

GLADYS DEIFAN BASTIDAS GUSTIN

**MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS E
ABERTOS PARA AUTOMAÇÃO PREDIAL**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia.

São Paulo
2005

GLADYS DEIFAN BASTIDAS GUSTIN

**MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS E
ABERTOS PARA AUTOMAÇÃO PREDIAL**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia de Controle e Automação
Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo
2005

Ao meu esposo Pablo, pelo amor,
carinho, compreensão, ajuda e apoio em
todo momento.

Aos meus pais Gilberto e Nery e aos
meus irmãos Mauricio, Ronal, Jairo e
Sergio por estar sempre comigo dandó-
me seu amor e apoio.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão sem limites:

A Deus, o Menino Jesús e a Nossa Senhora.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi, pela orientação, diretrizes, incentivo, confiança, paciência e oportunidade que me concedeu para o desenvolvimento desta pesquisa e por todo o apoio e a colaboração prestada durante estes anos.

Ao Prof. Dr. Diolino Dos Santos Filho, pela colaboração, apoio, sugestões e diretrizes levantadas ao longo do período de pesquisa.

Ao Dr. Cláudio Luiz Marte, pelas valiosas sugestões e diretrizes levantadas no exame de qualificação.

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 todos os meus amigos que estão e que tem passado pela sala MC – 1, pois com sua ajuda, sugestões, discussões, carinho e estímulo tornaram possível este trabalho.

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

Agradeço em especial ao Pablo e ao Jairo, que estiveram 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.

RESUMO

O crescimento na demanda de sistemas prediais eficientes tem contribuído para a consolidação do conceito de edifício inteligente, no qual procura-se a integração entre seus diferentes sistemas através da incorporação de novas tecnologias de modo a maximizar a produtividade dos seus ocupantes e minimizar os custos envolvidos. Entretanto, do ponto de vista prático existem ainda dificuldades para atingir plenamente estes objetivos. Neste contexto, propõe-se uma abordagem para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial que permita a integração efetiva dos sistemas prediais em edifícios inteligentes. Em função da base técnica já desenvolvida e, do potencial de modelagem da orientação a objetos e de modelagem e análise da rede de Petri, o trabalho é baseado na aplicação de técnicas derivadas destas técnicas dentro do Padrão de Processamento Distribuído e Aberto (Open Distributed Processing–ODP). A abordagem proposta é validada através da sua aplicação em um exemplo de aplicação em um prédio hospitalar.

Palavras chaves: Edifícios inteligentes, Sistemas Distribuídos e Abertos, Modelagem de Sistemas, Análise de Sistemas, Redes de Petri, ODP, UML.

ABSTRACT

The increasing demand of more efficient buildings systems has caused a growth in the complexity of the design as well as in the management of building automation. In this context and considering that open distributed systems could provide solution for many users problems related to aspects like flexibility, investment preservation, connectivity and interoperability with other systems, this paper introduce an open distributed systems approach for building automation. This approach is bases on the synergetic association among ODP (Open Distributed Processing), UML (Unified Modelling Language) and Petri nets

Key Words: Intelligent Buildings, Open Distributed Systems, Modeling of system, Analyze of Systems, Petri Nets, ODP and UML.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE ABREVIATURAS
LISTAS DE SÍMBOLOS

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Justificativa e Motivações.....	1
1.2.	Objetivo.....	5
1.3.	Organização do Texto.....	6
2.	EDIFÍCIOS INTELIGENTES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS E ABERTOS... 8	8
2.1.	Edifícios Inteligentes.....	8
2.1.1.	Definição.....	9
2.1.2.	Características.....	11
2.1.3.	Sistemas em um Edifício Inteligente.....	12
2.1.4.	Integração de Sistemas em Edifícios Inteligentes.....	13
2.2.	Sistemas Distribuídos.....	21
2.3.	Sistemas Abertos.....	22
2.3.1.	Sistema de Controle de Arquitetura Aberta.....	24
2.4.	Sistemas Distribuídos e Abertos.....	25
2.5.	Open Distributed Processing (ODP).....	26
2.5.1.	Estrutura da Normalização do ODP.....	28
2.5.2.	Pontos de Vista.....	29
2.5.3.	Transparências e Funções.....	38
2.5.4.	Notação do ODP.....	38
2.6.3.	RELAÇÃO ENTRE UML e ODP.....	39
2.7.	Considerações do Capítulo.....	40
3.	MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS E ABERTOS. 42	42
3.1.	Escolha do formalismo.....	42
3.2.	Rede de Petri Modular Colorida baseada em Objetos (RPMCO).....	46
3.2.1.	ODP e RPMCO.....	50
3.2.2.	Características da RPMCO.....	51
3.2.3.	Estrutura de um módulo em RPMCO.....	52
3.2.4.	Definição de RPMCO.....	53
3.2.5.	Análise da RPMCO.....	54
3.3.	Considerações do Capítulo.....	68
4.	PROCEDIMENTO PARA A MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS 70	70
	DISTRIBUÍDOS E ABERTOS PARA AUTOMAÇÃO PREDIAL.....	
4.1.	Procedimento de modelagem e análise.....	72
4.1.1.	Etapa 1: Caracterização do edifício.....	72
4.1.2.	Etapa 2: Modelagem do domínio do sistema predial.....	76
4.1.3.	Etapa 3: Modelagem dos Relacionamentos do Sistema predial.....	80
4.1.4.	Etapa 4: Modelagem dinâmica do Sistema Predial.....	84
4.1.5.	Etapa 5: Análise dos modelos.....	86
4.2.	Considerações do Capítulo.....	89
5.	EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	90
5.1.	Prédio dos Ambulatórios – PAMB.....	91
5.1.1.	Aplicação do Procedimento Proposto ao PAMB.....	93
5.2.	Considerações do Capítulo.....	172
6.	CONCLUSÃO.....	173
	ANEXO A.....	176

7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	188
	APENDICE I.....	I

LISTA DE FIGURAS

Fig. 3.1	Representação gráfica de uma classe em RPMCO.....	54
Fig 4.1	Procedimento para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial.....	73
Fig 4.2	Seqüência de aplicação do procedimento proposto.....	74
Fig 4.3	Processo de abstração/ refinamento no procedimento proposto.....	75
Fig 4.4	Detalhamento da etapa “Modelagem do domínio do sistema predial”.....	77
Fig 4.5	Metamodelo dos casos de uso do sistema predial.....	80
Fig 4.6	Detalhamento da etapa “Modelagem dos relacionamentos do sistema predial”	81
Fig 4.7	Decomposição da descrição de um sistema em parte operativa e parte de controle.....	82
Fig 4.8	Metamodelo das classes que compõem um sistema predial.....	83
Fig 4.9	Detalhamento da etapa “Análise dos modelos.....	86
Fig 5.1	Localização do PAMB no Complexo Hospitalar das Clínicas.....	92
Fig 5.2	Planta ilustrativa do prédio dos ambulatórios (PAMB).....	97
Fig 5.3	Diagrama do ponto de vista empresa – Domínios identificados no PAMB (Interação entre os objetos do ponto de vista empresa	103
Fig 5.4	Diagrama de casos de uso do SAC.....	107
Fig 5.5	Diagrama de casos de uso do SCA.....	109
Fig 5.6	Diagrama de casos de uso do SGE.....	111
Fig 5.7	Diagrama de casos de uso do SI.....	113
Fig 5.8	Diagrama de casos de uso do SDCI.....	115
Fig 5.9	Diagrama de casos de uso do SE.....	117
Fig 5.10	Modelo do fluxo de atividades dos casos de uso ‘Resfriar’, ‘Aquecer’ e ‘ventilar’.....	118
Fig 5.11	Modelo do fluxo de atividades dos casos de uso ‘Executar procedimento em caso de zonas utilizadas’.....	119
Fig 5.12	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executa procedimento em caso de zonas não utilizadas’.....	119
Fig 5.13	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executar procedimento em caso de incêndio’..	120
Fig 5.14	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executa procedimento em caso de falta de energia’.....	120
Fig 5.15	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executa procedimento em caso de consumo/demanda não permitida’.....	121
Fig 5.16	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Monitora operação’.....	121
Fig 5.17	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Determina preferências’.....	121
Fig 5.18	Descrição das classes do SAC.....	122
Fig 5.19	Diagrama de classes do SAC.....	123
Fig 5.20	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘autoriza ou rejeita acesso’.....	124
Fig 5.21	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Comunica alarme a central’.....	124
Fig 5.22	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Detecta presença’.....	125
Fig 5.23	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executar procedimento em caso de incêndio’..	125
Fig 5.24	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Monitora operação’.....	126
Fig 5.25	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Determina preferências’.....	126
Fig 5.26	Descrição das classes do SCA.....	127
Fig 5.27	Diagrama de classes do SCA.....	127
Fig 5.28	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘controla consumo/demanda de energia’.....	128
Fig 5.29	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Gerencia grupo de geradores’.....	129
Fig 5.30	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executar procedimento em caso de incêndio’..	129
Fig 5.31	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Monitora operação’.....	130
Fig 5.32	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Determina preferências’.....	130
Fig 5.33	Descrição das classes do SGE.....	131
Fig 5.34	Diagrama de classes do SGE.....	131
Fig 5.35	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘fornece iluminação artificial’.....	132
Fig 5.36	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executa procedimento em caso de falta de energia’.....	132
Fig 5.37	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executa procedimento em caso de consumo/demanda não	133

	permitida'.....	133
Fig 5.38	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Monitora operação'.....	133
Fig 5.39	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'.....	133
Fig 5.40	Descrição das classes do SI.....	134
Fig 5.41	Diagrama de classes do SI.....	134
Fig 5.42	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'comunica detecção de incêndio'.....	135
Fig 5.43	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'detecta e controla incêndio'.....	136
Fig 5.44	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Monitora operação'.....	136
Fig 5.45	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'.....	137
Fig 5.46	Descrição das classes do sistema de detecção e combate a incêndio.....	138
Fig 5.47	Diagrama de classes do SDCI.....	138
Fig 5.48	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'atende chamada'.....	139
Fig 5.49	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executar procedimento em caso de incêndio'..	140
Fig 5.50	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de falta de energia'.....	140
Fig 5.51	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de consumo/demanda não permitida'.....	141
Fig 5.52	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Monitora operação'.....	141
Fig 5.53	Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'	141
Fig 5.54	Descrição das classes do SE.....	142
Fig 5.55	Diagrama de classes do SE.....	142
Fig 5.56	Modelo em RPMCO da classe ventilador de retorno.....	145
Fig 5.57	Modelo em RPMCO da classe caixa de mistura.....	145
Fig 5.58	Modelo em RPMCO da classe válvula da serpentina.....	146
Fig 5.59	Modelo em RPMCO da classe torre de resfriamento.....	146
Fig 5.60	Modelo em RPMCO da classe <i>Chiller</i>	147
Fig 5.61	Modelo em RPMCO da classe Bomba de resfriamento.....	147
Fig 5.62	Modelo em RPMCO da classe sensor de temperatura.....	148
Fig 5.63	Modelo em RPMCO da classe base de dados.....	148
Fig 5.64	Modelo em RPMCO da classe Controlador.....	149
Fig 5.65	Modelo em RPMCO da classe alarme.....	151
Fig 5.66	Modelo em RPMCO da classe indicador luminoso.....	151
Fig 5.67	Modelo em RPMCO da fechadura eletrônica.....	152
Fig 5.68	Modelo em RPMCO da classe detector de presença.....	152
Fig 5.69	Modelo em RPMCO da classe controlador.....	153
Fig 5.70	Modelo em RPMCO da classe gerador.....	154
Fig 5.71	Modelo em RPMCO da classe controlador.....	155
Fig 5.72	Modelo em RPMCO da lâmpada.....	157
Fig 5.73	Modelo em RPMCO da classe controlador.....	157
Fig 5.74	Modelo em RPMCO da classe sensor de fumaça.....	159
Fig 5.75	Modelo em RPMCO da classe <i>sprinkler</i>	160
Fig 5.76	Modelo em RPMCO da classe controlador.....	161
Fig 5.77	Modelo em RPMCO da classe sensor de fumaça.....	163
Fig 5.78	Modelo em RPMCO da classe controle de elevador individual.....	164
Fig 5.79	Modelo em RPMCO da classe controlador.....	165
Fig 5.80	Modelo do sensor de temperatura em <i>CPN Tools</i>	167
Fig A.1	Exemplo de um modelo em redes de Petri com a identificação de seus elementos.....	179
Fig A.2	a) Arcos múltiplos. b) Representação compacta.....	180
Fig A.3	a) TRANSIÇÃO habilitada. b) MARCAÇÃO após o disparo.....	181
Fig A.4	Modelo em RP de um sistema computacional.....	181

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Classificação das funções de um edifício inteligente.....	11
Tabela 3.1	Propriedades dos multisets.....	55
Tabela 5.1	Pavimentos funcionais do PAMB.....	96
Tabela 5.2	Algumas informações do sistema de elevadores do PAMB.....	101
Tabela 5.3	Andares servidos e paradas dos elevadores do PAMB.....	101
Tabela 5.4	Dispositivos pertencentes aos diversos sistemas prediais.....	169

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCI	Associação Brasileira da Construção Industrializada
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BACNET	<i>Building Automation and Control Network</i>
BAS	<i>Building Automation System</i>
BCU	<i>Bus Coupling Unit</i>
BISDN	<i>Broadbands Integrated Services Digital Network</i>
BMS	<i>Building Management Systems</i>
CA	<i>Collision Avoidance</i>
CAB	<i>Canadian Automated Building Protocol</i>
CAL	<i>Common Application Language</i>
CD	<i>Collision Detection</i>
CEBus	<i>Consumer Electronic Bus</i>
CIB	<i>Computer Integrated Building</i>
CMS	<i>Communication Management System</i>
CO	<i>Cooperative Objects</i>
COM	<i>Component Object Model</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i>
CPD	Central de Processamento de Dados
CR	<i>Customization Rules</i>
CSMA	<i>Carrier Sense Multiple Access</i>
DCE	<i>Distributed Computing Environment</i>
DCOM	<i>Distributed Component Object Model</i>
DDC	<i>Direct Digital Control</i>
DP	<i>Distributed Peripherals</i>
EIA	<i>Electronics Industry Association</i>

EIB	<i>European Installation Bus</i>
EIBA	<i>European Installation Bus Association</i>
EIBG	<i>European Intelligent Building Group</i>
EMS	<i>Energy Management Control System</i>
FMS	<i>FieldBus Message Specification</i>
FMUSP	Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
FND	<i>Firm-Neutral Data Transmission</i>
HC	Hospital das Clinicas
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
HOOD	<i>Hierarchical Object Oriented Design</i>
IBI	<i>Intelligent Building Institute</i>
IBSC	<i>Intelligent Building Study Committee</i>
ICHC	Instituto Central do Hospital das Clínicas
ICS	<i>Integrated Communication Systems</i>
IDL	<i>Interface Definition Language</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ISO	<i>International Standard Organization</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
LON	<i>Local Operating Network</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MS	<i>Master-Slave</i>
NEST	<i>Novell Embedded Systems Technology</i>
OBM	<i>Object Behaviour Model</i>
OCN	<i>Object Coordination Net</i>
ODP	<i>Open Distributed Processing</i>
OMG	<i>Object Management Group</i>
OMT	<i>Object Modeling Technique</i>
OO	<i>Object Oriented</i>
OOD	<i>Object Oriented Design</i>
OOPN	<i>Object-Oriented Petri Net</i>

OOSE	<i>Object-Oriented Software Engineering</i>
OPN	<i>Object Petri Nets</i>
ORB	<i>Object Request Broker</i>
OSF	<i>Open Software Foundation</i>
OSGI	<i>Open Services Gateway Initiative</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PA	<i>Process Automation</i>
PAMB	Prédio dos Ambulatórios
PLC	<i>Programmable Logic Control</i>
PN-TOX	<i>Petri Net Tool for Object Concurrency specification</i>
PROFIBus	<i>PROcess FIeld Bus</i>
RMI	Remote Method Invocation
RP	Redes de Petri (PN - <i>Petri Nets</i>)
RPMCO	Rede de Petri Modular Colorida baseada em Objetos
SAA	Sistema Aberto de Automação
SAC	Sistema de Ar Condicionado
SCA	Sistema de Controle de Acesso
SDA	Sistemas Distribuídos e Abertos
SDCI	Sistema de Detecção e Combate a Incêndio
SDL	<i>Specification and Description Language</i>
SE	Sistema de Elevadores
SED	Sistemas a Eventos Discretos
SGE	Sistema de Gerenciamento do Energia
SI	Sistema de Iluminação
SIMCON	<i>Simple Integrated Model for Complex Object Networks</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
THORNS	<i>Timed Hierarchical Object-Related Nets</i>
TP	<i>Token-Passing</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Reception Transmition</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UpnP	<i>Universal Plug & Play</i>
USP	Universidade de São Paulo

VAV Vazão Variável de Ar
XML *eXtensible Markup Language*

LISTA DE SÍMBOLOS

Redes de Petri

T	Transição $t_1 \dots t_n \rightarrow$ conjunto de transições.
P	Lugar $p_1 \dots p_m \rightarrow$ conjunto de lugares.
I	Função que define os arcos de entrada em relação às transições (p_1 para t_1)
k	$k \in \mathbb{N}$, $n \in \mathbb{N}$, $m \in \mathbb{N}$
O	Função que define os arcos de saída em relação às transições
M	Marcação.
M_0	Marcação inicial.
$M(p_i)$	Marcação do lugar p_i o número do lugar p_i
R	Conjunto de alcançabilidade.
N	Rede marcada.
C	Matriz de incidência ($n \times m$)
f	Vetor de lugares
s	Vetor característico.
m_x	Vetor coluna que representa a marcação imediatamente alcançável a partir de m_{k-1}
U_k	Vetor que representa o disparo da transição t_1

Redes de Petri Modular Colorida baseada em Objetos

Λ	Conjunto finito e não vazio de cores (tipos)
T	Transição $t_1 \dots t_n \rightarrow$ conjunto de transições.
P	Lugar $p_1 \dots p_m \rightarrow$ conjunto de lugares.
A	Numero finito de arcos.
UC	Unidade Comportamental
Ident	Identificador da rede
IM	Interface do Módulo
L	Função nó
W	Função de cores.
m, m_i	Multi-set.
S	Conjunto não vazio.

s	Elemento de S
m(s)	Numero de vezes que aparece o elemento s no multi-set m.
S_{MS}	Conjunto de todos os multi-sets sobre S
W(p)	Conjunto de cores.
G	Função guarda.
E	Função expressa no arco.
$C(p(a))_{MS}$	Expressão que produz um multi-set no conjunto de cores anexado ao lugar.
J	Função de inicializacao.
Pr	Prioridade
MT	Conjunto finito e não vazio de métodos
	MT _u : métodos utilizados
	MT _o : métodos oferecidos.
me	Método.
Rest	Restrições.
At	Atributos
Var(t)	Conjunto de variáveis de t.
E(x ₁ , x ₂)	Chamado de expressão (x ₁ , x ₂)
b	Função vinculo.
B(t)	Conjunto de todos os vínculos.
TE	Conjunto de todas as marcas.
BE	Conjunto de todos os elementos vinculados.
Y	Etapa

1. INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÕES

O desenvolvimento de sistemas prediais¹ tem avançado na medida em que os recursos tecnológicos têm correspondido às exigências do homem por maior confiabilidade, conforto, produtividade e segurança nas suas edificações. Este desenvolvimento tem contribuído para o surgimento do conceito de edifício inteligente no qual se procura maximizar a produtividade dos seus ocupantes e minimizar os custos envolvidos através da integração de seus sistemas e a incorporação de novas tecnologias (Abramsom, 1995).

Neste contexto, a diversificação e evolução dos serviços oferecidos e demandados em um edifício, a difusão e popularização das tecnologias mecatrônicas (incluindo dispositivos de tele-operação e monitoração remota) e de informação e, a necessidade de maior flexibilidade e versatilidade da infraestrutura predial, envolvem novos paradigmas para a concepção deste tipo de edifícios (Wang, Xie, 2002). Estes novos paradigmas passam a incorporar até mesmo fatores comportamentais que promovem a produtividade nas tarefas que se realizam em seu interior (Takiuchi et al., 2004); (Abramsom, 1995).

