p_i) \in \mathbf{N}$).

A evolução da marcação (de acordo com regras de disparo de *transições*) simula o comportamento dinâmico do sistema.

O disparo de uma *transição* na RP corresponde a ocorrência de um evento que altera o estado do sistema, isto é, altera a marcação atual (M_i) para uma nova marcação (M_{i+1}).

Uma *transição* ($t_i \in T$) fica habilitada para disparar se e somente se cada *lugar* de entrada p_j (tal que $I(p_j, t_i) > 0$) contém pelo menos um número de marcas igual ao peso do arco (p_j, t_i) , ou seja: $M(p_j) \geq I(p_j, t_i)$ para qualquer *lugar* $p_j \in P$.

O disparo de uma *transição* t_i habilitada remove de cada *lugar* de entrada p_j um número de marcas igual ao peso do arco $I(p_j, t_i)$ que conecta p_j a t_i . Depositando, também, em cada *lugar* de saída p_q um número de marcas igual ao peso do arco $O(t_i, p_q)$ que conecta t_i a p_q . A figura II.2 ilustra a alteração da marcação após o disparo de uma *transição*.

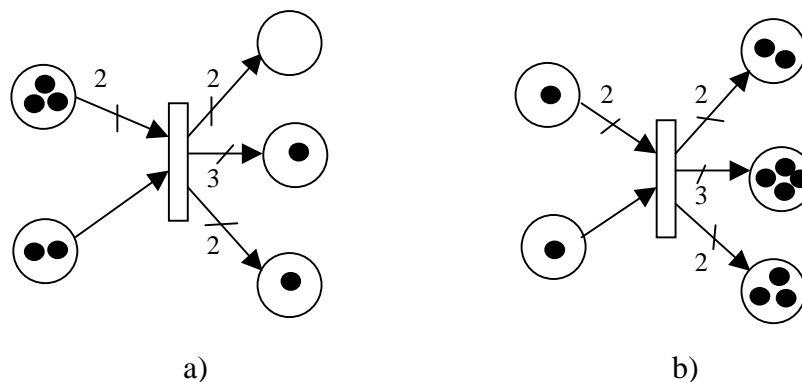


Figura II.2 a) *Transição* habilitada. b) Marcação após o disparo.

Um exemplo da representação gráfica de uma rede de Petri é dada pela figura II.3.

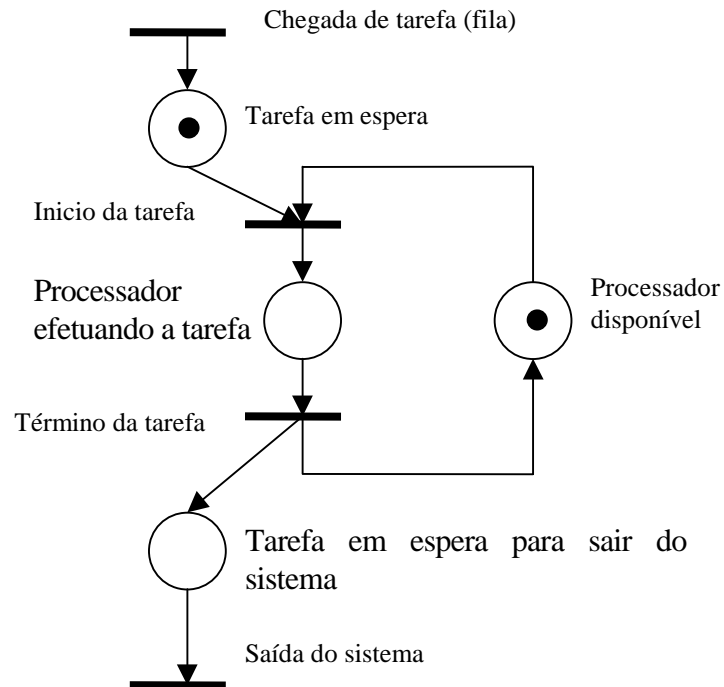


Figura II.3 Modelo simples de um sistema computacional

Na figura II.3 é apresentado o modelo simples de um sistema computacional. Na marcação inicial, pode-se observar que uma tarefa se encontra em espera, e o processador está disponível o qual habilita a *transição* início de tarefa. Assim ao aplicar a regra de disparo para este modelo permite-se observar seu comportamento dinâmico.

II. 3 PROPRIEDADES DAS REDES DE PETRI

As redes de Petri possuem algumas propriedades que são úteis para a análise estrutural e comportamental do sistema em estudo. As principais propriedades destas redes são:

CONSISTÊNCIA: existe uma marcação inicial M_0 e uma seqüência de disparos σ de tal forma que partindo-se de M_0 retorna-se novamente a M_0 onde todas as *transições* ocorrem pelo menos uma vez em σ [Murata, 1989].

CONSERVATIVIDADE: para qualquer marcação M da rede, a soma das marcas é constante.

LIMITABILIDADE: corresponde à verificação se uma rede é limitada ou não, para o número de marcas, à partir de uma dada marcação inicial.

SEGURANÇA: esta propriedade é uma especificação da propriedade anterior. Neste caso, uma rede é dita segura quando ela é 1-limitado, isto é o número de marcas contidas em qualquer *lugar* é sempre 0 ou 1.

VIVACIDADE: indica se uma rede é viva ou não, é dizer, se para uma dada marcação inicial, existe para cada *transição*, uma seqüência legal de disparos que leva a uma marcação no qual aquela *transição* seja habilitada. Esta propriedade é importante para a verificação da existência do estado de *deadlock* no sistema.

REVERSIBILIDADE: Uma rede de Petri é dita reversível, se a partir de uma marcação qualquer (estado qualquer) ela pode retornar à marcação inicial (estado inicial do sistema).

II. 4 MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DE UMA REDE DE PETRI

Uma vantagem de aplicar RP ao estudo de sistemas a eventos discretos é a sua capacidade de formalização matemática para verificação das propriedades de um sistema modelado. A verificação destas propriedades é implementada através de 4 métodos [Zurawski, 94a]:

1. GERAÇÃO DA ÁRVORE E GRAFO DE ALCANÇABILIDADE [Murata, 1989]: este método envolve a enumeração de todas as marcações possíveis ou alcançáveis a partir da

marcação inicial M_0 , a qual é a raiz da árvore, cada nó representa uma marcação alcançável e cada arco representa o disparo de uma *transição*. A figura II. 4 apresenta uma Redes de Petri e sua árvore de alcançabilidade.

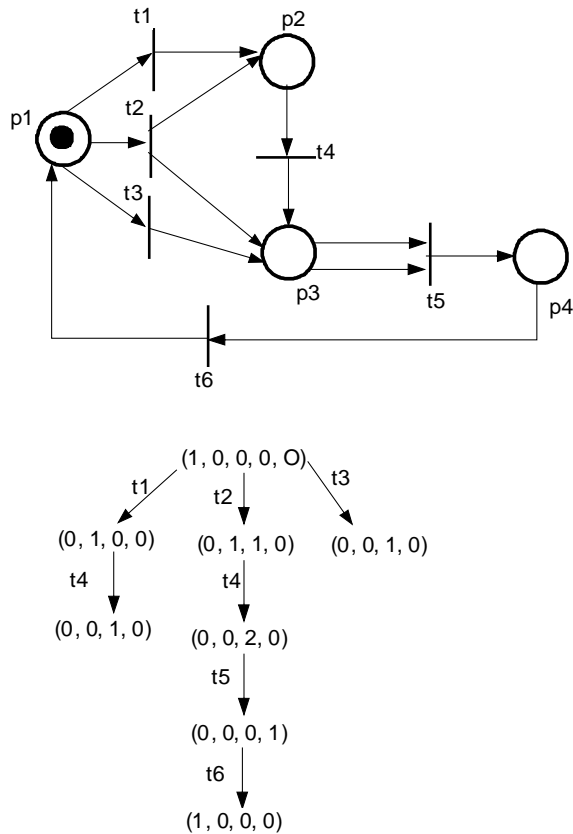


Figura II.4 Exemplo de rede de Petri e seu respectivo árvore de alcançabilidade.

Um grande número de propriedades procedurais podem ser estudadas utilizando este método, entretanto, por ser um método exaustivo, torna-se pouco efetivo para a análise de redes com um número considerável de *lugares* e *transições*.

2. ANÁLISE DA EQUAÇÃO DE ESTADO [Zurawski, 1994a]. Para este método, o comportamento dos sistemas em estudo, pode ser representado através de equações algébricas.