Considerando estes fatores observa-se que novas metodologias estão sendo desenvolvidas no sentido de considerar peculiaridades relacionadas às funcionalidades que se desejam associar a cada um dos sistemas que compõem o

¹ Neste trabalho o termo 'sistemas prediais' é utilizado para referenciar apenas os sistemas prediais automatizáveis.

edifício inteligente. De acordo com estas abordagens, o comportamento e a interação dos usuários de um determinado edifício devem ser considerados e devidamente estudados para atender às suas necessidades e incrementar sua produtividade neste ambiente (Wong et al., 2005); (Wang; Xie, 2002); (Finley et al., 1991).

Estes edifícios devem assim, ser projetados de forma que possam considerar adequadamente as necessidades dos usuários e absorver novas tecnologias, isto é, sua concepção deve considerar novas técnicas de modelagem, planejamento, construção, manutenção, gestão e atualização. Estas considerações visam incrementar sua capacidade de adaptar-se aos requerimentos que a futura sociedade exigirá, procurando mantê-los 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 (sistemas mecânicos e eletro-eletrônicos integrados por computador) e de informação, que o capacitem para a prestação de serviços avançados com elevado grau de autonomia. Estes edifícios devem permitir além do controle automatizado, a monitoração e manutenção dos diferentes sistemas 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 (Wong et al., 2005); (Roth, 1997).

O interesse por este tipo de edifício 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 50 a 80% dos custos totais do edifício (Salsbury, 2005); (Han, 1997). Em poucos anos é possível justificar uma despesa em automação predial que poderia girar em torno de 3,5% a 5% do total do empreendimento com retorno garantido resultante da redução dos custos de operação e manutenção (Pertusier, 1993). Em geral, a instalação de sistemas prediais, além de trazer potenciais vantagens operacionais e de segurança ao edifício, corresponde a um item importante do ponto de vista econômico, contribuindo de forma significativa na diminuição de despesas e garantido o retorno do investimento (Saramago, 2002). Estudos indicam também que

a produtividade dos profissionais alocados em edifícios com maiores graus de automação pode melhorar de 9% a 10% (ABCI, 1993). Neste contexto, pode-se afirmar que a automação predial representa uma evolução tecnológica que pode gerar otimização operacional e benefício financeiro.

No projeto de edifícios inteligentes a disposição física, os acabamentos, revestimentos, distribuição de energia, comunicações e os diversos sistemas prediais (como por exemplo, sistema de iluminação, sistema de elevadores, sistema de ar condicionado, etc.) são, do ponto de vista de sua operação e gestão, os elementos mais importantes, no entanto, somente uma efetiva integração² entre eles define a eficiência destes edifícios.

Assim, é fundamental que o projeto especifique uma construção funcional, que procure a integração entre os diferentes sistemas e a incorporação efetiva de novas tecnologias de modo a maximizar a produtividade dos ocupantes, otimizar a utilização de recursos, promover a conservação de energia, facilitar o gerenciamento e operação das instalações e minimizar o custo (Wong et al., 2005); (Fu; Shih, 2000); (Arkin; Paciuk, 1995); (Becker, 1995).

Neste sentido, os avanços em sistemas prediais específicos têm sido significativos nas últimas três décadas devido principalmente à introdução de novos sistemas de controle. Entretanto só alguns avanços têm se verificado na integração dos sistemas prediais. Esta integração, segundo diversos autores (Wong et al., 2005); (Fu; Shih, 2000); (Arkin; Paciuk, 1995); (Clark et al, 1995); (Flax, 1991) e (Fujie; Mikami, 1991), é uma necessidade para a operação efetiva de um edifício inteligente, pois é da interação entre as partes, que funcionalidades associadas a segurança, conforto dos ocupantes, confiabilidade e robustez do controle dos sistemas podem ser de fato implementadas reduzindo globalmente os custos de operação. Assim, é evidente que o projeto de edifícios inteligentes e especificamente o de seus sistemas prediais necessita de abordagens de modelagem e análise, que visem sua efetiva integração. Dentro desta perspectiva e, considerando que a integração entre os diversos sistemas de um edifício inteligente é fundamental para o suporte das

² Integração entendida como o processo de conectar física e logicamente sistemas e dispositivos em uma arquitetura comum de maneira que possam compartilhar e intercambiar informação (Wong et al., 2005).

atividades dos usuários, deve-se estudar também meios e procedimentos para a sua implementação (Clark et al., 1995).

Os métodos atualmente disponíveis para abordar os edifícios inteligentes carecem de uma visão global deste e não cobrem satisfatoriamente a integração dos sistemas prediais. No entanto, alguns métodos têm sido aplicados com relativo sucesso, quando enfocados para requerimentos de integração em situações específicas, como em caso de emergência ou monitoração remota. De qualquer modo, não existe um procedimento claro para se especificar e estruturar um sistema integrado de automação predial.

Evidencia-se, assim a necessidade de desenvolver estudos mais aprofundados sobre a integração dos sistemas prediais nos edifícios inteligentes e sua especificação, em particular no que se refere à identificação da interoperabilidade entre eles. Especificamente é necessária uma abordagem, na qual se considere o edifício como um todo e onde as atividades concernentes a cada sistema sejam devidamente planejadas e facilmente integradas minimizando o esforço para estruturar e interfacear os sistemas envolvidos.

Os problemas que envolvem a integração de sistemas têm sido evidenciados em vários setores tecnológicos. Para tratar estas dificuldades têm sido concebidos os sistemas abertos, cujo objetivo é permitir a integração e interoperabilidade de sistemas e equipamentos de diferentes características e fornecedores.

Segundo Tanomaru e Martucci (1994), um sistema de automação com características de sistema abertos pode atender as mais diversas exigências dos usuários, como flexibilidade, preservação do capital investido, interoperabilidade e conectividade com outros sistemas. Algumas características destes sistemas são: apresentar uma arquitetura flexível tanto de hardware como de software (sistemas padronizados facilitam sua adição e atualização), possibilitar a implantação de técnicas avançadas de controle e de monitoramento, permitir o desenvolvimento de hardware e software por terceiros e permitir a integração com um sistema de planejamento (Schofield, 1995).

Além disso, segundo Wang e Xie, (2002) a utilização de arquiteturas distribuídas de automação permitem um controle local efetivo, confiável e rápido.

Assim, e com base nos pontos levantados sobre a integração de sistemas prediais em edifícios inteligentes, o trabalho procura explorar o conceito dos chamados sistemas distribuídos e abertos que incluem as características mais importantes deste dois tipos de sistemas. Para isto propõe-se a utilização de uma abordagem que permita modelá-los e analisá-los de acordo com os requisitos de integração que se requer neste tipo de sistemas visando contribuir na sua especificação.

Neste sentido, e considerando que o *Open Distributed Processing* (ODP) além de ser um modelo de referência é a base de um *framework* para descrever e especificar sistemas distribuídos e abertos, o presente trabalho considera sua aplicação em edifícios inteligentes. A utilização do ODP é efetivada através de uma linguagem orientada a objetos, o que permite o tratamento de sistemas complexos e heterogêneos e a estruturação do processo de modelagem. A linguagem considerada adequada para esta finalidade é a *Unified Modeling Language* (UML) por representar diferentes perspectivas de um mesmo sistema e por ser um padrão de fato. No entanto a UML não conta com um método formal totalmente aceito para analisar os modelos gerados. Neste contexto, e levando em conta que a rede de Petri é uma técnica formal e gráfica para a modelagem e análise de sistemas a eventos discretos –entre os quais podem consideram-se os sistemas prediais e ainda de comprovada efetividade quando usada para a modelagem destes (Bastidas Gustin, 2000); (Villani, 2000); (Gomes, 1997)- ela é considerada como o formalismo base neste trabalho.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é propor uma abordagem para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial.

A abordagem considerada para este propósito baseia-se no modelo de referência ODP, no uso do conceito de orientação a objetos e na teoria dos sistemas a eventos discretos, através da aplicação de técnicas derivadas da rede de Petri .

Dentro do objetivo apresentado, o presente trabalho envolve as seguintes metas:

- Comprovar que uma abordagem baseada no ODP e auxiliada, na modelagem pela orientação a objetos e na análise pela rede de Petri, é efetiva no tratamento dos sistemas distribuídos e abertos no domínio da automação predial e especificamente nos edifícios inteligentes contribuindo para a integração de seus sistemas.
- Propor um formalismo para suporte à modelagem de sistemas distribuídos e abertos para automação predial, no qual se considere os conceitos e pontos de vista do ODP, a orientação a objetos e as redes de Petri.
- Introduzir um procedimento de modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial baseado no formalismo proposto. Este procedimento considera as características e requerimentos dos sistemas prediais e do prédio do qual fazem parte e gera um conjunto de modelos baseados nos diagramas da UML, de maneira a estruturar o processo e definir o modelo dinâmico e para análise através da rede de Petri
- Demonstrar a utilidade e vantagem da abordagem proposta através de exemplos de aplicação em um prédio hospitalar.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

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

Capítulo 1 - *Introdução*: Neste capítulo apresenta-se a justificativa, as motivações e o objetivo para o desenvolvimento deste trabalho, bem como a organização do texto.

Capítulo 2 - *Edifícios Inteligentes e Sistemas Distribuídos e Abertos*: Este capítulo apresenta as definições propostas para edifício inteligente, assim como as suas funções e características, ressaltando o papel da integração entre seus diversos sistemas prediais.

Em seguida são apresentados os conceitos relevantes em relação aos sistemas distribuídos e abertos assim como as principais definições consideradas dentro do ODP.

Capítulo 3 - *Modelagem e Análise de Sistemas Distribuídos e Abertos*: Neste capítulo é apresentado o formalismo proposto para suporte à modelagem de sistemas distribuídos e abertos, no qual se consideram os conceitos do ODP, a orientação a objetos e o uso da Rede de Petri para a análise dos modelos gerados

Capítulo 4 - *Procedimento para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial*: Este capítulo apresenta uma sistematização do procedimento de modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial e que visa a integração dos sistemas presentes neste tipo de aplicação. Este procedimento baseia-se no formalismo proposto no capítulo 3.

Capítulo 5 - *Exemplo de aplicação*: Neste capítulo é apresentado o exemplo de aplicação em um prédio hospitalar para ilustrar a utilidade e vantagens da abordagem proposta.

Capítulo 6 - *Conclusão*: O capítulo apresenta a conclusão do trabalho, e as sugestões de novos tópicos a serem pesquisados em futuros trabalhos.

Anexo A: apresenta os conceitos básicos de rede de Petri.

Apêndice I: Trabalhos publicados

2. EDIFÍCIOS INTELIGENTES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS E ABERTOS

Neste capítulo apresentam-se os conceitos básicos que estão envolvidos no presente trabalho. Assim, inicialmente trata-se os edifícios inteligentes, suas definições, suas características e os aspectos mais relevantes a serem considerados quando da integração entre seus diferentes sistemas prediais. Em seguida, são abordados os sistemas abertos e distribuídos, sua definição e as características que permitem que estes possam ser adotados na integração de sistemas prediais. Finalmente tratam-se os conceitos sobre o modelo de referência ODP, proposto pela ISO e a ITU para o desenvolvimento de sistemas distribuídos e abertos e as características da linguagem orientada a objetos usada para expressá-lo.

2.1 EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Cada vez mais, novas tecnologias são desenvolvidas e disponibilizadas para os locais de trabalho, lazer e residência. Assim, mudanças conceituais na arquitetura de construções civis, projeto das instalações e na própria utilização das edificações estão transformando estes ambientes, constituindo-se em um tema de estudo amplo e multi-disciplinar.

Neste contexto, os edifícios inteligentes representam um produto que é o resultado da fusão de vários campos envolvidos no projeto, construção e operação de

edifícios, alguns dos quais haviam sido considerados, no passado, como essencialmente distintos e sem interseção como: a arquitetura interior e exterior, as tecnologias da computação e de telecomunicações, a ergonomia, os fatores humanos, os processos construtivos e as tecnologias de suporte e operação de edifícios em geral (isto é, aquecimento, ventilação e ar condicionado, segurança predial, transporte e outras tecnologias envolvidas como: construção civil, mecânica, elétrica e mecatrônica) (Han, 1997).

2.1.1 DEFINIÇÃO

Atualmente não existe uma definição precisa do que pode-se denominar como edifício inteligente. 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 (Wong et al., 2005).

A “inteligência do edifício” tem sido objeto de diferentes interpretações em termos mundiais, isto é, nos Estados Unidos a característica mais importante dos edifícios inteligentes é a inter-conexão dos sistemas de serviços para o benefício dos ocupantes. Na Europa, um edifício inteligente deve tratar efetivamente 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 propostas procurando obter uma definição única para este conceito, as quais acabaram sempre limitadas ao campo de atuação de quem as definiu, ou ainda do interesse específico de algum caso prático.

Entre as várias definições que têm sido apresentadas destacam-se as seguintes (Wigginton; Harris, 2002):

- 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” (Wigginton; Harris, 2002); (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: (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 (So et al., 2001); (Maeda, 1993).

Em geral, todas 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 da sociedade atual de maior eficiência, produtividade e segurança, à globalização, à diversificação e evolução dos serviços oferecidos e disponibilizados em um edifício, à difusão e popularização das tecnologias mecatrônicas e da informação e a necessidade de maior flexibilidade e versatilidade dos recursos. Neste contexto, estes aspectos têm-se convertido em um novo paradigma para a concepção, o projeto e a operação destes edifícios (Wang; Xie, 2002); (Abramsom, 1995).

2.1.2 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.

Atualmente, nos projetos de novos edifícios estes objetivos procuram ser atendidos 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 por exemplo em:

- Sistemas
- Serviços
- Gestão

As descrições destas funções são apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 Classificação das funções de um 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.

2.1.3 SISTEMAS EM UM EDIFÍCIO INTELIGENTE

De acordo com Wang; Xie (2002) e Flax (1991) um edifício inteligente é composto pela integração de uma grande quantidade e variedade de sistemas prediais dos quais os mais relevantes são a seguir listados:

- Sistema de iluminação;
- Sistema de elevadores;
- Sistema de ar condicionado e ventilação (*Heating, Ventilating and Air Conditioning – HVAC*);
- Sistema de controle de acesso;
- Sistemas de detecção e combate a incêndio;
- Sistemas de Gerenciamento de Energia (*EMS – Energy Management Control System*);

De acordo com o tipo de gerenciamento que executam, uma possível forma de agrupar os sistemas prediais é (Saramago, 2002):

SISTEMAS PARA GESTÃO DA SEGURANÇA FÍSICA E PATRIMONIAL: inclui os sistemas que preservam a segurança dos usuários do edifício, assim como o seu patrimônio. Aqui estão o sistema de controle de acesso, sistema de circuito fechado de televisão e o sistema de detecção e combate a incêndios.

SISTEMAS PARA GESTÃO DE CONTROLE AMBIENTAL: dentro deste grupo consideram-se os sistemas que mantêm um meio ambiente com conforto térmico, lumínico, acústico, visual, olfativo e espacial. Entre eles estão o sistema de ar condicionado e ventilação, o sistema de fornecimento de água e o sistema de iluminação.

SISTEMAS PARA GESTÃO DE ENERGIA: Abrange a distribuição e utilização da energia elétrica (controle de demanda e conservação de energia).

SISTEMAS PARA GESTÃO DE COMUNICAÇÕES: estão incluídos dentro deste grupo os sistemas que permitem o acesso às facilidades internas e externas de telecomunicação.

Em geral, a classificação dos sistemas não é rigorosa pois estes podem servir a várias funções.

2.1.4 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS EM EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Embora um edifício possa ser projetado ergonomicamente e com a incorporação de computadores e sistemas de telecomunicação, este ainda não é realmente um edifício inteligente, a menos que o mesmo ofereça a integração das facilidades e serviços necessária para atingir as suas metas (Wang; Xie, 2002).

A integração dos sistemas em um edifício inteligente torna-se uma característica indispensável para poder satisfazer os seus objetivos e oferecer melhor segurança, conforto, confiabilidade, robustez do controle dos sistemas e diminuição dos custos nas operações (Clark et al., 1995). Esta integração permite que todos os sistemas atuem cooperativamente e como um único sistema.

A integração de sistemas em edifícios inteligentes requer uma administração de complexidades que envolve a necessidade do conhecimento de cada processo e do efeito da automação no desempenho global, assim como a melhor escolha entre as inúmeras técnicas de controle e otimização disponíveis.

Segundo Azegami; Fujiyoshi (1993), a melhor integração entre os vários sistemas de um edifício inteligente é aquela realizada através da convergência do processamento da informação e das tecnologias mecatrônicas e de telecomunicações.

Em Fu et al. (2000), 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 deve-se atender às necessidades atuais e futuras dos usuários, sem obsolescência antes de se obter o retorno do investimento (Wang; Xie, 2002). O grupo de serviços de valor agregado adicional, requer estudos cuidadosos de análise e implementação. Os sistemas considerados 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 (Fu et al., 2000).

Existem neste contexto, 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 (Wang; Xie, 2002); (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, 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, 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 o de ar condicionado para gerenciar políticas globais mais econômicas (Wang; Xie, 2002).

Abordagens mais recentes consideram técnicas de inteligência distribuída, onde são usados microprocessadores nos controladores locais conectados em rede, permitindo que um maior número de parâmetros possam ser monitoradas e mais funções possam ser realizadas a menor custo. Estes controladores são conhecidos como estações locais e são conectados a um computador central *Building Management System* (BMS). Nesta arquitetura, o BMS implementa as funções de monitoração e controle avançadas (Wang; Xie, 2002).

Algumas outras abordagens consideram uma estrutura hierárquica para o sistema. Uma delas é aquela que contempla dois níveis na estrutura: um nível

superior no qual se encontra o BMS. Sua função é o compartilhamento e processamento de informações em tempo real visando o gerenciamento do edifício como um todo, para a otimização global dos controles que envolvem os requerimentos de conforto, eficiência energética e funcionamento do edifício. E, um segundo nível hierárquico (subordinado ao BMS), onde se encontram os diversos sistemas prediais do edifício; os quais inter-atuam através do BMS (Wang; Xie, 2002); (Thumm, 1995).

Para implementar a integração, existe ainda o problema da comunicação entre os diferentes sistemas. Alguns esforços no sentido desta integração envolvem 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*), as quais combinam funções de telecomunicações e tele-computação em um sistema único que manipula sinais de voz, dados e imagens na forma digital (Kroner, 1997).

A integração de sistemas em edifícios inteligentes implica o compartilhamento de informações entre eles de maneira a simplificar as estratégias de controle e propiciar uma redução significativa dos custos (Han, 1997).

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

A seguir é apresentado um compêndio sobre as tecnologias de comunicação atualmente disponíveis para edifícios inteligentes.

COMUNICAÇÕES EM EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Um edifício inteligente pode ser considerado como o resultante da junção do sistema de automação do edifício (BAS – *Building Automation System*) e do sistema integrado de comunicações (ICS - *Integrated Communication Systems*). O primeiro é o encarregado de estabelecer a interação dos sistemas de controle de acesso, de iluminação, de ar condicionado entre outros. O segundo abrange os serviços relacionados com a transmissão de dados, voz e imagens (Sánchez et al., 1998)

Estes dois sistemas precisam de um suporte adequado para realizar o intercâmbio de informação, seja do usuário ou do controle, que conecte estes

sistemas e permita que interajam entre si, transportando os sinais relacionados com os diferentes sistemas de voz, dados, vídeo e controle presentes no edifício. Em geral, este sistema deve ser modular e o mais flexível possível para permitir a instalação de uma ampla gama de serviços e, no caso de ser necessária, a incorporação de novos serviços ou seu redimensionamento (ao ocorrer mudanças na distribuição física de ambientes, pessoas e equipamentos).

No sistema integrado de comunicações são necessárias tecnologias que sejam capazes de transmitir texto, dados, voz e imagens através de um meio físico comum. Neste contexto os mais importantes avanços têm sido derivados das redes de comunicação de dados entre as quais estão: as redes de dados locais (*LAN – Local Area Network*), as redes de área metropolitana (*MAN – Metropolitan Area Network*) e as redes digitais de serviços integrados (*ISDN – Integrated Services Digital Network*). Destas redes uma das que consegue satisfazer todas as necessidades referentes à transmissão de dados é a ISDN que se apoia no modo de transferência assíncrono (*ATM – Asynchronous Transfer Mode*).