Nesta abordagem uma matriz de incidência que indica as conexões entre *lugares* e *transições* é utilizada para representar a estrutura do sistema que caracteriza o

comportamento dinâmico da rede. A equação de estado representa uma alteração na distribuição das marcas como resultado do disparo de uma *transição*. A equação é definida da seguinte forma:

$$M_k = M_{k-1} + A^T u_k \quad (\text{II.1})$$

Onde:

- M_k é um vetor coluna ($m \times 1$) que representa a marcação imediatamente alcançável a partir de M_{k-1} após o disparo da *transição* t_i .
- u_k é um vetor ($n \times 1$) com grandeza de 1 na posição i que representa o disparo da *transição* t_i e zero nas outras posições.
- A é a matriz de incidência ($n \times m$) definida por $A = O(P,T) - I(P,T)$

A matriz de incidência de uma rede de Petri de n *transições* e m *lugares*, corresponde a uma matriz de $n \times m$ de números inteiros. Cada elemento desta matriz, representa a forma que os *lugares* estão conectados com a *transição*, ou seja, ela representa as conexões entre *lugares* e *transições* em uma rede de Petri. As colunas correspondem aos *lugares* e as linhas às *transições*, desta maneira, o número negativo indica que é um *lugar* de entrada, o positivo indica que é um *lugar* de saída e zero indica que não há relação entre o *lugar* e a *transição* correspondente.

Portanto, a matriz de incidência correspondente ao exemplo apresentado na figura II.4 é:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & +1 \\ +1 & +1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & +1 & +1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & -1 \end{bmatrix}$$

Desta maneira, para obter-se o estado $[0 \ 1 \ 0 \ 0]^T$ a partir da marcação inicial $[1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ tem-se a seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & +1 \\ +1 & +1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & +1 & +1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Onde o 1 no vetor de disparos indica que a *transição* foi disparada para alcançar o estado desejado.

Entretanto, a solução destas equações é muitas vezes limitada por causa da natureza não determinística inerente aos modelos de redes de Petri.

Para o estudo das propriedades estruturais 2 conceitos relacionados à matriz de incidência são especialmente úteis, os T-invariantes e P-invariantes [Murata, 89].

3. SIMULAÇÃO. Esta técnica é usada quando o sistema é relativamente complexo e intratável utilizando métodos analíticos. Também é efetiva no estágio final do projeto para propósitos de verificação. A maior parte das análises por simulação são realizadas para estudos de desempenho.

No entanto, a simulação só pode assegurar resultados para os estados simulados. Assim, para garantir uma generalização, é necessário considerar uma estratégia de simulação/teste que evite a necessidade de simular praticamente todos os estados que resultaria no problema da capacidade de computação e da alcançabilidade que seria, inviável em modelos complexos.

4. TÉCNICAS DE REDUÇÃO: Este método consiste na redução de um modelo complexo num modelo mais simples e tratável, porém sem perder as propriedades. A técnica de

transformar modelos abstratos em modelos mais refinados (refinamentos sucessivos) de maneira hierárquica, pode ser utilizado para a síntese das redes.

II. 5 CLASSES DE REDES DE PETRI

As abordagens respeito de redes de Petri encontradas na literatura podem ser organizadas em três classes fundamentais:

- Redes de Petri básicas ou ordinárias;
- Reduções de redes de Petri ordinárias;
- Extensões das redes de Petri ordinárias;

II.5.1 REDES DE PETRI ORDINÁRIAS

Conceitualmente uma rede de Petri ordinária é um grafo bipartido no qual *lugares* de capacidade ilimitada e *transições* alternam-se conectados por arcos orientados de peso unitário, formando a estrutura da rede [Peterson, 1981; Murata, 1989, Reisig, 1985]. Esta classe de rede permite visualizar o comportamento de um SED através de um modelo simples que pode envolver paralelismo, sincronismo, etc. A partir de esta classe de redes tem sido realizadas as extensões a esta técnica.

II. 5. 2 REDUÇÕES DE REDES DE PETRI

As reduções são descrições simplificadas que procuram sintetizar a apresentação gráfica dos modelos. Entre estas estão:

- Redes de Petri generalizadas: correspondem a uma extensão das redes de Petri ordinárias em que há a possibilidade de atribuir pesos aos arcos [Silva, 1985]. São adequadas para

representar um nível mais alto de abstração em que se considera o sistema dividido em blocos funcionais e suas principais relações.