Por outro lado, o sistema de automação do edifício incorpora sua própria estrutura de transmissão de sinais (cabearamento) e centrais de supervisão e controle envolvendo equipamentos como o PLC (*Programmable Logic Control*) e estruturas como o DDC (*Direct Digital Control*), que são os encarregados de processar as informações provenientes dos sensores e atuar em correspondência a estas. O sistema de automação do edifício se estende através de todas as suas instalações e é composto por diferentes sistemas que possuem uma infra-estrutura para comunicação e controle dedicados a tarefas específicas o que dificulta a sua integração. Assim, para um edifício funcionar como um sistema integrado, é necessária uma rede que de fato integre a transmissão de sinais (Callaghan et al., 1999). Neste contexto, cada vez mais tem-se evidenciado a necessidade de adotar um protocolo padrão, que permita que dispositivos de diferentes fabricantes possam comunicar-se uns com outros em uma linguagem comum. A seguir é apresentada uma sinopse das tendências dos diferentes padrões existentes para automação predial.

X-10: é o mais antigo e o mais comum entre os padrões disponíveis para a transmissão de informações em edifícios e sistemas de automação residencial. Foi desenvolvido em 1970 com seus primeiros produtos disponíveis em 1979. Permite

um limitado controle de dispositivos domésticos através da fiação elétrica existente em uma edificação. O protocolo X-10 transmite dados modulados na frequência da tensão (AC) da rede elétrica. Este protocolo permite endereçar 256 pontos diferentes. Os atuadores e sensores recebem/emitem sinais unidirecionais não possuindo nenhum processamento local destes. Uma desvantagem deste protocolo é que seu funcionamento é afetado pela rede elétrica que pode apresentar alguns comportamentos erráticos devido a ocorrências como duplicidade de fase, falta de energia ou descargas eletromagnéticas, o que limita sua confiabilidade. Por isto, o protocolo X-10 não é recomendável para aplicações críticas, ligadas a segurança. Outras desvantagens envolvem sua limitação a pequenas e médias distâncias e sua baixa integração com outros sistemas prediais que utilizam cabeamentos dedicados, tais como vídeo e áudio (Saramago, 2002); (Callaghan et al., 1999); (Sanchez et al., 1998).

Bati-Bus: tem sido desenvolvido para interconectar dispositivos de baixo nível de complexidade no interior de um edifício. Além da transmissão de dados pode ser usado para a distribuição de uma pequena quantidade de energia elétrica. Usa o modo de transmissão assíncrono podendo ter 240 pontos direcionáveis e chegar até 1000 pontos por rede. Opera em forma distribuída (não precisa de um nó *master*) e sua velocidade de transmissão é de 4800 bps (Sanchez et al., 1998).

CAB (*Canadian Automated Building Protocol*): tem sido desenvolvido pela *Public Works* do Canada como um conjunto de serviços projetados com o objetivo de supervisionar a operação e manutenção dos sistemas de um edifício. Algumas das intervenções em tempo real que realiza são: análise da distribuição de energia, diagnóstico estimado dos equipamentos do edifício e a comunicação de estados ao sistema de administração do edifício (Sanchez et al., 1998).

Neste protocolo os dados são divididos em duas categorias: dados gerais e dados de funções específicas. Os dados gerais incluem pontos tradicionais como entradas/saídas digitais e entradas/saídas analógicas. Os dados de funções específicas estão relacionados com as operações comuns de controle do edifício tais como: controle de acesso, eventos e alarmes, etc.

Data Highway Plus: é uma rede aberta de controladores da empresa Rockwell/Allen-Bradley que permite compartilhar dados no nível de planta e de equipamento com o programa de manutenção. É disponível em vários meios e velocidades de comunicação. Suas interfaces podem ser implementadas usando adaptadores de comunicações assíncronas (Callaghan et al., 1999).

FND (*Firm-Neutral Data Transmission*): foi criado na Alemanha. O FND permite a conexão dos DDC (*Direct Digital Control*) com uma estação central de controle de modo que mesmo os sistemas com diferentes fornecedores (marcas) possam comunicar-se e interoperar em uma rede com conexão ponto a ponto (Saramago, 2002).

Modbus: originalmente foi projetado para a comunicação entre controladores programáveis, no entanto pode ser usado para integrar computadores, terminais e outros dispositivos de monitoração e controle. Este é um protocolo tipo *master/slave* que suporta modos de transmissão ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) e binário. O número máximo de escravos que pode comportar é 247 (Saramago, 2002).

N2: é usado para conectar unidades terminais de controle a unidades supervisoras. Está baseado em um protocolo ASCII amplamente usado na indústria. Emprega como meio de transmissão três cabos RS-485 conectando um máximo de 100 dispositivos a 9600 bps, e cobrindo uma distância de 100 m. Este é um protocolo tipo *master/slave* que proporciona a leitura e escrita nos seus dispositivos de entrada/saídas analógicos e digitais (Saramago, 2002).

LONWorks: é um padrão desenvolvido pela empresa Echelon para automação predial e industrial. É um sistema aberto e de controle distribuído, projetado para implementar a interoperabilidade de redes de controle. Este padrão é considerado como um dos mais completos em termos de recursos e utilização. A tecnologia LONWork inclui a infra-estrutura em *hardware* e *software* para a operação da rede local LON (*Local Operating Network*). O protocolo utilizado é denominado LONTalk (padrão ANSI -*American National Standards Institute*- 709.1) que implementa as sete camadas do modelo de referência da ISO (*International Organization for Standardization*) e foi projetado para aplicações que envolvem funções de sensoriamento, controle, monitoração e identificação. O esquema de

acesso ao meio físico se faz por CSMA p-persistente (*Carrier Sense Multiple Access*). Permite seis meios físicos de transmissão de sinais: cabos elétricos, cabo trançado de baixa voltagem, cabo coaxial, infravermelho, rádio frequência e fibra óptica. A parte principal de uma rede LONWorks é um chip, de nome Neuron chip, o qual atua como um nó da rede e inclui o hardware de comunicações e o protocolo. O controle da rede é distribuído nos dispositivos (nós). Cada nó tem seu próprio programa aplicativo, de acordo com a sua função e se comunica com os outros nós através do protocolo LONTalk. A associação LONMark estabelece padrões e certifica dispositivos de controle interoperáveis (Saramago, 2002); (Callaghan et al., 1999); (Sanchez et al., 1998).

BACnet (*Building Automation and Control Network*): é o padrão desenvolvido pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) e adotado pela ANSI (ANSI/ASHRAE 135-1995). É um protocolo aberto de comunicação de dados. Está baseado nas camadas: de aplicação, de rede, de enlace de dados e na camada física do modelo de referência OSI. BACnet especifica quatro tipos de redes LAN: Ethernet, ARCNET, MS/TP (Master-Slave/Token-Passing), LONTalk (Saramago, 2002); (Callaghan et al., 1999); (Sanchez et al., 1998).

EIB (*European Installation Bus*): originalmente foi desenvolvido por um grupo de empresas lideradas pela Siemens, mas hoje é controlado pela EIBA (*European Installation Bus Association*). Este sistema é usualmente implementado em arquitetura descentralizada com os dispositivos de campo comunicando-se diretamente entre si e sem nenhum nível supervisor. No entanto também é possível implementar instalações centralizadas. O número máximo de dispositivos que pode comportar é 61455 distribuídos em linhas dentro de áreas. Alguns dos meios físicos que podem ser usados para o barramento são: par trançado, fiação elétrica existente (*powerline*), rádio frequência e redes locais (LAN) existentes, tais como Internet e Intranet. Os dispositivos componentes do sistema EIB constam de uma unidade de acoplamento ao barramento (BCU- *Bus Coupling Unit*) que serve de interface e que é composta por um *transceiver* e um controlador de comunicação (Saramago, 2002).

PROFIBus (*PROcess FField Bus*): originalmente foi desenvolvido na Alemanha mas em 1997 foi ratificado como parte da norma européia. É atualmente o

tipo de *FieldBus* mais popular que existe. Existem três variantes do mesmo (Saramago, 2002).

PROFIBus – FMS (*FieldBus Message Specification*): é uma solução universal para as tarefas de comunicação nos níveis superiores e para a automação. É empregado para a comunicação entre dispositivos de área e controladores e para o intercâmbio de informação entre os controladores.

PROFIBus – DP (*Distributed Peripherals*): Está dedicado à comunicação entre sistemas de automação e periféricos distribuídos.

PROFIBus – PA (*Process Automation*): conecta os sistemas de automação e os dispositivos de forma descentralizada.

Pode ser implementado em microprocessadores que contenham uma UART (*Universal Asynchronous Reception Transmission*) interna ou externa.

HomePnP: padroniza a estrutura das mensagens e os códigos de controle usados nas mensagens fornecendo assim, todos os detalhes necessários para construir uma mensagem para efetuar uma operação específica em um dispositivo ou subsistema. Este protocolo é baseado na CAL (*Common Application Language*) e no nível de aplicação do protocolo CEBus (*Consumer Electronics Bus*) (CIC, 1998).

Jini: foi desenvolvido pela empresa Sun Microsystems e posto no mercado em 1999. Sua arquitetura é totalmente distribuída, de maneira que todos os dispositivos conectados em rede podem oferecer serviços e comunicar-se entre si. Jini estende os conceitos da linguagem de programação Java de uma máquina simples para uma rede de máquinas, podendo funcionar em estações de trabalho, microcomputador, e até em eletrodomésticos que estejam conectados em uma rede. É possível também a conexão de dispositivos que não executem a máquina virtual Java através do uso da arquitetura *surrogate* (Sun, 2001).

UpnP (*Universal Plug & Play*): é uma arquitetura aberta que permite a troca de informações e dados de forma transparente entre os dispositivos conectados na rede, sem necessidade de configurar estes. Nela são utilizados protocolos padrões tais como: TCP, UDP, IP entre outros. O seu projeto buscou a independência de fabricantes, da linguagem de programação de cada dispositivo e do meio físico para implementar a rede. A descrição dos serviços e dispositivos é mantida pelo UPnP Forum - *Universal Plug and Play Forum*. Os elementos básicos do UPnP são: os

dispositivos (*devices*), os serviços (*services*) e os controladores (*control points*), cujas informações são estruturadas utilizando XML (*eXtensible Markup Language*). A *UPnP Device Architecture* (Microsoft, 2000) define o modelo genérico para a criação de dispositivos e para descrição de serviços para qualquer dispositivo e tipo de serviço.

OSGI (*Open Services Gateway Initiative*): foi criada em 1999 com a finalidade de projetar especificações abertas para viabilizar múltiplos serviços sobre redes geograficamente distribuídas (WANs), para redes locais e dispositivos. Os serviços *gateway* são os componentes principais da especificação OSGI. Estes são servidores inseridos em uma rede para conectar a rede externa com clientes internos, atuando como uma plataforma para instalação e execução do software que trabalha em cooperação com dispositivos em uma rede doméstica. Este software permite que provedores de serviços externos interajam com os dispositivos dessa rede, disponibilizando os serviços para seus proprietários (Saramago, 2002)

A seguir são apresentados os principais conceitos em relação aos sistemas distribuídos, sistemas abertos e sistemas distribuídos e abertos, com a finalidade de ressaltar as características que estes possuem e que estão sendo consideradas para a integração de sistemas prediais.

2.2 SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

Um sistema distribuído é aquele onde os diferentes elementos que o constituem possuem as capacidades de processamento de informações, armazenamento de dados e comunicação, distribuídas computacional e/ou geograficamente (Chen; Taylor, 2002) (Chang et al., 1998).

Os sistemas distribuídos são compostos por um número de grupos de processamento homogêneos ou heterogêneos que estão ligados em rede (Buchs; Guelfi, 2000); (Wen-Tsung et al., 1998). Os sistemas implementados nos nós cooperam para realizar uma determinada tarefa e sistemas em diferentes nós interagem com outros através da rede. O tempo gasto em invocação entre os nós é o maior “gargalo” que afeta o desempenho total deste tipo de sistema (Chang et al., 1998).

Os aplicativos de processamentos distribuídos residem em diferentes computadores, cada um com capacidade de processamento e serviço de dados autônomos. Cada componente de um sistema distribuído possui um ambiente que realiza uma parte da tarefa total do sistema.

Em geral, o projeto, desenvolvimento e gerenciamento de sistemas distribuídos apresentam características particulares e desafiadoras que aumentam sua complexidade (Katchabaw et al., 1999). Algumas das suas principais características são: heterogeneidade, gerenciamento de recursos, coordenação, distribuição, concorrência (processos executados em diferentes nós do sistema implicam na possibilidade de comportamento concorrente, o que torna necessário a coordenação dos mesmos), modularidade e integração dos componentes do projeto (Giese; Wirtz, 2001).

Nos sistemas distribuídos, a transparência no acesso, a localização dos elementos através de sistemas intermediários – *middleware* (que consistem de um conjunto de serviços disponíveis que possibilita que múltiplos processos, executando em uma ou mais máquinas, interajam através da rede de comunicação) e a confiabilidade das mensagens garantem a efetiva distribuição e a sua heterogeneidade (Kam et al., 2004).

2.3 SISTEMAS ABERTOS

Segundo o Comitê Técnico de Sistemas Abertos do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), um sistema aberto é um conjunto amplo e consistente de perfis de padrões de tecnologia de informação internacionais e padrões funcionais, que especificam interfaces, serviços e formatos de suporte para alcançar a interoperabilidade e a portabilidade de aplicativos e dados.

Segundo Brock (2000), os sistemas abertos são implementações de hardware e software que se enquadram no corpo de padrões que permitem acesso livre e relativamente fácil a soluções de diferentes fornecedores. Os padrões utilizados podem ser definidos formalmente ou ser especificações seguidas pelos principais fornecedores e usuários na esfera tecnológica.

Martucci (1992) define o sistema aberto como aquele que possui uma arquitetura, cujos componentes e suas interligações estão apoiados em padrões que

propiciam a interoperabilidade e a interconectividade dos componentes além da portabilidade de dados e aplicações.

Segundo Pizzica (2001), a implementação de sistemas abertos é mais fácil em processadores distribuídos.

Considerando as aplicações computacionais, os sistemas abertos apresentam as seguintes características (Kokai et al., 1998); (Wheeler, 1994):

- interoperabilidade: possibilidade de troca de informações entre computadores de diferentes fornecedores;
- portabilidade: operação consistente do *software* (sistemas operacionais e aplicativos) em computadores de diferentes fornecedores;
- interconectividade: acesso a diferentes sistemas através da rede de comunicação.

Discussões sobre sistemas abertos têm envolvido algumas discrepâncias entre fornecedores de bens e serviços e os órgãos governamentais e normalizadores como a ISO, ANSI, IEEE, entre outros. Estes últimos têm se mostrado preocupados em normas para orientar a utilização das novas tecnologias (Oliveira, 1998) pois considera-se que os padrões são fundamentais para que os sistemas tenham condições de integração às novas tecnologias com baixo custo e atendendo as especificações de sistemas abertos.

Entretanto, o tempo para a elaboração e o estabelecimento de padrões formais é considerável. Como consequência, produtos ditos abertos colocados no mercado se baseiam apenas na interoperabilidade em algum grau com outros produtos (Oliveira, 1998). Os consórcios industriais (X/Open, OSF - *Open Software Foundation*, OMG - *Object Management Group*, etc.), nos quais os próprios fornecedores, clientes e interessados participam ativamente da elaboração de padrões em várias sub-áreas, têm de certo modo suprido as carências formais (Oliveira, 1998). No entanto, os organismos internacionais de normalização não deixaram de intensificar seus esforços nos últimos anos na criação de grupos para a formalização de padrões em vários segmentos: hardware, comunicação de dados e software. Assim, com o aprimoramento dos padrões formais e com o surgimento dos consórcios industriais, a diferença semântica de sistemas abertos tende a diminuir cada vez mais.

Um fator relevante para este direcionamento são os próprios usuários pois, interessa a estes a possibilidade de selecionar livremente seus fornecedores, com base em tecnologias mais avançadas e convenientes, e de realizar uma livre análise de custos, qualidade e manutenção. Nesta análise podem ainda ser considerados o grau de flexibilidade, portabilidade e interoperabilidade fornecido pelos equipamentos e sistemas disponíveis. Talvez o maior problema para os usuários, é saber quais padrões tecnológicos adotar e como lidar com a integração dos módulos que comporão os seus sistemas.

Do ponto de vista do usuário os sistemas abertos relacionam-se com (Kokai et al., 1998):

- atualização dos sistemas através da incorporação de novas tecnologias;
- conexão com outros sistemas através das redes.

Ainda, os benefícios dos sistemas abertos aos fornecedores estão no maior número de usuários e na redução de custos de desenvolvimento. Em geral, a aplicação de sistemas abertos permite que as empresas determinem a melhor solução com base em suas necessidades tecnológicas e no melhor equipamento disponível.

2.3.1 SISTEMA DE CONTROLE DE ARQUITETURA ABERTA

Um sistema de controle de arquitetura aberta tem a capacidade de integrar elementos de diferentes fornecedores e obter soluções com interfaces programáveis, mantendo o mesmo desempenho a baixo custo (Asato et al., 2002). Suas principais características são (Schofield, 1995); (Wright et al., 1996):

- permite maior flexibilidade tanto no hardware como no software para todos os níveis de controle;
- possibilita o uso de técnicas avançadas de controle e monitoramento;
- permite o desenvolvimento e a integração de hardware (controladores, sensores e atuadores) e software (algoritmos de controle) por terceiros;
- facilita a integração de controladores e destes com outros sistemas;
- tem capacidade de programação e execução de programas em várias plataformas;

tem capacidade de aumentar ou diminuir a funcionalidade do sistema de acordo com a demanda.

Entre as principais vantagens dos sistemas de controle de arquitetura aberta estão: maior produtividade, maior capacidade de resposta e melhor relação custo-benefício.

2.4 SISTEMAS DISTRIBUÍDOS E ABERTOS

Considera-se um sistema distribuído e aberto, aquele que incorpora uma coleção de dispositivos autônomos (com sistemas operacionais e aplicativos heterogêneos) conectados em rede e que é projetado com uma arquitetura que atende um conjunto consistente de padrões internacionais (Katchabaw et al., 1999). Estes padrões especificam interfaces, serviços e formatos de forma a propiciar a interoperabilidade e interconectividade dos componentes, além da portabilidade dos dados e das aplicações do sistema (Akehurst et al., 2002); (Kokai et al., 1998). Este tipo de sistema possui assim características dos dois sistemas anteriormente mencionados.

Nos sistemas distribuídos e abertos existem duas preocupações importantes: a definição de arquiteturas e a necessidade de ambientes para seu desenvolvimento (Scherer, 1997); (Rosa, 1995); (Barr, 1993).

Um trabalho que procura abordar a primeira preocupação é o trabalho de Martucci, (1992) no qual propõe-se o chamado: Sistema Aberto de Automação (SAA). Neste, procura-se conceber sistemas sem vinculações definitivas e que permitam através da configuração dos seus componentes obter sistemas genéricos, visando a definição de arquiteturas abertas, que poderão ser implementadas em diversos domínios de aplicação da automação sem necessidade de se refazer o projeto e a implementação do sistema. O SAA é um sistema aberto, inerentemente distribuído com uma estrutura abstrata e hierárquica. Entre os trabalhos baseados na aplicação do SAA estão o trabalho de Matsuyama (1997), onde foram determinadas arquiteturas de automação aplicados a processos contínuos, processos discretos e processos de serviços e, o trabalho de Becerra (1993), que foi aplicado na automação de sistemas de manufatura.

Por outro lado e devido à complexidade dos sistemas abertos e distribuídos, torna-se necessária a utilização de abordagens que consigam tratar de modo racional e sistemático todas as suas características. Neste sentido a ISO (*International Standard Organization*) e a ITU (*International Telecommunications Union*) propuseram o modelo de referência ODP (*Open Distributed Processing*) cuja estrutura visa suportar esta classe de sistemas.

2.5 OPEN DISTRIBUTED PROCESSING (ODP)

O modelo de referência ODP, é um padrão formal, criado pela ISO e a ITU. É considerada a iniciativa mais importante para o estabelecimento de padrões que direcionem o desenvolvimento de sistemas de processamento distribuído baseados no conceito de sistemas abertos (Blanc et al., 2000); (Gaspoz, 1996).

O ODP propõe um modelo cuja arquitetura permite a interoperabilidade e portabilidade de aplicações distribuídas e o desenvolvimento de padrões abertos. Este modelo objetiva a estruturação de um ambiente distribuído, aberto e heterogêneo cujos serviços para o processamento de informação são utilizados sem restrição por todos os elementos do sistema (Farooqui et al., 1995); (Sinnott; Turner, 1997).

Existem outros modelos, dentro da padronização dos sistemas distribuídos e abertos que compartilham os mesmos objetivos que o ODP, entre estes estão: o *Distributed Computing Environment* (DCE) do grupo *Open Software Foundation* (OSF) e o *Computer Object Request Broker Architecture* (CORBA) do *Object Management Group* (OMG) (Shankaran; Klefstad, 2004); (Becerra, 1998); (OMG, 1995); (Roseberry, 1992). Contudo, a proposta do ODP é mais abrangente, pois os objetivos das propostas DCE e CORBA se encaixam dentro do contexto da computação e da engenharia da especificação do modelo de referência ODP (Boiten et al., 2000); (Eckert, 1996); (Wolisz; Tschammer, 1993). O padrão ODP complementa assim estes modelos, um exemplo disto são os trabalhos conjuntos realizados com o grupo CORBA, como acontece na padronização da função ODP denominada de “Trader” (Becerra, 1998). O aparecimento do ODP tem permitindo a composição de federações e a cooperação de maneira transparente de aplicações heterogêneas (Diagne; Estrailier, 1997).

O ODP está organizado em dois modelos (ISO, 1998a):

Modelo descritivo: no qual se agrupam os conceitos necessários à concepção orientada a objetos das aplicações distribuídas.

Modelo prescritivo: propõe uma arquitetura genérica para tais aplicações.

O padrão ODP tem como objetivo principal suportar a criação de sistemas distribuídos e abertos onde exista interoperabilidade entre diversos sistemas, sejam estes sistemas ODP, ou sistemas proprietários ou outros sistemas padronizados do mercado (Becerra, 1998).

Os sistemas distribuídos e abertos desenvolvidos a partir do ODP possuem as seguintes propriedades (Becerra, 1998); (ISO, 1998a); (Tschammer et al., 1994):

abertura: esta propriedade é viabilizada pela utilização de padrões através dos quais se obtêm altos graus de portabilidade e de interoperabilidade dentro do sistema;

flexibilidade: permite a inclusão de novas tecnologias em função a novas especificações de funcionamento e novas configurações, graças à mobilidade física dos elementos dentro do sistema;

integração: esta propriedade visa compor um sistema altamente produtivo e eficiente através da incorporação de vários sistemas e recursos de forma relativamente simples e com baixo custo;

modularidade: permite a definição de módulos com interfaces bem definidas e serviços encapsulados de forma a garantir a autonomia destes;

segurança: propriedade que garante a utilização dos recursos e da informação no sistema através de esquemas e mecanismos de segurança;

gerenciamento: através desta propriedade se realiza o controle, supervisão e coordenação das ações/atividades e recursos do sistema visando atender as mudanças nas configurações, assegurar a qualidade dos serviços e as regras de negócio;

federação: propriedade que permite a integração de diferentes domínios administrativos e tecnológicos dentro de um sistema distribuído;

transparência: representa a capacidade de ocultar aos usuários e às aplicações, detalhes dos mecanismos utilizados para implementar diversos aspectos relacionados com a distribuição.

Estas propriedades no projeto de um sistema aberto e distribuído transformam-se em requisitos do sistema.

O ODP propõe a padronização do processo de especificação dos sistemas distribuídos e abertos, através de um modelo em alto nível que deixa aberta a forma de implementação, protegendo a criatividade e a inovação tecnológica.

2.5.1 ESTRUTURA DA NORMALIZAÇÃO DO ODP

A normalização ODP está organizada em quatro documentos:

ISO/IEC 10746-1/ Recomendação ITU-T X.901: *Apresentação e guia do usuário*. Neste documento, apresenta-se de maneira geral o ODP, destacando seus objetivos, conceitos básicos e arquitetura. Este documento não constitui uma norma (ISO, 1998a); (Sinnott; Turner, 1997).

ISO/IEC 10746-2/ Recomendação ITU-T X.902: *Fundamentos - Modelo descritivo* (provê um vocabulário comum). Define os conceitos gerais e as relações capazes de especificar sistemas distribuídos e abertos. Apresenta também um vocabulário para entender e aplicar a norma ISO/IEC 10746-3 (ISO, 1996b); (Sinnott; Turner, 1997);

ISO/IEC 10746-3/ Recomendação ITU-T X.903: *Arquitetura - Modelo prescritivo* (restringe o que pode ser construído). Contém a especificação das características que são requeridas para qualificar um sistema distribuído como aberto. Contém também, a descrição de cada um dos pontos de vista do ODP, seus conceitos, estruturas, regras e funções (ISO, 1996c) (Sinnott; Turner, 1997)

ISO/IEC 10746-4/ Recomendação ITU-T X.904: *Semântica arquitetural*. Formaliza os conceitos referentes à arquitetura da norma ISO/IEC 10746-2 e as linguagens dos pontos de vista da norma ISO/IEC 10746-3, com a finalidade de permitir uma interpretação uniforme. Esta formalização é realizada pela interpretação de cada conceito utilizando diferentes técnicas de descrição formal, como Lotos, Estelle, SDL e Z (ISO, 1998d); (Sinnott; Turner, 1997).

Nos projetos de sistemas distribuídos e abertos, recomenda-se considerar os documentos anteriores na seguinte ordem de importância: o documento III é o documento mais importante a ser utilizado pois, contém as informações relacionadas com as especificações de cada ponto de vista. O documento II deve ser utilizado como subsídio teórico do documento III, e o documento I é uma referência de

informações gerais. O documento IV deve ser utilizado quando o sistema é de tempo real ou em sistemas que contenham requisitos críticos (Becerra, 1998).

2.5.2 PONTOS DE VISTA

Os pontos de vista são meios para tratar a complexidade de um sistema. Assim, cada ponto de vista converte-se em uma abstração do sistema onde se destacam ou ocultam características deste. Este tipo de abordagem permite o desenvolvimento consistente de um sistema através da decomposição e consideração de seus diferentes aspectos (Blanc et al., 1999); (Farooqui et al., 1995).

Cada ponto de vista, define requisitos e restrições ao projeto de um sistema. A especificação do sistema em um ponto de vista está baseada nos seus requisitos e deve refletir os requisitos identificados em outros. O projeto de um sistema, assim, deve considerar a integração dos modelos de cada ponto de vista. (Farooqui et al., 1995)

Os pontos de vista constituem visões parciais da especificação completa do sistema. Desta forma, a descrição de um mesmo objeto (componente) pode ser realizada através de diferentes pontos de vista o que leva à necessidade de verificar a consistência entre eles (Kandé et al., 1998). A consistência entre pontos de vista é analisada através da identificação de conceitos e/ou propriedades em cada um deles. Assim, em um ponto de vista realizam-se abstrações ou refinamentos de conceitos e/ou propriedades de outro ponto de vista e vice-versa (Farooqui; Logrippo, 1995)

Neste contexto, o ODP define cinco pontos de vista e engloba conceitos e procedimentos voltados para orientação a objetos adaptando-se a diversos domínios de aplicação dentro da automação (Marte, 2000). Os pontos de vista do ODP são abstrações consideradas como um mecanismo que possibilita manipular e selecionar as informações e características mais relevantes do sistema, necessárias para sua definição. Estas abstrações permitem observar o sistema através de diferentes visões consistentes entre si (Putman, 2001); (Marte, 2000); (Boiten et al., 2000); (Kandé et al., 1998). Os pontos de vista definidos pelo ODP são: de **empresa**, de **informação**, de **computação**, de **engenharia** e de **tecnologia**. Os modelos gerados em cada ponto de vista diferenciam-se entre si pela ênfase de sua abstração (Farooqui; Logrippo, 1995).

A especificação do ponto de vista é constituída de informações em linguagem natural e em conjuntos de diagramas orientados a objetos.

Em geral, o uso dos pontos de vista do ODP permitem especificar de forma completa e consistente uma arquitetura com características de interoperabilidade, distribuição, transparência e portabilidade (Putman, 2001).

A. PONTO DE VISTA DE EMPRESA

Define os requisitos básicos do sistema considerando o contexto da empresa e as necessidades dos seus usuários. Aqui o sistema é modelado em termos das políticas de negócio, dos seus objetivos, da funcionalidade requerida, dos domínios e dos atores (com seus papéis) envolvidos (Steen; Derrick, 1999); (Sinnott; Turner, 1997).

Este ponto de vista está focado no propósito, escopo e políticas do sistema. A linguagem usada nele inclui conceitos, regras e estruturas. Os conceitos aqui utilizados são independentes dos detalhes de distribuição e implementação (Tanaka et al., 2001) (Putman, 2001).

A estrutura do ponto de vista de empresa contém os seguintes conceitos (Lam-Son; Wegmann, 2005); (Putman, 2001); (Becerra, 1998):

- escopo da empresa: contém as características principais da empresa, enxergando esta como uma entidade de negócios;
- funções empresariais: funções realizadas pelos elementos ou objetos dentro da empresa;
- políticas: regras definidas na empresa ou por agentes externos a esta, as quais estão constituídas de obrigações, permissões e proibições;
- procedimentos: contém um conjunto de ações específicas realizadas pelos objetos empresa;
- comunidades: agrupamento de objetos com um propósito comum;
- federação: agrupamento de objetos pertencentes a diferentes domínios, sejam estes tecnológicos ou empresariais e com um propósito comum;
- contrato: acordo entre as partes.

A linguagem usada no ponto de vista da empresa permite identificar os principais componentes de um sistema, ajudando na organização dos requerimentos, da estrutura e das restrições do processo de negócio.

A especificação do ponto de vista de empresa contém (Putman, 2001):

- a comunidade de objetos que satisfazem os propósitos da empresa;
- declaração dos objetivos: porque o sistema é necessário e o que deve fazer;
- identificação dos objetos que fazem parte da comunidade de empresa, incluindo atores seus papéis e os recursos.
- papel desempenhado pelos objetos dentro da comunidade, limitado as restrições dadas pelas políticas da comunidade.
- regras para os objetos, as quais restringem ou habilitam ações:
 1. obrigações: o que deve ser realizado.
 2. permissão: o que pode ser realizado.
 3. proibição: o que não deve ser realizado.
- atividades realizadas pelos objetos empresa;
- configuração dos objetos;
- contratos que definem restrições.

A estrutura básica do ponto de vista de empresa considera: o escopo da empresa, as funções empresariais, as políticas, os procedimentos, a comunidade e a federação da empresa e seus objetos (Becerra, 1998)

Especificar um sistema segundo o ponto de vista de empresa permite a criação de um modelo do sistema e do ambiente da empresa com o qual este interage (Marte, 2000).

B. PONTO DE VISTA DE INFORMAÇÃO

Descreve de maneira consistente, uma visão comum dos recursos que apóiam os requisitos de informação do ponto de vista de empresa. Este também define as relações entre elementos de informação e o processamento da informação.

Neste ponto de vista procura-se um modelo que permita identificar as origens e destinos das informações e define-se a semântica da informação e seu processamento no sistema (Marte, 2000); (Sinnott; Turner, 1997).

A especificação do ponto de vista de informação contém (Putman, 2001):

- identificação dos objetos informação;
- atributos estáticos dos objetos informação;
- associação entre objetos informação;
- especificação do comportamento entre objetos informação;
- relações entre o comportamento dos objetos informação;
- contratos para os objetos informação.

Os conceitos usados neste ponto de vista são independentes dos detalhes de distribuição e implementação (Putman, 2000).

Existem 3 esquemas que constituem a estrutura do ponto de vista de informação:

esquema invariante: conjunto de condições ou predicados de um ou mais objetos 'informação' que, para todos os comportamentos válidos do sistema, sempre devem ser verdadeiros. No esquema invariante, obrigações de uma política são entendidas como restrições (Marte,2000); (Becerra, 1998); (ISO, 1998a).

esquema estático: é a especificação do estado de um objeto ou conjunto de objetos 'informação' em um ponto particular no tempo sujeito às restrições do esquema invariante. Esta é uma visão instantânea da informação (Marte,2000); (Becerra, 1998); (ISO, 1998a).

esquema dinâmico: define todos os estados permitidos de um objeto ou conjunto de objetos 'informação' sujeito às restrições do esquema invariante. Aqui se realiza uma descrição da informação que reflete o comportamento e a evolução do sistema. Especifica como a informação pode evoluir durante a operação do sistema. No esquema dinâmico, são capturadas ações que causam uma mudança no estado de um objeto (Marte 2000); (Becerra, 1998); (ISO, 1996a).

C. PONTO DE VISTA DE COMPUTAÇÃO

Este ponto de vista trata da decomposição funcional do sistema em objetos que interagem (trocam informação) através de interfaces específicas. Aqui também é abordada a distribuição das funções realizadas dentro do sistema sem se preocupar com a infra-estrutura de comunicação (Akehurst et al., 2003);(Becerra, 1998); (Nankman; Nieuwenhuis, 1996).

Neste ponto de vista são representados os componentes individuais que constituem as fontes e destinos dos fluxos de informação.

Os objetos no ponto de vista de computação podem ser objetos de aplicação, de suporte de serviços ou ainda de infra-estrutura (Putman, 2001).

A linguagem computacional faz grande uso do modelo de objetos. Um objeto computacional oferece uma interface através da qual acontecem as interações com outros objetos. Os objetos podem oferecer mais de uma interface, cada uma das quais pode ser de tipos diferentes ou iguais mas permitindo diferentes interações. Uma interação é um conjunto de serviços oferecidos através de uma interface e que estão unidos a outros objetos através de uma ligação. Objetos encapsulam comportamentos, e incluem atividades internas a este as quais podem ser oferecidas a outros objetos através de uma interação (Putman, 2001).

A especificação computacional trata da estruturação de aplicações independentes de como os objetos computacionais estão distribuídos ou do tipo de computador ou rede utilizados. Assim, a especificação computacional é um modelo lógico e não um modelo físico da topologia da rede de comunicações e seus módulos. A especificação computacional foca o processamento de componentes de aplicação, as interações (em paralelo ou em seqüência) e ligações entre componentes e a maneira como as restrições entre as ligações são atendidas (Putman, 2001).

No ponto de vista de computação, os objetos são mapeados a partir dos objetos 'empresa' e 'informação' e são representados por classes. As interfaces computacionais (utilizadas pelos objetos 'computação' para realizar seus pedidos de serviço) podem ser determinadas pelo tipo de serviço assim, definem-se as seguintes interfaces (Romero; Vallecillo, 2004); (Becerra, 1998):

interface de fluxo: suporta interações que representam fluxos contínuos de informação tal como o fluxo de sinal de áudio em uma aplicação multimídia;

interface de operação: suporta interações semelhantes aos procedimentos ou rotinas utilizados em programação de sistemas;

interface de sinal: suporta interações que representam invocações tais como eventos e interrupções.

A conexão entre as interfaces pode se dar de duas maneiras:

conexão explícita: estabelecida entre interfaces de operação ou de fluxo;

conexão implícita: estabelecida entre interfaces de operação.

A interação entre objetos ‘computação’ é essencialmente assíncrona (Marte, 2000).

A visão da computação do modelo de referência ODP descreve também como as aplicações e os componentes distribuídos do sistema ODP interagem de forma cooperativa e transparente. A linguagem do ponto de vista de computação define as ações que um objeto pode executar, permitindo a criação de novos objetos e interfaces e o estabelecimento de ligações. Neste contexto, esta linguagem define as bases para permitir a interoperabilidade e a portabilidade dos componentes do sistema (Becerra, 1998).

D. PONTO DE VISTA DE ENGENHARIA

A especificação do ponto de vista de engenharia, complementa a visão de computação definindo os mecanismos e funções necessárias para suportar interações dos objetos distribuídos e as transparências que ocultam a complexidade destas interações. Este ponto de vista define as necessidades de comunicação e o desdobramento das funcionalidades do sistema (Wegmann; Naumenko, 2001)

As partes básicas do ponto de vista de engenharia são (Putman, 2001):

- modelo do canal : é um modelo genérico da infraestrutura de distribuição;
- transparências de distribuição: garantem abstrações da infraestrutura distribuída;
- funções ODP: definem os serviços básicos que habilitam a distribuição;
- modelo do nó: é a configuração dos objetos que formam a infraestrutura de um único nó (um computador).

A linguagem de engenharia estabelece os conceitos e regras para especificar os mecanismos que permitem a distribuição física e suportam o processamento lógico das aplicações. Assim, define-se como os objetos interagem e como a infraestrutura e os mecanismos de comunicação dão suporte às interações entre objetos (Putman, 2001).

Uma especificação de engenharia define a infraestrutura requerida para suportar a distribuição funcional do sistema. Esta especificação se pode realizar baseada em: (Putman, 2001):

- objetos básicos de engenharia que correspondem a objetos computacionais que não podem ser executados isoladamente;
- interfaces de engenharia que correspondem às interfaces computacionais;
- as funções ODP requeridas para gerenciar a distribuição física, a comunicação, o processamento e a armazenagem de informações;
- os papéis de diferentes objetos de engenharia dão suporte às funções ODP;
- as transparências requerem esconder os detalhes de distribuição do desenvolvedor, da aplicação e do usuário;
- uma configuração de objetos 'engenharia', estruturados como grupos (*clusters*), cápsulas e nós.
- as atividades que ocorrem dentro destes objetos 'engenharia'.
- os mecanismos de interconexão de ligações locais ou distribuídas para dar suporte às interações computacionais.

Existe uma relação direta entre o ponto de vista de computação e o ponto de vista de engenharia, pois os objetos da computação são vistos no ponto de vista de engenharia como objetos básicos da engenharia. E, as conexões entre objetos da computação são vistas como canais de comunicação ou conexões locais.

A estrutura de gerenciamento definida neste ponto de vista tem por objetivo organizar a infra-estrutura do sistema para otimizar a forma de gerenciamento dos objetos distribuídos. Os elementos que fazem parte desta estrutura são:

nó: composto por um processador de informação onde são executadas as funções de processamento, armazenamento e comunicação, de maneira similar ao computador e seu sistema operacional;

núcleo: encarregado da coordenação das funções de processamento, armazenamento e comunicação dentro do nó;

cápsula: agrupamento de objetos tratados como uma única unidade de processamento.

grupo (Cluster): conjunto de objetos básicos de engenharia que são tratados como uma unidade e cujo objetivo é executar funções específicas como ativação, desativação, reativação, recuperação e migração.

A comunicação entre objetos ‘engenharia’ pode ser realizada em duas formas:

- quando os objetos pertencem ao mesmo grupo ou nó: neste caso utiliza-se uma conexão que pode ser implantada utilizando mecanismos específicos do sistema que não se encontram padronizados.

- quando os objetos pertencem a diferentes cápsulas ou nós: aqui, utiliza-se uma conexão distribuída que está padronizada no ODP. Para implantar este tipo de conexão é necessário configurar uma estrutura denominada canal. Um canal é constituído dos seguintes objetos:

- adaptador (*Stub*): serve como conversor dos dados que são gerados na interação dos objetos básicos de engenharia;

- conector (*Binder*): mantêm a integridade ponto-a-ponto do canal, resolvendo problemas de distribuição;

- protocolo: provê a comunicação entre os objetos;

- interceptor: é utilizado para compatibilizar requerimentos técnicos existentes entre dois nós como a conversão de protocolos, o controle de acesso, a compressão de dados ou a utilização de mecanismos de criptografia.

O ponto de vista de **engenharia** permite que as características de sistemas abertos possam ser alcançadas através do estabelecimento das transparências e das funções ODP (Marte, 2000).

E. PONTO DE VISTA DE TECNOLOGIA

A especificação do ponto de vista de **tecnologia** contém os requisitos referentes à tecnologia (componentes de *software* e *hardware*), que serão utilizados na implementação dos elementos do ponto de vista de **engenharia**. Isto é, a tecnologia que suportará o processamento distribuído e sobre a qual o sistema será construído (Marte, 2000).

A especificação da tecnologia define (Putman, 2001):
escolha da tecnologia;

- escolha do produto;
- escolha de padrões;
- configuração de objetos da tecnologia;

- especificação de todas as interfaces usadas entre os objetos ‘tecnologia’;
- como as especificações ODP são implementadas;
- tecnologias relevantes e mapeamento para padrões e especificações relevantes.

A especificação tecnológica define mecanismos que devem ser suportados pelo software, o hardware, as redes de comunicação, os sistemas operacionais, os dispositivos de armazenamento e os protocolos de comunicação entre outros. O ponto de vista de tecnologia não entra nos detalhes de como mapear a tecnologia e os produtos, mas indica que a correspondência da escolha de uma tecnologia envolve o mapeamento das especificações de outros pontos de vista. Assim, a linguagem da tecnologia propicia uma ligação entre as especificações dos outros pontos de vista e os detalhes da implementação (Putman, 2001).