- Redes de Petri de capacidade finita (limitadas): são denominadas também *lugar/transição* e correspondem a uma extensão das redes de Petri generalizadas em que se introduz capacidades associadas aos *lugares* (valores inteiros positivos) [David & Alla, 1994]. Esta rede permite modelar entidades físicas que possuem capacidade limitada, como dispositivos de armazenamento temporário, etc.
- Redes de Petri coloridas: são adequadas para condensar a descrição e análise de sistemas compostos por diversos subsistemas de estrutura e comportamento semelhantes, capazes de trabalharem em paralelo [Jensen, 1990]. A rede de Petri colorida tenta manter uma representação compacta em casos nos quais deve ser especificado o fluxo de diversos itens na mesma seqüência de processos. Assim, estes itens (ou elementos) não são mais representados por marcas de um mesmo tipo. Ao contrário, cada elemento no modelo deve ser representado por um tipo específico de marca (marcas individualizadas por uma variável que as identifica). Da mesma forma, pode-se definir arcos com inscrições fixas, onde se estabelece que um tipo de marca pode “fluir por um arco” somente se esta marca corresponde ao tipo indicado na inscrição do arco. O fato de diversos arcos que entram e saem de uma *transição* terem inscrições, indica por onde as marcas fluirão. Assim o disparo de uma *transição* elimina e acrescenta marcas, conforme uma rede de Petri ordinária, com a ressalva de que obedece às dependências funcionais estabelecidas entre as cores de marcas e as cores de disparo da *transição* em questão.

II.5.3 EXTENSÕES DE REDES DE PETRI

O número crescente de aplicações em redes de Petri e as limitações das redes de Petri ordinárias para modelar sistemas complexos motivou à aparição de uma série de extensões a seu conceito, de acordo com as necessidades de cada tipo de aplicação.

As extensões das redes Petri ordinárias fazem referência a modelos que incorporam regras adicionais de funcionalidade para aumentar seu poder de modelagem. São consideradas três subclasses [David & Alla, 1994]:

- Modelos equivalentes a máquinas de Turing: correspondem às redes de Petri com arcos inibidores e as redes de Petri com prioridade.
- Modelos para sistemas contínuos e híbridos: correspondem às redes de Petri contínuas e as redes de Petri híbridas.
- Modelos de sistemas que evoluem em função da ocorrência de eventos externos ou do tempo: correspondem às redes de Petri sincronizadas, redes de temporizadas e redes de Petri estocásticas.

Uma outra forma de classificar as redes de Petri é em função de sua aplicação prática. Assim tem-se as redes de Petri interpretadas.

II.5.4 REDES DE PETRI INTERPRETADAS

Estas são estruturas específicas baseadas em redes de Petri que se destacam em virtude da sua aplicação prática. Estas redes são definidas para a modelagem de controladores lógicos e se constituem em ferramentas efetivas para aplicações em automação industrial. A estas redes são associadas elementos que representam condições e ações existentes no sistema e

podem indicar o estado de atuadores, sensores, etc., permitindo assim, modelar a interação com o ambiente externo [Cardoso & Valette, 1997].

Algumas redes de Petri interpretadas derivadas das extensões de redes de Petri são apresentadas na tabela II.1:

Tabela II.1 Exemplo de redes de Petri interpretadas

Teoria de Redes de Petri	Redes de Petri Interpretadas
Rede canal – agencia	PFS
Rede condição - evento	MFG, Grafecet
Rede <i>lugar - transição</i>	F-MFG, C-net
Rede colorida	E-MFG, ϕ net
Rede predicado/ <i>transição</i>	

Entre estas se destacam:

- MFG (Mark Flow Graph)

A seguir são apresentadas as definições formais do MFG e da dinâmica das marcações.