As escolhas de tecnologia sempre mudam mas a especificação da arquitetura (como um grupo de especificações de empresa, informação, computacional e de engenharia) pode permanecer imutável às evoluções tecnológicas. Assim, as escolhas de tecnologia devem ser separadas da especificação de outros pontos de vista, de forma a permitir que o sistema possa ser planejado com novas tecnologias, sem ter que se re-arquitetar o sistema (Putman, 2001).

Para a implementação e comunicação entre objetos distribuídos, existem atualmente três padrões: um padrão “de jure” o CORBA da OMG e padrões de mercado como: COM/DCOM (*Component Object Model / Distributed Component Object Model*) da Microsoft e o JavaBeans da Sun Microsystems. Estes três padrões implementam os canais de comunicação entre os diferentes nós da visão de engenharia, os quais, por convenção, são chamados ORBs (*Objetc Request Brokers*) na visão de tecnologia (Marte, 2000).

Embora todos utilizem, em geral, um protocolo comum de comunicação, o TCP/IP (*Transmission Control Protocol /Internet Protocol*), a comunicação entre objetos destes padrões é incompatível, pois cada um tem seu próprio mecanismo de transparência da distribuição, baseados em funções ODP próprias como o DCE RPC (*Distributed Computing Enviroment / Remote Procedure Call*) no padrão COM, o IIOP no CORBA e o RMI no JavaBeans. Para permitir a troca de mensagens entre

objetos destes padrões é necessário acrescentar *bridges*, que realizam a conversão entre estes protocolos (Marte, 2000).

2.5.3 TRANSPARÊNCIAS E FUNÇÕES

O ODP identifica através dos pontos de vista os elementos e as estruturas do sistema. Para completar esta especificação em termos de integração e cooperação existem os conceitos de transparências e de funções ODP (Putman, 2001).

A. TRANSPARÊNCIAS

O conceito de transparência envolve os mecanismos abstratos que objetivam esconder dos sistemas e usuários as complexidades dos serviços oferecidos pela estrutura distribuída, otimizando a execução de tarefas cooperativas entre os elementos do sistema. As regras das transparências são especificações em linguagem natural que apresentam as restrições e requisitos que devem ser considerados nas funções ODP. O padrão ODP define as seguintes transparências: acesso, falha, localização, migração, persistência, replicação, realocação e transacional (Marte, 2000); (Becerra, 1998).

B. FUNÇÕES

O conceito de funções envolve os objetos computacionais que permitem a estruturação e implementação das transparências. As funções do ODP estão organizadas em quatro grupos genéricos: gerenciamento, coordenação, repositórios e segurança (Marte, 2000); (Becerra, 1998).

2.5.4 NOTAÇÃO DO ODP

Em cada ponto de vista têm sido definidos os correspondentes conceitos e regras para serem usados na especificação do sistema. No entanto, tem sido deixado em aberto qual notação usar em cada um deles. Alguns dos requisitos que se considera devem ser levados em conta quando da escolha da notação são (Duran et al., 2003); (Kandé et al., 1998):

- representação adequada dos conceitos de orientação a objetos, pois o ODP é baseado neste paradigma;

- expressar apropriadamente os conceitos de cada ponto de vista (usar a mesma linguagem em todos os pontos de vista);
- facilidade de entendimento e uso de forma a propiciar a comunicação entre as pessoas envolvidas no projeto;
- possibilidade de verificação da consistência entre os pontos de vista;

Considerado os benefícios da orientação a objetos e uma técnica que obedeça este paradigma e que também atenda os requisitos para a notação do ODP, escolheu-se a linguagem UML (*Unified Modelling Language*) como técnica a ser usada neste trabalho.

2.6 RELAÇÃO ENTRE UML E ODP

Existem trabalhos que usam a UML como linguagem para a especificação dos pontos de vista do ODP, pois as notações deste facilitam a migração de um ponto de vista para outro (Blanc et al., 2000); (Blanc et al., 1999); (Becerra, 1998); (Kandé et al., 1998).

No trabalho de Costa et al.(2001) foram aplicados vários dos diagramas da UML (de casos de uso, de classes, de seqüência, de estados, de atividades e de componentes) para a modelagem de um sistema de informação através dos pontos de vista **empresa, informação e computação**. Destaca-se neste trabalho que a UML além de prover uma notação integrada para representar o sistema de informação, permite a migração natural entre as fases do projeto deste. Dentro desta proposta, os diagramas de casos de uso, de componentes e de seqüência são usados para a modelagem do ponto de vista de **empresa**, enquanto que os diagramas de classe e os diagramas de estados são usados para o pontos de vista de **informação**. O ponto de vista de **computação** é modelado através do uso dos diagramas de seqüência e os diagramas de atividades.

No trabalho de Kandé et al. (1998), é proposto que se utilize para cada ponto de vista da ODP um diagrama apropriado da UML, de modo a projetar um sistema de forma consistente e com alta rastreabilidade dentro dos pontos de vista.

No entanto, a pesar das vantagens da UML, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos relacionando a UML e a Rede de Petri de maneira a suportar a análise formal dos modelos gerados nesta linguagem (Baresi; Pezze, 2001). (Giese et al.,

1999); (Douglass, 1998); A principal característica da rede de Petri é possuir uma semântica formal efetiva para modelar e analisar uma grande variedade de sistemas. No Anexo A são apresentadas as principais características desta técnica.

Para o caso do presente trabalho considera-se especificamente a rede de Petri porque além da característica já citada esta constitui uma técnica de comprovada eficiência para tratar sistemas que possuem um comportamento dinâmico definido através das mudanças de estados discretos devido à ocorrência de eventos instantâneos (Sistemas a Eventos Discretos -SED-) (Miyagi, 1996); (Ramadge; Wonham, 1989). Dentro desta caracterização emolduram-se os sistemas prediais (entre cujos eventos podem considerar-se por exemplo: abertura e fechamento de portas, acionamento e desligamento de lâmpadas, chamada de elevadores, etc) para os quais vários trabalhos usando a rede de Petri tem sido realizados com sucesso (Bastidas Gustin, 2000); (Villani, 2000) (Gomes, 1997).

2.7 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentadas algumas das definições existentes sobre edifícios inteligentes e foram consideradas suas principais 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 distribuídos e abertos os quais se fundamentam em uma arquitetura que suporta um conjunto consistente de padrões internacionais, que visam garantir a interoperabilidade e portabilidade das aplicações. Dentro deste contexto e considerando que um sistema de automação com as características dos sistemas abertos e distribuídos abrange uma efetiva integração dos diversos sistemas envolvidos, assegurando a flexibilidade e interoperabilidade entre seus elementos, este trabalho aborda os edifícios inteligentes e seus sistemas prediais através deste conceito.

Considerando que os sistemas distribuídos e abertos requerem para sua concepção e operação técnicas efetivas para modelagem e análise, este capítulo apresentou também o ODP como um modelo de referência que permite, através de diversas abstrações, criar um sistema com características de abertura, distribuição,

integração, flexibilidade e modularidade. A aplicação do ODP é realizada através do uso dos conceitos da orientação a objetos (o que permite entre outras coisas a estruturação do processo de modelagem do sistema) e especificamente através de uma linguagem que considere estes conceitos. Assim, dentro das linguagens existentes, escolheu-se a UML por representar diferentes perspectivas de um mesmo sistema e por ser atualmente um padrão de fato. Para realizar a análise consideram-se o uso das redes de Petri por ser esta técnica matemática e gráfica de grande eficácia para a modelagem e análise de sistemas a eventos discretos, dentro dos quais se pode caracterizar os sistemas prediais.

3. MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS E ABERTOS

Neste capítulo é apresentado o formalismo que está sendo proposto para o suporte à modelagem de sistemas distribuídos e abertos para automação predial. Este formalismo é derivado da aplicação dos conceitos de orientação a objetos à rede de Petri e a consideração do ODP.

3.1 ESCOLHA DO FORMALISMO

A modelagem é uma das mais importantes atividades a serem realizadas quando se deseja projetar ou modificar um sistema. A escolha da técnica que melhor pode representar em um modelo as características do sistema é de grande importância e define além da forma de realizar a análise do sistema, a maneira como o projeto e a proposta final serão apresentados.

Neste contexto e considerando especificamente os sistemas distribuídos e abertos o ODP (apresentado no capítulo anterior, item 2.5) tem um papel especial ao permitir modelar estes através de seus cinco pontos de vista. No entanto, não estipula nenhuma linguagem para realizar esta tarefa apesar de estar claro que a linguagem escolhida deve representar adequadamente os conceitos de orientação a objetos, pois o ODP é baseado neste paradigma. Por outro lado, a orientação a objetos não conta com um método formal abrangente e totalmente aceito para analisar os modelos

gerados. Assim, vários trabalhos têm considerado este aspecto, propondo técnicas de modelagem e análise formal dentro do ODP baseadas principalmente em LOTOS, SDL e Z (Diagne, 1996). Neste contexto e, considerando os trabalhos que relacionam as redes de Petri com a orientação a objetos (Baresi; Pezze, 2001); (Giese et al., 1999); (Douglass, 1998) de modo que, por um lado procura-se uma maior estruturação e reutilização dos modelos gerados e de outro lado que estes mesmos modelos possam suportar a análise formal. Além disso, sua comprovada efetividade para modelar e analisar sistemas a eventos discretos e especificamente sistemas prediais (Bastidas Gustin, 2000); (Villani, 2000) fazem desta abordagem a escolhida como formalismo base neste trabalho. (O anexo A apresenta os fundamentos básicos da rede de Petri, que permitem uma maior compreensão desta técnica).

De maneira geral, existem diferentes formas de realizar a associação entre rede de Petri e orientação a objetos. Segundo Zapf; Heinzl (1999) e Bastide (1995), as propostas neste sentido podem classificar-se em:

A. Integração de conceitos de orientação a objetos dentro das redes de Petri

Neste tipo de rede as MARCAS representam objetos que modelam as propriedades estáticas do sistema (estrutura de dados) enquanto que a rede controla a dinâmica do sistema (estrutura de controle do sistema). As MARCAS da Rede de Petri são consideradas instâncias de classes descritas em alguma linguagem orientada a objetos. Através do disparo das TRANSIÇÕES, os atributos dos objetos podem ser lidos e manipulados ou seus métodos podem ser executados. O disparo de uma transição também pode criar e/ou destruir objetos. Um exemplo destas redes são: SimCon (*Simple Integrated Model for Complex Object Networks*) que procura ligar as propriedades estáticas e dinâmicas do sistema (Zapf; Heinzl, 1999) e THORNS (*Timed Hierarchical Object-Related Nets*), nesta rede a linguagem C++ é utilizada para a definição das classes e os objetos (Schöf; et al., 1995).

B. Integração da rede de Petri dentro de técnicas de orientação a objetos

Neste tipo de rede o sistema é estruturado com base em técnicas orientadas a objetos, assim, primeiro os objetos relevantes ao sistema e suas relações são identificadas. Depois, a descrição do comportamento do objeto e a comunicação

entre objetos é especificada com a ajuda da rede de Petri. Aqui a MARCAÇÃO da rede indica o estado de um objeto e as TRANSIÇÕES representam a execução de um método deste objeto. Assim, a rede modela a disponibilidade de métodos e as seqüências potenciais destes. Para a construção do modelo global de um sistema unem-se as redes que correspondem a cada objeto do sistema (descrevendo formas de comunicação e interação entre os objetos). Alguns exemplos são: OBM (*Object Behaviour Model*) (Zapf; Heinzl, 1999), o qual utiliza conceitos da orientação a objetos como: classes, encapsulamento, herança e polimorfismo; HOOD (*Hierarchical Object Oriented Design*) (Paludetto, 1991); G-CPN (*G-Coloured Petri Net*) derivada da união da Rede de Petri coloridas e as G-net (Perkusich et al., 1996); OOPN (*Object-Oriented Petri Net*) (Wang, 1996) e, CO (*Cooperative Objects*) baseadas na Rede de Petri colorida (Bastide et al. 1995); (Bastide, 1999).

C. Integração entre técnicas de orientação a objetos e rede de Petri

Este tipo de rede mistura as duas abordagens anteriores e pode ser considerado como uma evolução dos modelos de rede embarcados dentro dos objetos. Neste modelo, inicialmente os objetos são usados para determinar a estrutura do sistema, a seguir o comportamento dos objetos é modelado com a ajuda de redes. No entanto, as redes não precisam carregar MARCAS indistintas, estas podem conter referências a outros objetos cujo comportamento também é modelado através de uma rede e assim sucessivamente. Este processo de aninhamento facilita modelos de múltiplas camadas com comportamentos concorrentes. Nesta abordagem, tanto a marca como a rede são objetos e podem ser utilizados em qualquer contexto (Zha, 2000), assim, o modelador é livre para escolher como as várias atividades serão compostas determinando se um objeto será passivo ou ativo (Lakos, 1995a). Alguns exemplos deste tipo de rede são as: PN-TOX (*Petri Net Tool for Object Concurrency specification*) (Zapf; Heinzl, 1999), que oferece a capacidade de utilizar diferentes tipos de rede e a OPN (*Object Petri Net*) (Valk, 2000); (Valk, 1998); (Lakos, 1995a); (Lakos, 1995b); (Lakos, 1996), que está baseada na Rede de Petri colorida e pode ser traduzida para estas. A rede OPN procura integrar os conceitos de orientação a objetos à rede de Petri incluindo polimorfismo e herança.

Da consideração das propostas para relacionar a orientação a objetos e rede de Petri, para o presente trabalho destacam-se os seguintes aspectos:

- é desejável que seja possível construir um modelo global do sistema através da interação das redes que representam o comportamento dos objetos que o compõem;
- os objetos devem poder interagir mantendo seu encapsulamento;
- não é aconselhável a incorporação de regras complexas que comprometam a visualização gráfica do modelo em rede de Petri.

Da análise dos diferentes trabalhos citados anteriormente e dentre as características dos tipos de redes de Petri existentes, escolheu-se como técnica a ser usada a rede de Petri colorida. Esta escolha deveu-se a que esta rede apresenta características adequadas para a integração com diferentes abordagens.

Entre as características principais desta rede estão as seguintes (Jensen, 1990):

- conta com uma semântica que define sem ambigüidade o comportamento da rede;
- permite modelar processos assíncronos complexos;
- suas MARCAS possuem atributos (MARCAS distinguíveis ou “coloridas”) que podem estar associadas a diferentes informações como: o processo, o controle, etc. Os atributos podem assumir qualquer tipo¹;
- a coloração da rede permite representar estruturas de dados;
- pode incorporar o conceito de tempo permitindo a validação de propriedades como os tempos de resposta, os atrasos, etc;
- permite descrever uma grande variedade de sistemas de natureza distinta;
- descreve tanto o estado como o comportamento;

¹ O tipo determina os valores que um atributo pode ter (representação interna destes valores) e as operações que podem ser realizadas com ele (Cantù, 1995).

- possui métodos de análise formal que permitem a verificação das propriedades da rede.
- permite construir modelos adequados à expressão e avaliação de propriedades

Neste contexto e considerando também as características levantadas por Holvet e Verbaeten (2001) para os sistemas distribuídos e abertos a abordagem escolhida deve ser capaz de descrever:

- Concorrência: as atividades concorrentes que podem ser inter-objetos (ocorre quando os objetos comunicam-se) ou intra-objetos (ocorre da execução concorrente de métodos internos);
- Autonomia: quando não existe a priori uma relação mestre/escravo ou escravo/mestre entre as entidades concorrentes;
- Heterogeneidade: quando a arquitetura de computadores, as redes de comunicação, os sistemas operativos e até as linguagens de programação podem ser heterogêneos.

Introduz-se assim, uma nova rede que permita considerar estas características e os conceitos de orientação a objetos à rede de Petri colorida e ainda leve em conta os aspectos mais relevantes do ODP para realizar a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos.

3.2 REDE DE PETRI MODULAR COLORIDA BASEADA EM OBJETOS (RPMCO)

Com o intuito de aumentar ainda mais as potencialidades da rede de Petri colorida e visando a sua utilização para a modelagem e a análise de sistemas distribuídos e abertos para integração de sistemas prediais, é introduzida uma extensão desta baseada na aplicação dos conceitos de objetos. Esta rede é denominada Rede de Petri Modular Colorida baseada em Objetos (RPMCO).

Antes de apresentar a definição formal da rede proposta tratam-se a seguir os conceitos considerados nela:

a). Objetos e Classes

Em geral as técnicas orientadas a objetos permitem a estruturação de um sistema distribuído em entidades que gerenciam recursos e que interagem entre si. A estrutura de uma entidade é inteiramente determinada pelos princípios de encapsulação e de interface. Assim, um objeto encapsula seu estado e seu comportamento e a única forma para modificar o estado deste objeto é através dos métodos disponibilizados na sua interface.

b). Módulo

Em conformidade com o paradigma da orientação a objetos pode-se considerar um módulo como uma classe que oferece métodos para sua manipulação e a partir da qual se podem criar instâncias.

Os métodos utilizados por um módulo devem ser especificados assim como as eventuais operações de exceção associados a sua invocação.

Cada módulo tem autonomia de comportamento e objetivos próprios ou deve atender aos objetivos que lhe são demandados.

A interface de um módulo tem uma abstração de seu ambiente² ao representar o que é atendido pelo ambiente e o que este requisita.

- **Autonomia de um módulo** A autonomia de um módulo é fundamental na especificação de sistemas distribuídos e neste caso particularmente dos sistemas prediais. Para isto o módulo deve ser capaz de reagir aos eventos locais de maneira independente do ambiente. Estes eventos podem desencadear operações autônomas isto é, não invocáveis pelo ambiente, mas que podem iniciar interações com este. Os módulos devem também ser capazes de tratar operações de exceção para continuar as interações com seu ambiente. As operações de exceção são importantes para garantir às interações, isto é, são meios para isolar o módulo em relação aos comportamentos de seu ambiente que se julga como erro. Isto é importante no contexto deste trabalho porque uma das

² Entende-se ambiente como o conjunto de todos os outros módulos do sistema.

características de um sistema predial é a determinação dos seus comportamentos em função das interações com os outros sistemas prediais.

- **Operações de um módulo** O comportamento de um módulo está definido pelas suas operações e suas interações. Os métodos oferecidos e utilizados especificam as dependências entre as operações dos diferentes módulos

As operações de um módulo são classificadas em função da sua semântica em dois tipos:

- Transações: podem ser invocadas a partir do ambiente. Estas podem ser interrogativas e portanto, produzir um resultado ou ser enunciativas.
- De exceção: Estas constituem derivações do fluxo de controle que seguem às interações.

c). Interação

É uma relação dinâmica entre dois módulos que segue o princípio de ação e reação dentro dos limites permitidos pela autonomia de cada um dos participantes sendo que um assume o papel de servidor e o outro de cliente. Os critérios de correção de uma interação são estabelecidos por um compromisso entre as restrições impostas pelo servidor para seu acesso e o objetivo expressado pelo cliente. As interações que respeitam tais critérios são ditas válidas.

Um módulo pode ser visto como uma entidade encapsulada e parcialmente parametrizada. Uma interação toma uma parte dos atributos nos dados transmitidos em uma invocação e desencadeia um funcionamento (parcial) do módulo. Dois módulos que interagem constituem uma entidade temporária que é uma abstração de uma funcionalidade no sistema. Assim, a interação é um meio de composição entre módulos que permite garantir algumas das funcionalidades do sistema.

Para poder especificar o comportamento de um módulo a partir de suas operações é necessário conhecer suas interações.

Distinguem-se três tipos de interação nos sistemas distribuídos:

- demanda de método: corresponde ao fornecimento dos dados necessários à realização do método. Esta interação faz com que o servidor produza um resultado que deve ser esperado pelo cliente.
- notificação: corresponde a uma interação na qual se espera a ocorrência de um evento. Esta interação não produz resultado.
- intercâmbio contínuo de dados: corresponde ao fornecimento de dados sobre um meio de transmissão. Esta interação não produz resultado.

A notificação corresponde à noção de sinal (definido pelo ODP como “uma ação atômica resultante da comunicação em um sentido de um objeto inicializador a um objeto que aceita esta” (ISO, 1998a)

As interações válidas permitem representar o comportamento dos módulos e do sistema. Existe um paralelismo inter-módulos no sentido que um módulo servidor pode estar em interação com mais de um módulo cliente e ao mesmo tempo ter outras interações com outros módulos para as quais é cliente. Assim, quando se especifica cada módulo estabelecem-se as seqüências de interação que ele autoriza a seu ambiente e, estas seqüências determinam os métodos oferecidos. Um módulo pode utilizar os métodos oferecidos por outros módulos, estes métodos constituem então os métodos utilizados. Os métodos oferecidos e utilizados constituem as obrigações que determinam a validade das interações.

As interações com o ambiente são subordinadas aos critérios de avaliação que fazem com que seus resultados sejam aceitos ou não.

Métodos requeridos e a abstração do ambiente: Cada invocação de uma operação de um método utilizado, deve ter em conta se o servidor está em estado de processar a operação (restrições de seqüência de operações). O não respeito das restrições é considerado como um erro na modelagem. Se as restrições são respeitadas, o resultado (no caso de uma interrogação) produzido pelo servidor leva em conta o esperado pelo cliente e as eventuais exceções se as houver.

Mecanismos de modularização Existem mecanismos que permitem aos módulos se unirem em sistemas, estes são:

- *Composição estrutural*: uma conexão estrutural é uma associação conceptual entre duas entidades (Rumbaugh, et al. 1991). Este tipo de conexão denota uma certa visão de um sistema que pode ou não influenciar sua dinâmica. Por exemplo uma conexão de agregação entre duas entidades estabelece uma semântica ligada à dinâmica porque a composição utiliza as funcionalidades do módulo. Pelo contrario um laço de generalização/especialização não inclui necessariamente semântica ligada ao controle.
- *Composição funcional*: Cada módulo define na sua interface as interações as quais ele se compromete a participar. Esta definição se faz em duas fases:
 - definir os métodos oferecidos pelo módulo que especificam as restrições que ele impõe ao ambiente;
 - importar do ambiente os métodos oferecidos pelos outros módulos e especificar o esperado ao módulo requisitado a respeito destes métodos.

O fato de impor restrições na especificação dos módulos permite validar todas as interações no sistema e evitar assim, a ocorrência de erros no sistema. Estas restrições servem de filtro determinando as interações válidas entre todas as que são possíveis.

3.2.1 ODP E RPMCO

A RPMCO considera alguns dos principais conceitos adotados no ODP para a modelagem e a análise dos sistemas distribuídos e abertos.

O ODP é um modelo genérico que não considera uma especificação particular para uma classe dada de sistemas distribuídos:

“The RM-ODP is generic, that is, independent of, and equally applicable to, arbitrary application domains making use, of requiring distributed system technology. Specific application domains may consider refining and specializing the RM-ODP to suit their particular needs, resulting in a model and standards for the realization of functions and components identified in the specific reference model” (ISO/IEC 10746-1, 1998).

Assim, com base no enunciado anterior este trabalho estuda a modelagem da interação distribuída dos sistemas prediais.

As interações sobre os objetos são apoiadas na noção de método. O ODP tem proposto três tipos de interação (item 2.5.2 B) que tem por finalidade um maior controle destas e das suas restrições.

A RPMCO tem em conta as expressões dos pontos de vista da informação e da computação do ODP. Nesta abordagem eles se tratam de maneira integrada pois eles não podem ser considerados independentemente um de outro.

As operações constituem a visão funcional sobre os módulos de um sistema. Estes são a especialização do ponto de vista computacional do ODP na abordagem por módulos ao utilizar-se da repartição lógica das funcionalidades do sistema sobre seus módulos.

A RPMCO não considera o conceito de herança porque se busca uma descrição dos módulos e da sua interação (Matsuoka; Yonezawa, 1993).

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DA RPMCO

A seguir apresentam-se as principais características desta rede:

A RPMCO considera princípios de abstração, modularização e encapsulamento. Na modelagem realizada usando a RPMCO considera-se que um sistema complexo pode ser percebido como resultante da composição de módulos e a cooperação entre eles. Desta forma, descreve-se o sistema global através de módulos e suas conexões através das interfaces destes. Cada módulo tem uma estrutura independente. Esta é uma característica particularmente útil quando se considera que

um sistema abordado através de módulos facilita e aumenta a rastreabilidade de sua especificação.

Cada módulo representa uma classe com seus estados e comportamentos (isto é, uma estrutura de controle interna de cada classe a qual pode ser implementada de maneira seqüencial ou concorrente) e define um grupo de métodos oferecidos e/ou utilizados de ou para outros módulos do sistema (cada módulo se encontra sobre estímulos de eventos externos e internos).

Em geral a organização em módulos permite que estes sejam convenientemente combinados de modo a suportarem de forma eficaz o desenvolvimento de sistemas complexos.

Um módulo especifica a parte observável de um sistema. Dentro de um módulo podem ser realizadas as seguintes transformações básicas:

- Refinamento: procura identificar mensagens de entrada e saída, definir concretamente os métodos oferecidos e utilizados, determinar as relações e/ou atributos relacionadas aos métodos;
- Abstração: produz módulos menos específicos que definem os mesmos métodos. Isto permite o re-uso da especificação ao deixar que o mesmo modelo possa ser usado em diferentes níveis de precisão;
- Composição: permite construir um módulo a partir de módulos menores. Aqui o módulo resultante deve satisfazer a especificação requerida dado que os módulos menores também satisfazem as suas respectivas especificações;
- Decomposição: permite dividir um módulo em módulos menores. Aqui deve assegurar que os requerimentos do módulo maior sejam atendidos pelos módulos menores.

As transformações podem ser aplicadas através das suas combinações.

Os módulos devem encapsular a estrutura interna a fim de restringir o acesso desde módulos externos. A encapsulação é garantida devido a acessibilidade de cada módulo que é restrita aos métodos oferecidos.

Os módulos de um sistema são modelados através de uma RPMCO o que permite analisar suas propriedades comportamentais.

3.2.3 ESTRUTURA DE UM MÓDULO EM RPMCO

Cada módulo da RPMCO é composto estruturalmente por duas subestruturas:

1. Interface³ do Módulo - IM: determina a visão do módulo para o resto do sistema. Nela estão declarados os atributos (dados sobre os quais o módulo atua), métodos encapsulados (serviços oferecidos pelo módulo), os métodos que o módulo utiliza (serviços oferecidos por outros módulos) e as restrições que permitem encapsular adequadamente os dados. Estas informações devem assegurar sua interoperabilidade.

Somente através da interface do módulo os outros módulos do sistema podem ter acesso aos métodos e atributos encapsulados dentro do módulo (este proporciona um grupo de métodos que podem ser invocados por outros módulos do sistema) e por sua vez apenas através da interface do módulo este é capaz de acessar os métodos de outros módulos.

2. Unidade Comportamental – UC : é a estrutura interna que especifica a abstração dos dados da interface. Aqui é modelado o comportamento interno do módulo. Esta modelagem é realizada através de uma rede de Petri colorida. Nesta abordagem, considera-se a rede de Petri colorida baseada em objetos, onde a sua estrutura de dados interna é definida por sua cor. Assim, a MARCA é usada para reter os dados do módulo, a MARCAÇÃO da rede representa o estado deste e as TRANSIÇÕES descrevem a execução de seus métodos (para o qual opera com os dados do objeto – MARCA-). Desta forma, a rede de Petri modela a disponibilidade de métodos e os estados a potencial seqüência de execução destes. Em geral a rede ilustra o fluxo de controle e o fluxo de dados ao indicar o fluxo de MARCAS através desta. Cada método definido na interface corresponde a uma funcionalidade interna do módulo que é expressada na unidade comportamental.

³ Interface é uma coleção de operações que especifica os serviços disponibilizados por uma classe e as formas de interação de um objeto desta classe com outros objetos do sistema (Booch et al., 1999).

Para a construção do modelo global de um sistema unem-se as redes que correspondem a cada unidade comportamental de cada módulo do sistema (descrevendo as formas de interação entre os módulos).

Assim, a RPMCO introduz uma estruturação de sistemas distribuídos de uma maneira mais restritiva que as resultantes geralmente das metodologias orientadas a objetos

Um exemplo simples da representação gráfica e dos conceitos básicos da rede RPMCO é apresentado na figura 3.1. Nesta rede o comportamento de um módulo (classe) é modelado na unidade comportamental. Aqui define-se também a cor de seus lugares que no caso do exemplo é MSG o qual limita o acesso ao lugar somente a marcas desta cor. Na interface do módulo são indicadas as TRANSIÇÕES que representam os métodos que este oferece (método 1, método 2) e utiliza (método 3), os atributos e as suas restrições.

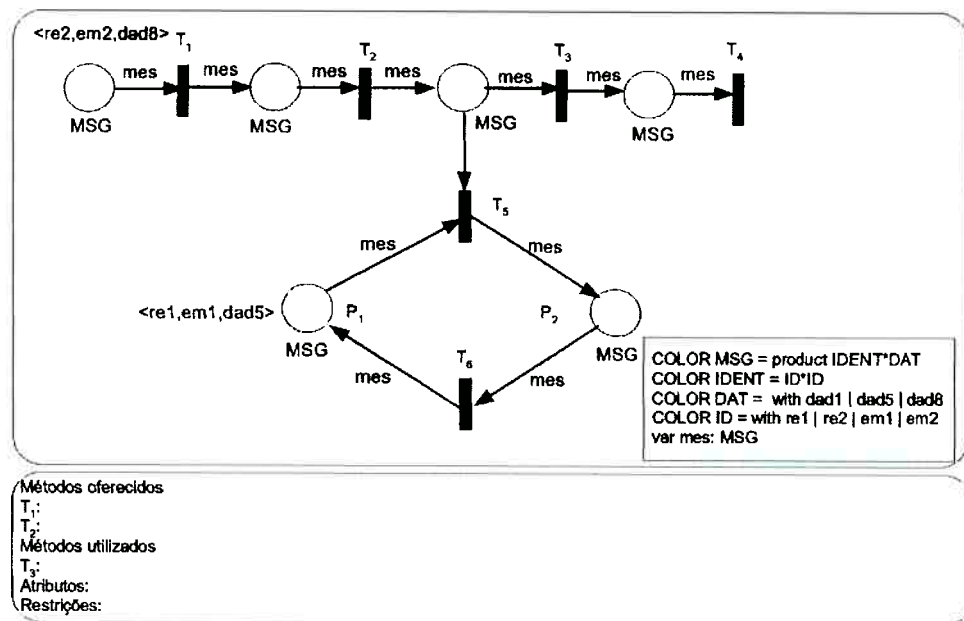


Figura 3.1 Representação gráfica de uma classe em RPMCO

3.2.4 DEFINIÇÃO DE RPMCO

A seguir é apresentada a formalização da RPMCO. Assim, inicialmente serão apresentadas as definições matemáticas básicas usadas:

Um *multi-set* é intuitivamente um conjunto, mas neste caso podem existir múltiplas aparições de um mesmo elemento dentro deste.

Definição 3.1: Um multi-set m sobre um conjunto não vazio de S , é uma função $m \in [S \rightarrow \mathbb{N}]$. O inteiro não negativo $m(s) \in \mathbb{N}$ é o número de vezes que aparece o elemento s no *multi-set* m . Usualmente representado pela soma formal:

$$m = \sum_{s \in S} m(s) \cdot s$$

$$s \in S.$$

Por notação é colocado o símbolo \cdot entre cada coeficiente e o elemento do *multi-set*

Por S_{MS} denota-se o conjunto de todos os *multi-sets* sobre S

Definição 3.2: as operações adição, multiplicação escalar, comparação e tamanho de *multi-sets* são definidos conforme apresentado na tabela 3.1 para $m, m_1, m_2 \in S_{MS}$ e todo $n \in \mathbb{N}$.

Tabela 3.1 Propriedades dos multi-sets

OPERAÇÕES		DEFINIÇÃO
Adição	$m_1 + m_2$	$\sum_{s \in S} (m_1(s) + m_2(s)) \cdot s$
Multiplicação escalar	$n \cdot m$	$\sum_{s \in S} (n \cdot m(s)) \cdot s$
Comparação; \geq e $=$ são definidos analogamente para \leq	$m_1 \neq m_2$ $m_1 \leq m_2$	$\exists s \in S: m_1(s) \neq m_2(s)$ $\forall s \in S: m_1(s) \leq m_2(s)$
Tamanho	$ m $	$\sum_{s \in S} m(s)$ Quando $ m = \infty$ se diz que m é infinito. Caso contrário m é finito
Subtração	$m_1 - m_2$	$\sum_{s \in S} (m_2(s) - m_1(s)) \cdot s$ Quando $m_1 \leq m_2$

A semântica e a sintaxe da linguagem usada nas expressões da RPMCO seguem as mesmas regras estabelecidas na rede de Petri colorida definida em Jensen

(1990) e tem sido acrescentada a esta o conceito de prioridade para a resolução de conflitos.

Definição 3.3: A rede de Petri é um grafo bipartido constituído de um conjunto de LUGARES P , um conjunto de TRANSIÇÕES T e arcos que conectam LUGARES a TRANSIÇÕES e vice-versa (Pre, Pos). Os conjuntos de LUGARES e TRANSIÇÕES são disjuntos. Sendo dado um LUGAR p ou uma TRANSIÇÃO t adota-se a seguinte notação:

$$(i) \bullet p = \{t \in T, \text{Pre}(p,t)\} \text{ e } p\bullet = \{t \in T, \text{Pos}(p,t)\},$$

$$(ii) \bullet t = \{p \in P, \text{Pre}(p,t)\} \text{ e } t\bullet = \{p \in P, \text{Pos}(p,t)\}.$$

A seguir apresenta-se a definição formal da RPMCO.

Definição 3.4: Uma rede de Petri Modular Colorida baseada em Objetos – RPMCO, N_{RPMCO} é uma tupla $\langle UC, \text{Ident}, IM \rangle$ onde:

UC: é a Unidade Comportamental e constitui uma rede de Petri colorida (Jensen, 1990) a qual é uma tupla $\langle \Lambda, P, T, A, L, W, G, E, J, Pr \rangle$ onde:

Λ é o conjunto finito e não vazio de cores

P é um conjunto finito de LUGARES.

T é um conjunto finito de TRANSIÇÕES.

A é um conjunto finito de ARCOS tal que:

$$P \cap T = P \cap A = T \cap A = \emptyset$$

L : é uma função nó. que relaciona cada ARCO a um par onde o primeiro elemento é a origem do nó e o segundo é destino do nó. Os dois nós têm de ser diferentes (um LUGAR e uma TRANSIÇÃO ou vice-versa). Assim, define-se o conjunto de ARCOS A como um conjunto separado de nós.

$$L: A \rightarrow P \times T \cup T \times P$$

W : é uma função denominada conjunto de cores que associa a cada LUGAR p de P uma cor pertencente a Λ , mapeando cada LUGAR, p , para cada conjunto de cores $W(p)$. Intuitivamente, isto significa que cada MARCA em p deve pertencer ao tipo $W(p)$.

$W: P \rightarrow \Lambda.$

G : é uma função, denominada função “guarda”. Esta função relaciona cada TRANSIÇÃO t a uma expressão de tipo booleana, isto é um predicado. Entretanto, toda variável em $G(t)$ deve ter tipos que pertencem a Λ . G é definida em T com expressões tal que:

$$\forall t \in T: [\text{Tipo}(G(t)) = \text{BOOLEANA} \wedge \text{Tipo}(\text{Var}(G(t))) \subseteq \Lambda]$$

E : é uma função expressa no ARCO. Esta relaciona cada ARCO com uma expressão que deve ser do tipo $W(p(a))_{MS}$. Isto significa que o valor de cada expressão deve produzir um *multi-set* no conjunto de cores que é anexado ao correspondente LUGAR. E é definida a partir de A em expressões tal que:

$\forall a \in A: [\text{Tipo}(E(a)) = W(p(a))_{MS} \wedge \text{Tipo}(\text{Var}(E(a))) \subseteq \Lambda]$ onde $p(a)$ é o LUGAR de $L(a)$.

$W(p)_{MS}$ é o conjunto de todos os *multi-sets* definidos sobre W .

J : é uma função de inicialização. Esta é definida a partir de P em expressões fechadas (sem variáveis) tais que:

$$\forall p \in P: [\text{Tipo}(J(p)) = W(p)_{MS}]$$

Pr : é uma função denominada “prioridade” e é expressa na transição. Esta função relaciona cada transição t a um número natural. A prioridade mais alta é a prioridade 0. \ uma transição dispara quando estiver habilitada e, se tendo prioridade, possui a mais alta delas. Pr é definida em T com expressões tais que:

$$Pr(t) = n \in \mathbb{N}$$

$$Pr(t) = 0 > Pr(t) \neq 0$$

$Ident$: identificador único de maneira que para cada RPMCO diferentes N_{RPMCO_1} e N_{RPMCO_2} se tem: $Ident_1 \cap Ident_2 = \emptyset$

IM é a Interface do Módulo a qual é uma dupla $\langle MT, Rest, At \rangle$ onde:

MT é um conjunto finito e não vazio de métodos (me).

MT_U é o conjunto de métodos utilizado pelo módulo.

MT_0 é o conjunto de métodos oferecidos pelo módulo

$$MT_U \cap MT_U = \emptyset$$

Rest é o conjunto de restrições

At é o conjunto de atributos manjeados pelo módulo

Comportamento da RPMCO

Para definir o comportamento de uma RPMCO introduz-se a seguinte notação:

$$\forall t \in T: \text{Var}(t) = \{v \mid v \in \text{Var}(G(t)) \vee \exists a \in A(t): v \in \text{Var}(E(a))\}$$

$$\forall (x_1, x_2) \in (P \times T \cup T \times P): E(x_1, x_2) = \sum E(a) \text{ onde } a \in A(x_1, x_2)$$

Onde, $\text{Var}(t)$ é chamado de conjunto de variáveis de t enquanto que $E(x_1, x_2)$ é chamado de expressão de (x_1, x_2) . A somatória indica a adição das expressões e é definida porque toda expressão participante tem um tipo de *multi-set* comum.

Definição 3.5: Um vínculo (neste contexto vínculo refere-se a outorgar um valor à variável que aparece expressada nos arcos) de uma TRANSIÇÃO t é uma função b definida em $\text{Var}(t)$, tal que:

$$\forall v \in \text{Var}(t): b(v) \in \text{Tipo}(v) \wedge G(t) \langle b \rangle.$$

$B(t)$ é chamado o conjunto de todos os vínculos para t

Definição 3.6: Uma MARCA é um par (p, c) onde $p \in P$ e $w \in W(p)$, enquanto um elemento vinculado é um par (t, b) onde $t \in T$ e $b \in B(t)$. O conjunto de todas as MARCAS é denotado por TE , enquanto que o conjunto de todos os elementos vinculados é denotado por BE .

Definição 3.7: Uma MARCAÇÃO de uma RPMCO é um *multi-set* em TE enquanto uma etapa é um *multi-set* não vazio e finito sobre BE . A MARCAÇÃO inicial M_0 é uma marcação obtida pela avaliação da expressão de inicialização:

$$\forall (p, w) \in TE: M_0(p, w) = (J(p))(w)$$

Os conjuntos de todas as MARCAÇÕES e etapas são denotadas por M e Y respectivamente.

Definição: 3.8: Uma etapa Y é habilitada em uma marcação M se e somente se as seguintes propriedades forem satisfeitas:

$$\forall p \in P: \sum E(p, t) \langle b \rangle \leq M(p), \text{ onde } (t, b) \in Y$$

Tem-se que para todo ARCO de entrada da TRANSIÇÃO t , o resultado da expressão de cada um destes ARCOS deve ser um *multi-set* pertencente (menor) ao *multi-set* existente em cada LUGAR p de origem de cada ARCO.

Caso a expressão do arco não seja coerente com a função de “guarda” a TRANSIÇÃO não é habilitada.

Definição 3.9: Quando uma etapa Y é habilitada em uma MARCAÇÃO M_1 , esta etapa pode ocorrer, mudando a marcação M_1 para outra MARCAÇÃO M_2 , definida por:

$$\forall p \in P: M_2(p) = (M_1(p) - \sum E(p, t) \langle b \rangle) + \sum E(t, p) \langle b \rangle \text{ onde } (t, b) \in Y$$

A primeira soma envolve as MARCAS removidas, enquanto a segunda envolve as de MARCAS adicionadas na RPMCO.

Neste caso, M_2 é dita diretamente alcançável por M_1 pela ocorrência da etapa Y , a qual também denota-se por: $M_1 [Y > M_2$

Definição 3.10: Uma seqüência finita de ocorrências é uma seqüência de MARCAÇÕES e etapas:

$M_1 [Y_1 > M_2 [Y_2 > M_3 \dots M_n [Y_n > M_{n+1}$ onde $n \in \mathbb{N}$ e $M_i [Y_i > M_{i+1}$ para todo $i \in 1..n$. A MARCAÇÃO M_1 é chamada de MARCAÇÃO inicial da seqüência ocorrida, enquanto a MARCAÇÃO M_{n+1} é chamada de MARCAÇÃO final. O inteiro não negativo n é chamado de número de etapas na seqüência ocorrida.