DESCRIÇÃO MATEMÁTICA

O MFG é um grafo bipartido direcionado, representado por uma sêxtupla:

$$\text{MFG} = (\mathbf{B}, \mathbf{T}, \mathbf{A}, \mathbf{G}_I, \mathbf{G}_O, \mathbf{S})$$

Onde:

$\mathbf{B} = \{\mathbf{B}_1, \dots, \mathbf{B}_i\}$ com $(i \geq 1)$ é um conjunto de *boxes*;

$\mathbf{T} = \{\mathbf{T}_1, \dots, \mathbf{T}_j\}$ com $(j \geq 1)$ é um conjunto de *transições*;

$\mathbf{A} = \mathbf{A}_I \cup \mathbf{A}_O$ é um conjunto de *arcos orientados* onde,

$\mathbf{A}_I = \{ A_{I1}, \dots, A_{Ik} \}$ com $(k \geq 0)$ é um conjunto de arcos de entrada para *transições*, e

$\mathbf{A}_O = \{ A_{O1}, \dots, A_{Ol} \}$ com $(l \geq 0)$ é um conjunto de *arcos de saída* de *transições*;

$\mathbf{G}_I = \{ G_{I1}, \dots, G_{Im} \}$ com $(m \geq 0)$ é um conjunto de *portas internas*;

$\mathbf{G}_E = \{ G_{E1}, \dots, G_{En} \}$ com $(n \geq 0)$ é um conjunto de *portas externas*; e

$\mathbf{S} = \{ S_1, \dots, S_p \}$ com $(p \geq 0)$ é um conjunto de *arcos de sinais de saída*.

Além disso, assumindo que $C(x)$ seja uma relação de conexão (y,z) do arco x que sai do nó y e vai para o nó z ; e que todo o conjunto $\{(u_i, v_j)\}$ com $i = 1, \dots, m$ e $j = 1, \dots, n$ de pares ordenados (u_i, v_j) seja obtido através do produto escalar $\mathbf{U} \times \mathbf{V}$ do conjunto $\mathbf{U} = \{u_i\}$ com $i = 1, \dots, m$ com o conjunto $\mathbf{V} = \{v_j\}$ com $j = 1, \dots, n$, se tem:

$$\mathbf{A}'_I = \{C(A_{Iq}) \mid q = 1, \dots, k\} \subseteq \mathbf{B} \times \mathbf{T}$$

$$\mathbf{A}'_O = \{C(A_{Or}) \mid r = 1, \dots, l\} \subseteq \mathbf{T} \times \mathbf{B}$$

$$\mathbf{G}'_I = \{C(G_{Iu}) \mid u = 1, \dots, m\} \subseteq \mathbf{B} \times \mathbf{T}$$

$$\mathbf{G}'_E = \{C(G_{Ev}) \mid v = 1, \dots, n\} \subseteq \mathbf{D} \times \mathbf{T}$$

$$\mathbf{S}' = \{C(S_w) \mid w = 1, \dots, p\} \subseteq \mathbf{B} \times \mathbf{M}$$

Onde \mathbf{D} é um conjunto das fontes de sinais externos e, \mathbf{M} é um conjunto dos dispositivos externos. Enquanto os elementos de \mathbf{A}_I , \mathbf{A}_O , \mathbf{G}_I , \mathbf{G}_E , \mathbf{S} significam apenas os arcos propriamente ditos, os elementos de \mathbf{A}'_I , \mathbf{A}'_O , \mathbf{G}'_I , \mathbf{G}'_E , \mathbf{S}' são pares ordenados que representam as relações de conexões de entrada e saída dos arcos.

Neste caso, para $\mathbf{X} = \{(a,b)\}$, temos $\mathbf{X}^{-1} = \{(b,a)\}$ e, baseado nas estruturas dos arcos descritas anteriormente, se tem:

$$\mathbf{A}'_I \mid \mathbf{A}'^{-1}_O, = \mathbf{A}'_I \mid \mathbf{G}'_I = \mathbf{A}'^{-1}_O \mid \mathbf{G}'_I = \emptyset$$

A marcação μ é uma função $\mu: \mathbf{B} \longrightarrow \{0,1\}$, e a marcação inicial é indicada por μ_0 .

DISPARO DA TRANSIÇÃO E DINÂMICA DA MARCAÇÃO

- Adotando b_i como uma variável lógica que indica a existência ou não de *marca* no *box*

B_i , isto é:

$b_i = 0$ quando não existe *marca* em B_i , e

$b_i = 1$ quando existe *marca* em B_i .

- Adotando t_j como uma variável lógica que indica se a *transição* T_j está ou não habilitada para disparo, isto é:

$t_j = 0$ quando T_j , não está habilitada, e

$t_j = 1$ quando T_j está habilitada.

- Adotando g_i como a variável lógica que representa um sinal através da porta G_i .

- Supondo que uma certa *transição* T_j possui M *boxes* no lado de entrada e N *boxes* no lado de saída conectados através de *arcos orientados*, além de Q *portas habilitadoras internas*, R *portas inibidoras internas*, U *portas habilitadoras externas* e V *portas inibidoras externas* (vide figura II 5)

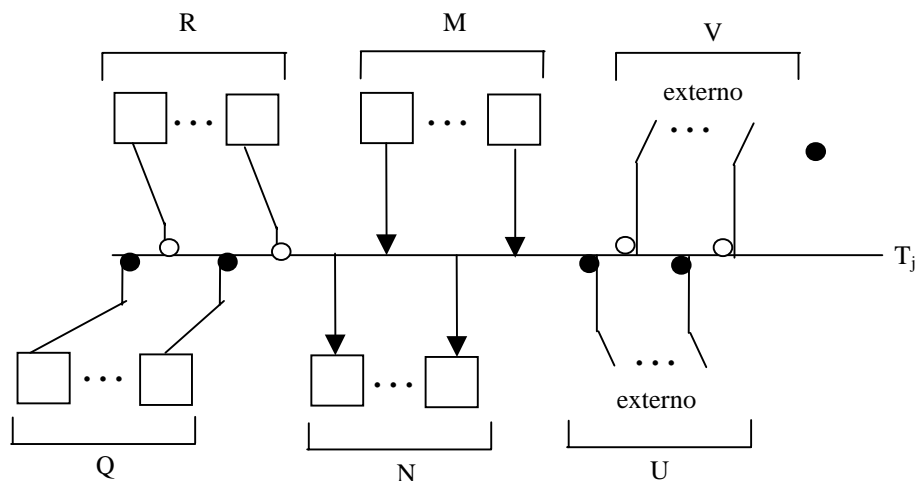


Figura II-5 Transição com os arcos e portas

- E que para a *transição* T_j :

b_{jm}^I (com $m = 1 \dots M$) é a variável do *box* de entrada,

b_{jn}^O (com $n = 1 \dots N$) é a variável do *box* de saída,

g_{jq}^{IP} (com $q = 1 \dots Q$) é a variável do *senal da porta habilitadora interna*,

g_{jr}^{II} (com $r = 1 \dots R$) é a variável do *senal da porta inibidora interna*,

g_{ju}^{EP} (com $u = 1 \dots U$) é a variável do *senal da porta habilitadora externa*,

g_{jv}^{EI} (com $v = 1 \dots V$) é a variável do *senal da porta inibidora externa*,

k é o número da seqüência temporal,

\wedge é o AND lógico das variáveis lógicas,

\vee é o OR lógico das variáveis lógicas,

$$\bigcap_{i=1}^m a_i = a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_m \qquad \bigcup_{i=1}^m a_i = a_1 \vee a_2 \vee \dots \vee a_m$$

então, a equação da condição de habilitação de disparo e a equação do disparo são definidas por:

$$t_j(k) = \bigcap_{m=1}^M b_{jm}^I(k) \wedge \bigcap_{n=1}^N \overline{b_{jn}^O(k)} \wedge \bigcap_{q=1}^Q g_{jq}^{IP}(k) \wedge \bigcap_{r=1}^R \overline{g_{jr}^{II}(k)} \quad (\text{II.2})$$

$$g_j^E(k) = \bigcap_{u=1}^U g_{ju}^{EP}(k) \wedge \bigcap_{v=1}^V \overline{b_{jv}^{EI}(k)} \quad (\text{II.3})$$

As equações para eliminar ou gerar marcas através de disparos são definidas por:

$$\begin{cases} b_{jm}^I(k+1) = b_{jm}^I(k) \wedge \overline{[t_j(k) \wedge g_j^E(k)]} & \text{com } m = 1, \dots, M \\ b_{jn}^O(k+1) = b_{jn}^O(k) \vee [t_j(k) \wedge g_j^E(k)] & \text{com } n = 1, \dots, N \end{cases} \quad (\text{II.4})$$

Desta forma, se é considerada apenas a contribuição dos *boxes* de entrada e saída para a condição de habilitação de disparo da *transição*, se tem através da equação II.2 a seguinte relação:

$$t'_j(k) = \bigcap_{m=1}^M b_{jm}^I(k) \wedge \bigcap_{n=1}^N \overline{b_{jn}^O(k)} \quad (\text{II.5})$$

As descrições acima foram baseadas em equações lógicas mas, o MFG também pode ser descrito através de matrizes.