Definição 3.11: Uma MARCAÇÃO M'' é alcançável a partir de uma MARCAÇÃO M' se e somente se existe uma seqüência finita de ocorrências tendo M' como MARCAÇÃO inicial e M'' como MARCAÇÃO final, por exemplo: se para algum $n \in \mathbb{N}$ há uma seqüência de etapas $Y_1 Y_2 \dots Y_n$ tal que:

$$M' [Y_1 Y_2 \dots Y_n > M''.$$

Também diz-se que M'' é alcançável de M' em n etapas. O conjunto das MARCAÇÕES alcançáveis de M' são denotadas por $[M' >$.

Comunicação entre módulos

O paradigma cliente servidor é comumente usado em objetos quando estes inter-atuam (Tokmakkof, 1998). Na presente proposta este paradigma é usado considerando como cliente o módulo que realiza a chamada de métodos e como servidor o módulo que é chamado.

A comunicação considerada entre os módulos da RPMCO é baseada no uso de um espaço de dados (Holvoet; Verbaeten, 2001); (Tokmakkoff, 1998). Os módulos se comunicam de duas maneiras:

- Assíncrona: esta é modelada através de um lugar compartilhado (o meio de comunicação) e de uma MARCA (mensagem) que o cliente coloca para ser enviada ao servidor (módulo) do qual ele está requerendo um método
- Síncrona: a sua modelagem utiliza se de dois lugares compartilhados. No primeiro é colocado através de uma MARCA a requisição do método ao servidor e no segundo é colocada a resposta deste.

Estas duas formas de comunicação: assíncrona e síncrona em uma RPMCO, permitem modelar a forma de comunicação comum em sistemas distribuídos (assíncrona) e na maioria de linguagens de programação (síncrona) (Maier; Mold, 2001).

As mensagens usadas na comunicação seguem a seguinte estrutura:

Definição 3.12: A estrutura de uma mensagem é dada por:

(re, em, dado) onde:

- re: é a identificação receptor da invocação (receptor)
- em: corresponde à identificação do invocador (emissor)
- dado: refere-se à informação contida na mensagem, a qual pode estar composta por: (disp, oper, param)
 - disp: refere-se ao dispositivo sobre o qual deve ser realizada uma ação.

- oper: ação que deve ser realizada sobre o dispositivo
- param: define os dados a operar na ação

A cor de uma mensagem é definida por os elementos que podem estar presentes na mensagem assim, por exemplo, define-se:

COLOR MSG = product ID*ID*DISP*OPER*PARAM

Onde:

ID: contem a identidade dos módulos envolvidos na comunicação: o receptor e o emissor.

DISP: contem os dispositivos (disp)

OPER: contem as operações (oper)

PARAM: contem os parâmetros (param)

3.2.5 ANÁLISE DA RPMCO

Em relação à análise de sistemas pode-se dizer que o aumento da complexidade dos sistemas de controle, das exigências sobre os custos, da confiabilidade e da segurança, têm enfatizado a necessidade de métodos de análise que garantam o funcionamento correto e seguro da solução adotada (com base na análise do comportamento do sistema através do seu modelo). Nestes métodos tanto a validação do modelo como sua verificação têm um papel fundamental.

A validação e a verificação permitem analisar se um sistema é consistente e correto.

Em geral, os métodos de análise diferem de acordo com as particularidades de cada modelo e das características a serem avaliadas (Holloway et. al., 1997).

Deve-se destacar que tanto na modelagem como na análise de sistemas, abordagens como a abstração e refinamento equivalem à representação do sistema em vários níveis de detalhe. Estas abordagens são imprescindíveis quando se trata sistemas complexos tanto pelo seu porte como pelo grau de integração de suas partes. Assim para a análise dos modelos tem-se optado por um método de refinamento *bottom – up*: no qual se parte de estruturas conhecidas e funcionais,-módulos-

previamente utilizadas ou provadas, e a partir destas se organiza um sistema maior e mais genérico com as funcionalidades desejadas.

Assim, as técnicas de análise aproveitam a modularidade ligada à introdução dos conceitos de orientação a objetos para evitar a explosão combinatória do espaço de estados devido ao porte dos modelos (em lugar de avaliar todas as possíveis instâncias combinadas das opções de controle, avalia se cada uma separadamente e combinam-se os resultados depois). Desta maneira o procedimento de análise é melhorado em contraposição à abordagem do sistema completo.

Os processos de verificação e validação são realizados de maneira incremental. Este aspecto incremental da validação/verificação permite proceder à avaliação de todos os modelos obtidos e evitar a influência de erros de uma fase nas outras. Pode-se considerar a análise de sistemas específicos com diferentes níveis de detalhamento nos módulos. Em cada caso é conveniente adotar uma abstração adequada do ambiente. Esta abstração garante a qualidade da validação e da verificação.

Por outra parte e tratando especificamente o ODP se considera que a formalização dos conceitos de modelagem e de especificação no modelo ODP é um importante passo em direção a melhorar o controle da qualidade no projeto de sistemas distribuídos e abertos. O ODP estabelece as bases necessárias para a federação destes sistemas e é conveniente então proceder a sua análise para assegurar que esta federação atenda condições de segurança e confiabilidade especificadas.

Em geral, para analisar um sistema distribuído e aberto deve-se considerar que (Diagne; Estrailier, 1997):

- estes sistemas são compostos de módulos construídos independente, os quais também podem ser compostos por outros módulos. Assim, estes sistemas podem ser melhor abordados quando considerados de maneira modular;
- os sistemas distribuídos e abertos são construídos da união de várias partes independentes. Assim a verificação destes não pode ser realizada no sistema como um todo e se faz necessário dividir a análise nas diferentes

partes e realizar esta de maneira composicional. As propriedades do sistema são inferidas das propriedades provadas nos seus módulos;

- a validação destes sistemas também precisam de um abordagem modular. Assim cada parte do sistema deve ser validada com base nos requerimentos que deve cumprir. No entanto deve-se ter cuidado quando se considera a integração das partes.

Neste contexto, não é adequado construir uma rede de Petri para o sistema inteiro. Assim, a abordagem proposta para a análise de sistemas distribuídos e abertos baseia-se em módulos, isto é, a rede de Petri de cada módulo é analisada separadamente. Desta maneira, as propriedades obtidas são usadas para obter informação de um módulo.

Validação: consiste em assegurar que o modelo proposto para um sistema representa adequadamente suas funcionalidades. Isto assegura que a especificação é completa, coerente e cumpre os objetivos fixados (Diagne; Estrailier, 1997). É a prova que determina se o modelo concorda com os requisitos do projeto e se o sistema se comporta de acordo com a sua especificação. A validação consiste em mostrar que o sistema não apresenta nenhuma propriedade inadequada que possa alterar o seu funcionamento.

Uma primeira etapa da validação consiste na análise da completude e coerência global do modelo. Assim é analisada a coerência entre as diferentes partes do módulo (interface, estrutura, etc.), e a coerência entre os métodos oferecidos e requisitados assim como sua semântica de utilização.

A coerência global de um modelo de sistema é o objeto da fase de validação e se baseia na validação sintática do modelo obtido.

Sobre um modelo em RPMCO pode-se tratar um certo nível de coerência considerando se:

- todos os métodos requeridos pelo módulo cliente devem ser oferecidos por um servidor. O cliente deve assegurar o respeito às restrições associadas aos métodos;

- a interface do módulo deve estar conforme a sua implementação. As interações específicas devem ser suportadas pela estrutura do módulo.

A validação pode ser realizada por simulação/animação com a finalidade de avaliar os modelos com relação aos requisitos expressados pelos usuários do sistema e detectar se o modelo construído alcança os estados não desejáveis do sistema. A simulação pode ser realizada em diferentes níveis de granularidade: módulo, sistema, ou sistema global. Esta simulação/animação (com entradas consistentes) é suportada na rede de Petri pelas ferramentas computacionais existentes que no caso do presente trabalho é o *CPN Tools*.

Simulações ajudam a conferir a lógica de controle dos sistemas prediais. Em automação predial modelos de simulação podem ser usados para prever o comportamento dinâmico atual do sistema por ter em conta os dados de entrada dos sensores e outras fontes. A simulação pode ajudar a gerar e avaliar múltiplas alternativas de controle baseado em um certo conjunto dado de critérios de preferências sem ser restringido pelas restrições que os edifícios e seus sistemas podem ter.

Verificação: É a prova de que a semântica interna do modelo é correta independentemente da especificidade do sistema modelado. Por exemplo, as propriedades em geral investigadas nos modelos são: *deadlock*, estabilidade de seu comportamento dinâmico, existência de certos estados, etc.

Abordagens para verificação

Para realizar a verificação de modelos existem duas abordagens:

Model checking: é a prova de propriedades através da enumeração dos estados atingíveis por um modelo.

Theorem proving: nesta abordagem se infere ou contradiz uma propriedade através de regras lógicas da matemática (Clarke; Wing, 1996).

A abordagem de verificação que se utiliza no presente trabalho é o *model checking*. No presente abordagem escolheu-se realizar a verificação através da análise do espaço de estados por meio do grafo de alcançabilidade ou grafo de ocorrência. Esta análise beneficia-se da decomposição do sistema e da modularidade

da rede e permite a construção do espaço de estados de redes menores com o qual evita-se o problema de explosão de estados. A idéia é gerar o espaço de estados para cada módulo (aqui as interações são vistas do ponto de vista interno e consideram as condições de invocação) e a informação necessária para capturar a interação entre os módulos.

A construção do grafo de alcançabilidade envolve essencialmente a enumeração de todas as marcações alcançáveis. Este grafo permite que através dele podem ser analisadas várias propriedades dinâmicas como a vivacidade, segurança, verificar *deadlock*. Este método é útil para a correção progressiva da especificação do sistema com diferentes níveis de precisão.

A exploração exaustiva dos estados alcançáveis se realiza a partir de um estado inicial determinado pelas configurações dos módulos RPMCO do sistema. A configuração de uma RPMCO é determinada pela marcação inicial. Assim se procura determinar as evoluções dos módulos que violem as restrições colocadas na especificação ou as que conduzam a estados de erro.

A construção progressiva de uma RPMCO considerando seus clientes e servidores produz a cada etapa uma rede de Petri que modela com mais ou menos precisão o funcionamento e as interações em um subsistema. A precisão dependerá do conhecimento exaustivo de todas as interações entre todos os módulos.

O grafo de alcançabilidade indica a existência de falhas de interação como o não respeito das restrições definidas ou as falhas de resposta. Permite verificar também se o servidor é robusto para suportar a concorrência das interações com seus clientes de semânticas eventualmente diferentes. Este gráfico também avalia os eventuais estados bloqueantes para o subsistema dado e seu estado inicial considerado.

Esta abordagem incremental é interessante quando se considera sistemas parcialmente especificados ou que integram módulos que não são conhecidos por seu comportamento.

A estrutura do módulo deve apoiar a expressão das propriedades do módulo e hipóteses estabelecidas para o ambiente. Estes são predicados que devem ser

conservados qualquer que seja a evolução do sistema. A verificação consiste em provar estes predicados estabelecidos pelo modelador sobre os módulos e detectar os erros de interação (erros de resposta).

A expressão e a verificação de propriedades são facilitadas pelos meios utilizados para formalizar os aspetos apropriados do modelo do módulo. As propriedades e as hipóteses são expressadas ao nível modular afim de se beneficiar – para sua verificação da simplicidade relativa em relação ao sistema global

Os predicados permitem caracterizar o comportamento lícito para um módulo ou para seu ambiente. Eles são constituídos de propriedades limitadas de maneira implícita às interações entre módulos e às propriedades estabelecidas pelo modelador. As propriedades implícitas que caracterizam as interações corretas são:

- a ausência de erros de resposta nos pedidos, isto é, para cada pedido deve ser tratado e produzida uma resposta no caso de este ser interrogativo.
- todos os módulos devem verificar as obrigações estabelecidas pelos servidores sobre as funcionalidades que utilizam.

Estes predicados são proposições lógicas que devem ser verdade qualquer que seja a evolução do módulo sobre as quais sejam estabelecidas. Um predicado especifica uma correspondência entre os estados do módulo (ou de seu ambiente) e do que deve ser verdadeiro em estes estados. Esta correspondência pode ser verificada sobre o grafo de estados construídos para o módulo com uma abstração de seu ambiente.

Propriedades a verificar

No processo de análise, a cada etapa de desenvolvimento pode se proceder de maneira formal à avaliação das propriedades que convém considerar nela. Estas propriedades podem ser ditadas pelas características do sistema ou pela sinergia do sistema com seu ambiente. Algumas destas propriedades segundo Diagne (1996) são:

- Segurança: determina sua capacidade de assegurar as funcionalidades que lhe são determinadas.

- Confiabilidade: determina sua capacidade de assegurar as funcionalidades e conexões entre seus módulos.
- Desempenho: determina sua capacidade de assegurar a seu ambiente humano e/ou técnico um grau de satisfação conveniente.
- Conformidade: determina sua capacidade de resolver os problemas inicialmente estabelecidos e sua adequação com seu ambiente técnico e humano.
- Integridade: determina sua capacidade de gerenciar os recursos.

Como apresentado no capítulo 2 neste trabalho consideram-se, para o caso dos sistemas prediais, que as propriedades de segurança e confiabilidade são cruciais para o adequado funcionamento destes sistemas e a sua integração, além de ser adequadas para ser tratadas dentro dos pontos de vista informação e computação.. A segurança entendida como a garantia que o sistema não chega a atingir estados que corrompam seu comportamento ou que lhe impeça de continuar suas interações com o seu ambiente. A confiabilidade assegura que o sistema realiza as funcionalidades que seu ambiente espera dele. Assim, são estas as propriedades que serão verificadas nos modelos desenvolvidos em RPMCO. Estas podem ser expressas nos módulos que compõem os sistemas sob a forma de propriedades locais e de hipóteses sobre seu ambiente.

Verificação das propriedades de segurança e confiabilidade

A rede de Petri permite realizar uma verificação formal das propriedades de segurança e confiabilidade. Esta verificação consiste na procura dos estados do sistema que possam alterar seu funcionamento normal (estados bloqueantes)

A análise dos estados bloqueantes é realizada sobre o grafo de ocorrência do módulo concernido.

A análise de um estado bloqueante pode ser realizado em dois níveis:

- localmente em um módulo: isto implica considerar em detalhe as ações que são efetuadas. Elas permitem ter em conta a causa ou efeito do bloqueio sobre seu módulo;

- sobre o conjunto dos módulos implicados: pode-se analisar a seqüência de interação anterior ao bloqueio durante a realização da abstração dos efeitos locais aos módulos. Desta maneira podem ser detectadas as evoluções do sistema susceptíveis de conduzir ao bloqueio e encontrar os mecanismos corretivos ou de prevenção

3.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi proposto um formalismo chamado Rede de Petri Modular Colorida baseada em Objetos – RPMCO para a modelagem de sistemas distribuídos e abertos para automação predial.

A RPMCO considera as características e expressões dos pontos de vista da informação e da computação (cuja interdependência é manifesta) do ODP. Nesta abordagem ambos os pontos de vista são tratados de maneira integrada pois se considera que eles não podem ser avaliados independentemente um de outro.

A RMPCO permite a obtenção de um modelo modular. Cada módulo é descrito de maneira não ambígua. Esta descrição permite caracterizar um módulo dado em relação a seu ambiente e de maneira independente de sua implementação.

A proposta descreve os módulos e os mecanismos de composição para construir sistemas e estabelece uma composição estrutural que permite proceder de maneira incremental à modelagem e a análise de um sistema em uma abordagem *bottom - up*.

Considera-se que o formalismo proposto é consistente para a modelagem pois cada módulo tem uma parte encapsulada (unidade comportamental) e uma parte fornecida para o ambiente (interface do módulo).

O modelo de um módulo estabelece uma semântica baseada nas redes de Petri coloridas, as quais se adaptam de maneira satisfatória às diferentes granularidades que se pode encontrar na especificação de sistemas distribuídos (módulos, sistema, sistema global). O formalismo é baseado em objetos sem oferecer o conceito de herança.

A RPMCO tem em conta os aspetos específicos dos módulos de sistemas prediais como a autonomia e a sua interação com os outros sistemas.

O formalismo possui um poder de abstração adequado para os sistemas prediais. Este permite descrever de maneira explícita tanto as interações entre os módulos como as operações que eles suportam o que é fundamental para a análise do sistema.

A análise da RPMCO tira proveito da modularidade desta rede. As propriedades que foram consideradas para verificação foram: a segurança do sistema através da garantia da ausência de estados bloqueantes e a confiabilidade provando que os estados que são de interesse são efetivamente alcançados.

A verificação é incremental no sentido que se podem considerar os módulos que podem ser tratados como um cliente ou um servidor. Esta visão permite validar o comportamento de um cliente frente a seus servidores e vice-versa. Assim, se pode saber se um cliente utiliza corretamente o servidor e se o servidor responde às exigências de seus clientes e suporta as interações.

4. PROCEDIMENTO PARA A MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS E ABERTOS PARA AUTOMAÇÃO PREDIAL

Neste capítulo é apresentado o procedimento desenvolvido para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial. O procedimento é baseado na aplicação do modelo de referência ODP através de seus pontos de vista, empresa, informação e computação, a utilização da UML e a rede de Petri.

Dentro da configuração de um edifício inteligente em especial em relação a sua operação e gestão, os sistemas prediais são considerados os principais elementos que devem atender às necessidades dos usuários e as demandas de cada ambiente.

Atualmente, os produtos existentes para os sistemas prediais, têm como desvantagem não permitir a integração efetiva entre os diferentes sistemas, isto é, não é possível conseguir a interação entre estes de maneira a formar um sistema integrado de automação do edifício. Neste contexto, carece-se de um modelo do sistema capaz de prever o comportamento deste, não existindo nem mesmo um guia claro para estruturar um sistema predial.

Assim, para que o sistema de automação como um todo e especificamente para que cada um dos sistemas prediais seja capaz de realizar funções integradas é necessária uma sistemática de projeto que assegure a sua adequada concepção e

detalhamento, permitindo flexibilidade para adaptações nas políticas de segurança, conforto e uso racional de energia do edifício.

Neste contexto, o procedimento a ser considerado deve auxiliar, orientar e fornecer o suporte necessário para o desenvolvimento da modelagem e análise de um sistema distribuído e aberto para automação predial (sejam de edifícios a serem construídos, onde já se tem definidas, as características dos sistemas prediais a instalar ou, para tornar inteligente um prédio convencional), considerando uma eficiente integração entre os sistemas prediais. Este procedimento deve portanto organizar e estruturar as etapas de trabalho de modo sistemático com a finalidade de outorgar o suporte adequado à flexibilidade que os edifícios inteligentes devem apresentar.

A utilização de diferentes técnicas na modelagem e análise de sistemas é uma prática que visa tirar vantagem das características de cada uma das abordagens consideradas. Assim, define-se um compromisso para sua aplicação onde as possíveis formas consideradas são (Diagne, 1996):

- **Co-utilização:** consiste em associar modelos de cada um dos paradigmas e usar as transformações necessárias para converter um tipo de modelo em outro.
- **Integração:** consiste em estender um modelo de um dos paradigmas com os aportes de outro. Os modelos assim gerados assumem um compromisso aceitável entre os dois paradigmas.

No presente trabalho considera-se especificamente a utilização da técnica de **integração**, pois a abordagem de co-utilização pode gerar problemas de coerência entre as diferentes abordagens consideradas para o desenvolvimento dos modelos. Assim, apresenta-se a seguir o procedimento para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial utilizando esta técnica.

4.1 PROCEDIMENTO DE MODELAGEM E ANÁLISE

O presente procedimento para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial, baseia-se na aplicação do modelo de referência ODP através de seus pontos de vista: empresa, informação, computação e, na utilização da UML e da rede de Petri, de forma a complementarem-se na modelagem e na análise do sistema. O trabalho restringiu-se a estes pontos de vista por considerar que são os que melhor se adaptam à descrição e análise da dinâmica do sistema.

O procedimento que está sendo proposto promove um desenvolvimento iterativo e no qual, em cada etapa se tem a possibilidade de considerar e revisar etapas precedentes de forma a assegurar sua rastreabilidade. No procedimento são definidas cinco etapas gerais que são refinadas em atividades. Cada etapa pode ter relação com um ou vários dos pontos de vista do ODP.