- GRAFCET, proposto na França em 1977 como uma interpretação de RP para programação de autômatos como um método de representação padronizada da estrutura de controle para controladores programáveis [Murata, 86].
- C-NET, uma aplicação desta interpretação de RP foi descrita em [Murata, 86]. Esta rede é definida por $CN = \{P, T, I, O, \delta, \varphi, \eta, U, V, M_0\}$, onde:

P = conjunto finito de *lugares* da rede.

T = conjunto finito de *transições*

I = função que define os arcos de entrada em relação às *transições*.

O = função que define os arcos de saída em relação às *transições*.

M_0 = marcação inicial.

$\delta(p_i) = x_i$ é o sinal de controle produzido pela chegada de uma marca no *lugar* p_i e que executará uma ação no equipamento especificado.

$\varphi(p_i) = \{y_{i1}, \dots, y_{ik}\}$ é o sinal de resposta indicando que a ação foi finalizada, k é o número de tipos de sinais dependendo da ação executada.

$\eta(t_i) = y_{iq}$, é o sinal utilizado para habilitar uma atividade ou *transição* (t_i), usualmente 0/1.

$$U = \begin{cases} 0 & \text{se for detectado } x_i \in \delta \\ \theta_k & \text{se for detectado } y_{ik} \in \varphi \end{cases}$$

$$V = \begin{cases} 0 & \text{se } t_i \text{ não estiver habilitada} \\ 1 & \text{se } t_i \text{ estiver habilitada.} \end{cases}$$

Graficamente, estes novos elementos podem ser representados conforme ilustrado na figura II.6.

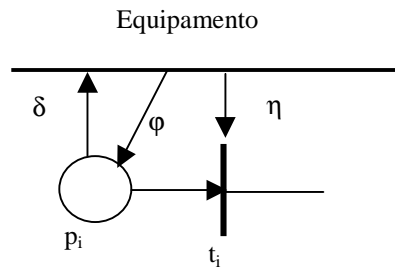


Figura. II.6 Representação dos elementos de uma C-net.

Esta C-NET foi instalada num microcomputador com seu respectivo editor/monitor, tabelas de controle e interfaces, formando uma estação controladora (SCR) utilizada em aplicações específicas ou pode ser auxiliada por uma linguagem baseada em regras (por exemplo IF-THEM, do tipo Pascal ou C++) para projetar controladores de propósito geral para sistemas de manufatura, assim reduziu-se o número de horas-homens necessárias para projetar o “*software*” de controle e as horas-homens necessárias para manutenção. Controladores baseados neste tipo de representação foram produzidos comercialmente pela HITACHI CO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARDOSO, J.; VALETTE, R. **Redes de Petri**; Florianópolis, Editora da UFSC, 1997.
- DAVID, R. & ALLA, H. Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems – A Survey. **Automatica**, v. 30, n.2, p. 175-201, 1994
- JENSEN, K. **Coloured Petri Nets: A High Level Language for System Design and Analysis**. Advances in Petri Nets 1990. Lecture Notes In Computer Science. Vol. 483. Berlin, Springer-Verlag. 1990.
- MURATA, T.; KODOMA, N.; MATSUMOTO, K.; HARUNA, K. A Petri net-based controller for flexible and maintainable sequence control and its applications in factory automation. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. IE-33, n. 1, p. 1-8, February, 1986.
- MURATA, T. Petri nets: properties, analysis and applications. **Proceedings of the IEEE**, v. 77, n. 4, p. 541-580, April, 1989.
- PETERSON, J. L. **Petri Net Theory and The Modeling of Systems**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981.
- REISIG, W. **Petri Nets an Introduction**. New York, Spring Verlag, 1985.
- SILVA, M. **Las Redes de Petri: en la Automática y la Informática**. Madrid, Editorial AC, 1985.
- ZHOU, M.; DICESARE, F. **Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems**. Kluwer Academic, Boston, 1993.
- ZURUWASKI, R.; ZHOU, M. Petri nets and industrial applications: a tutorial. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 41, n. 6, p. 567-583, December, 1994.