As etapas gerais do procedimento proposto são:

Etapa 1: Caracterização do edifício;

Etapa 2: Modelagem do domínio do sistema predial;

Etapa 3: Modelagem dos relacionamentos do sistema predial;

Etapa 4: Modelagem dinâmica do sistema predial

Etapa 5: Análise dos modelos.

A Figura 4.1 apresenta o procedimento proposto e o seu relacionamento com os pontos de vista do ODP.

O procedimento proposto está baseado na representação do sistema predial em vários níveis de detalhe de acordo a uma abordagem hierárquica e modular, o que facilita sua compreensão e utilização. A especificação obtida a partir do procedimento procura ser rastreável para reduzir problemas de interpretação.

Considerando que a capacidade de estruturar um modelo é essencial na especificação de um sistema predial, na modelagem de um sistema de média ou elevada complexidade, se faz necessária a utilização de mecanismos de estruturação do modelo que permitam a consideração de diferentes níveis de abstração.

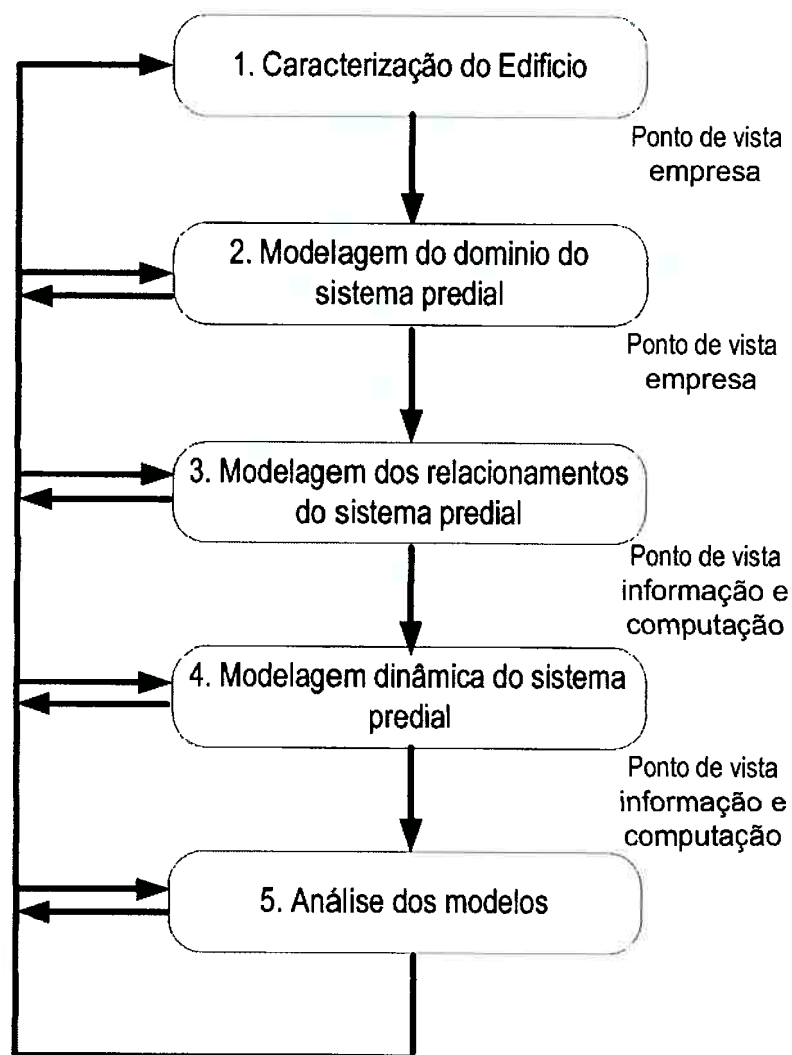


Figura 4.1 Procedimento para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial

A aplicação do procedimento se inicia com a caracterização do edifício, em seguida é realizada para cada sistema predial a modelagem do domínio, dos seus relacionamentos e o seu respectivo comportamento dinâmico. Como etapa final realiza-se a análise formal dos modelos gerados (ver figura 4.2)

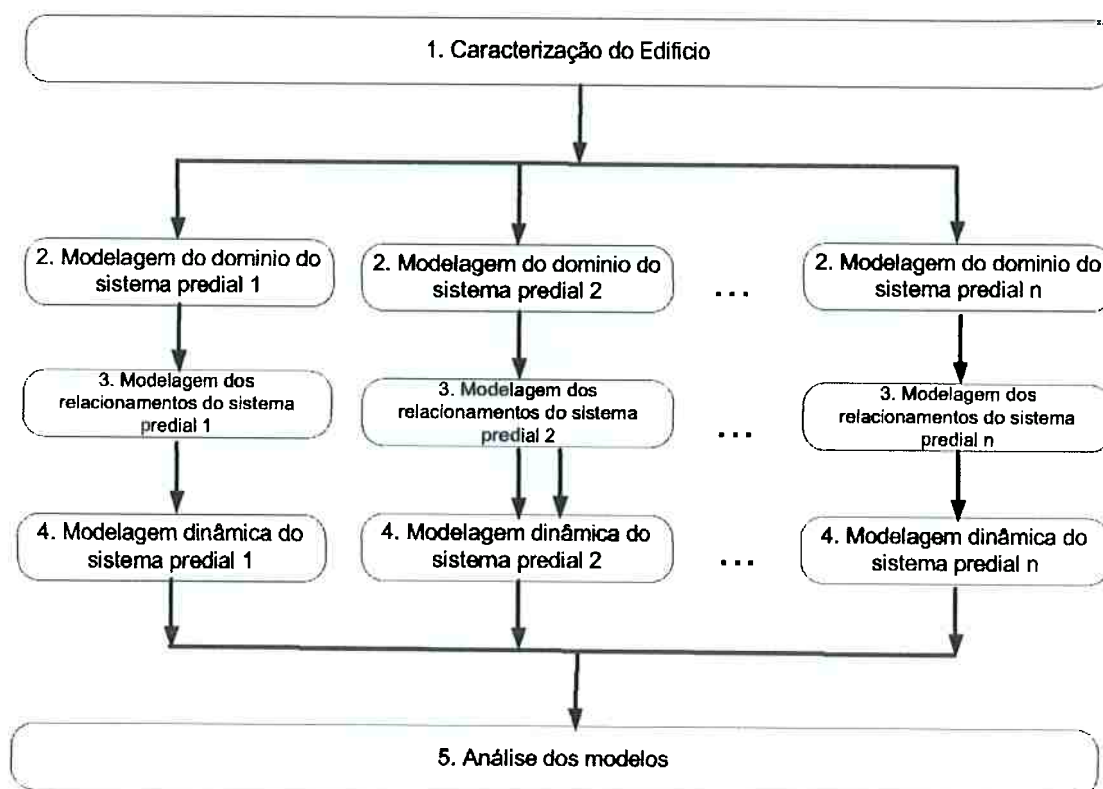


Figura 4.2 Sequência de aplicação do procedimento proposto

O procedimento proposto está baseado no conceito de hierarquia, de modularidade, de composição e agregação que são extensivamente utilizadas nas abordagens de modelagem e análise de sistemas em geral e comumente classificadas como abordagens descendente (*top-down*) ou de refinamento e ascendente (*bottom-up*) ou de abstração. Na abordagem descendente cada um dos sistemas, obtidos em qualquer nível de representação, pode ser alvo de um refinamento posterior, aplicado iterativamente, até que os sub-modelos obtidos sejam suficientemente simples para proceder a sua análise ou implementação direta. Nas abordagens ascendentes, a utilização e combinação de blocos (isto é, modelos de partes ou de funções específicas) previamente disponíveis permitem obter o comportamento macro desejado para o sistema.

O processo de abstração/ refinamento no procedimento proposto é definido a partir dos modelos gerados usando a UML e a rede de Petri. A UML estrutura o processo de modelagem para um detalhamento posterior realizado através da rede de Petri, esta última com a finalidade de se obter uma modelagem e análise da dinâmica do sistema. A figura 4.3 ilustra este processo.

O procedimento procura racionalizar o esforço para estruturar a especificação do sistema predial a partir de refinamentos e abstrações dos modelos realizados em diferentes níveis.

A utilização das técnicas de modelagem e análise no procedimento é realizada através da co-utilização que permite o uso de diferentes abordagens considerados em razão de sua relevância para as etapas e atividades desenvolvidas.

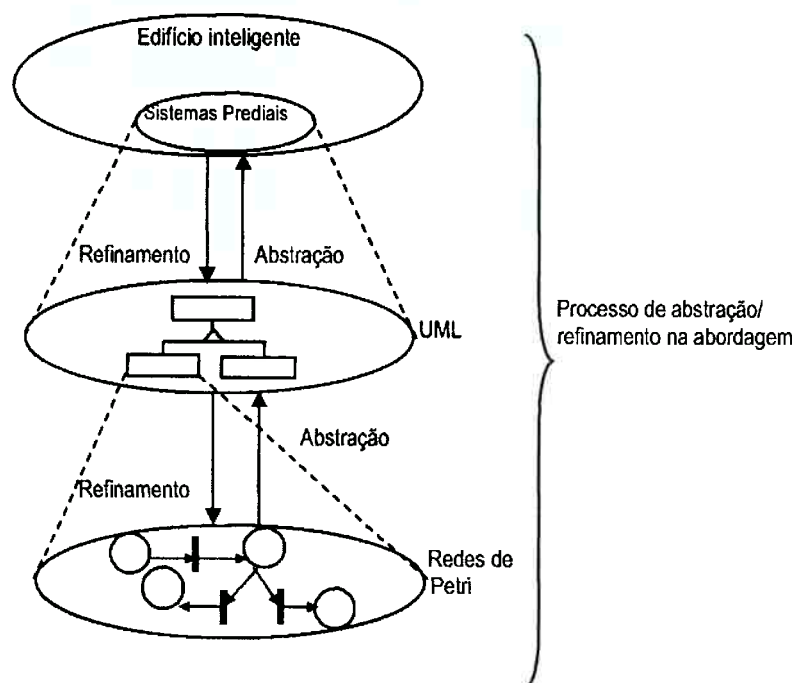


Figura 4.3 Processo de abstração/ refinamento no procedimento proposto

4.1.1 ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Esta etapa está relacionada com o ponto de vista **empresa** e nela estudam-se as características gerais do edifício com a finalidade de conhecer a sua situação atual (se for um edifício já construído) e a dos seus sistemas prediais para na etapa seguinte identificar e estabelecer adequadamente os requisitos necessários para estes últimos.

Nesta etapa a caracterização se realiza de acordo com:

- Finalidade do edifício: hospital, shopping, escritórios, educativo, etc.;
- Características dos usuários;
- Requisitos do edifício;

- Características físicas do edifício;
- Características dos sistemas prediais do edifício,
- Domínios do edifício.

4.1.2 ETAPA 2: MODELAGEM DO DOMÍNIO DO SISTEMA PREDIAL

Nesta etapa são obtidas, definidas e organizadas as informações e as características de cada um dos sistemas prediais que permitirão desenvolver a sua especificação e integração. Aqui, definem-se recursos para a aquisição do conhecimento relativo ao domínio do problema.

Esta etapa está diretamente relacionada com o ponto de vista empresa e apresenta uma visão geral do sistema predial. Aqui é representada a funcionalidade deste a partir do nível mais alto de abstração e é onde se definem os objetivos e propósitos do sistema predial, suas funções assim como as políticas (permissão e obrigações) aplicadas a este e suas interações com o ambiente externo.

O ambiente empresa impõe requisitos e direcionamentos ao sistema a ser modelado, neste caso especificamente aos sistemas prediais. Tais considerações são incluídas na sua especificação e na forma de representar o ambiente no qual o sistema opera. Assim, a abordagem proposta deve ser abrangente o suficiente de forma a incluir os diferentes serviços que podem ser implementados nos edifícios de acordo a sua função. Dependendo da finalidade do edifício, outras características podem ser adicionadas.

Nesta etapa procura-se ainda uma representação em alto nível dos sistemas prediais, apresentando somente as características relevantes à sua especificação. Desta maneira facilita-se o mapeamento no modelo dos diversos aspectos que devem ser manipulados na especificação de um sistema distribuído e aberto como gerenciamento de recursos, comunicação de dados e processamento de informações (Garrahan, et al.1993).

Em geral, nesta etapa define-se o que o sistema predial deve realizar e sob quais restrições deve funcionar. O objetivo desta etapa é obter uma visão dos requisitos, objetivos e propósitos que a integração dos diferentes sistemas prediais deve apresentar para o edifício considerado. Este conjunto de especificações é

elaborado em um nível de abstração conceitual e de maneira consistente (sem contradições) e, sem ambigüidades. Isto se faz possível através de um processo de desenvolvimento iterativo e incremental das especificações o que permite postergar algumas situações da modelagem.

Esta etapa deve apresentar de maneira adequada a informação necessária para as etapas seguintes:

Nesta etapa são consideradas as seguintes atividades (figura 4.4):

A. Identificação dos requisitos.

B. Modelagem dos casos de uso.

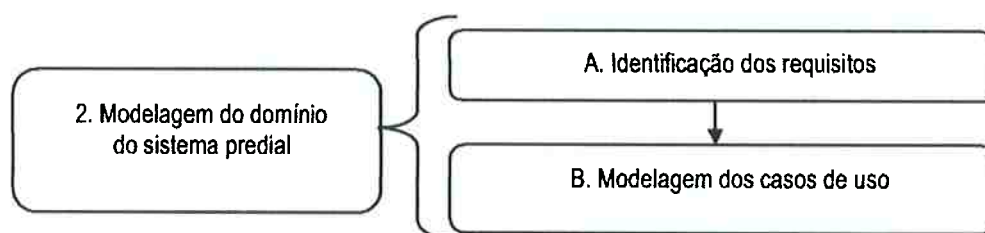


Figura 4.4 Detalhamento da etapa “Modelagem do domínio do sistema predial”

A. IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS

Nesta atividade realiza-se o levantamento dos requisitos e funções necessárias do sistema predial. Aqui são respondidas perguntas como: que tipo de serviços são necessários para a finalidade do edifício? Quais devem ser os sistemas prediais envolvidos e quais suas funcionalidades para realizar estes serviços? O que o sistema deve realizar e sob quais restrições? Estas informações servem como meio para realizar uma análise preliminar e identificar os dados relevantes e pertinentes para a modelagem.

Por diversos motivos, é relativamente difícil definir de maneira consistente e completa o conjunto de requisitos para um problema dado. Alguns destes motivos são:

- Para sistemas de automação de grande porte é difícil prever as repercussões de implantar um novo sistema sobre o existente;
- A comunidade de usuários de um edifício geralmente é muito diversa e com diferenças tanto formativas quanto de expectativas a respeito do sistema;

- Não se tem disponíveis ferramentas e métodos eficientes para identificar, especificar e validar requisitos;
- São necessárias notações próximas tanto ao pessoal técnico como ao pessoal menos especializado;
- É quase impossível capturar a totalidade das necessidades dos usuários, entre outras razões porque nem sempre os usuários sabem definir claramente o que desejam do sistema predial;
- É habitual que os requisitos evoluam mesmo antes de se concluir o desenvolvimento. Isto implica na necessidade de documentar para uso futuro as suposições e decisões que se tomaram na identificação de requisitos além das distintas alternativas que se exploraram.

Os requisitos em geral devem expressar o que o sistema predial deve realizar, isto é, deve-se adquirir o conhecimento e entender as necessidades dos usuários do edifício. É importante ressaltar que os requisitos abordados nesta abordagem são essencialmente funcionais.

Em geral, os requisitos de automação predial são diferentes de outros processos. A automação predial exige respostas para manter o edifício em determinados estados ao longo de condições operacionais (níveis de iluminação, condições de segurança, faixas de conforto térmico, entre outras) e para reagir a distúrbios. Assim, é fundamental identificar e estabelecer adequadamente os requisitos para os sistemas prediais.

Nesta etapa definem-se os requisitos de acordo com os sistemas prediais a serem considerados. Neste item consideram-se requisitos como: funções associadas, capacidade de atuação ou processamento, controle, comunicação, confiabilidade e disponibilidade, interface homem-máquina, gerenciamento de dados entre outros.

Além disso, nesta etapa, as informações levantadas são analisadas e é avaliada a validade e viabilidade técnica do atendimento das necessidades do sistema predial. Aqui, são consideradas as normas oficialmente estabelecidas e/ou adotadas pela comunidade relacionadas com os sistemas prediais dependendo do tipo e função do prédio.

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

- Informações não suficientemente claras;
- Informações contraditórias ou incorretas.

Estes estudos são fundamentais para avaliar as críticas e reconsiderações do sistema predial e dos objetivos destes ao se identificar:

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

Assim, são definidas entre outras características do sistema predial: o tipo de controle, e as estratégias para seu funcionamento. As informações obtidas nesta etapa são a base das etapas subseqüentes, o que denota sua importância.

Uma vez que os requisitos dos sistemas prediais tenham sido definidos, a concepção de modelos como forma de descrição das funcionalidades do sistema permite a organização do conhecimento, facilita a comunicação entre diferentes pessoas, identifica erros e permite determinar a validade dos requerimentos levantados, tornando mais clara e objetiva a especificação do comportamento do sistema.

A análise nesta etapa tem como finalidade fazer a avaliação prévia dos requerimentos do sistema junto com as pessoas envolvidas no projeto e permite, se for o caso, alterar os parâmetros inicialmente adotados para o sistema.

B. MODELAGEM DOS CASOS DE USO

Nesta atividade definem-se os domínios e as comunidades de objetos que se inter-relacionam com os sistemas prediais. Aqui, trata-se também cada sistema predial como um domínio específico e estudam-se as interações que são necessárias entre estes para alcançar seus objetivos.

Ainda nesta atividade definem-se e modelam-se os casos de uso os quais, constituem uma descrição da funcionalidade do sistema do ponto de vista dos usuários. Esta modelagem é realizada através dos digramas de casos de uso onde devem ser representados os casos de uso propriamente ditos e os usuários e sistemas externos que interagem com estes e que são conhecidos como atores e entidades. Os

diagramas de casos de uso descrevem o modo no qual os usuários podem usar o sistema e assim, um sistema pode ser descrito pelos diferentes casos de uso que oferece.

Do estudo das funcionalidades gerais dos sistemas prediais desenvolveu-se um metamodelo dos casos de uso do sistema predial como caminho para definir as responsabilidades de cada sistema. Este modelo é apresentado na figura 4.5.

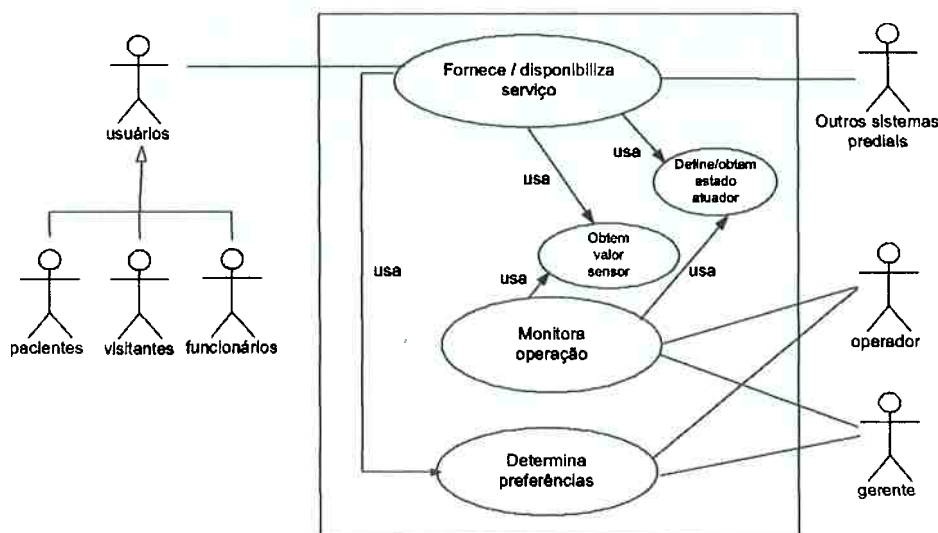


Figura 4.5 Metamodelo dos casos de uso do sistema predial

4.1.3 ETAPA 3: MODELAGEM DOS RELACIONAMENTOS DO SISTEMA PREDIAL

Esta etapa está relacionada com os pontos de vista **informação** e **computação** os quais estão focados no fluxo e o processamento da informação e na decomposição funcional do sistema respectivamente.

Aqui são modelados os aspectos mais relevantes do sistema de acordo com os requisitos definidos na etapa anterior.

Esta etapa está dividida nas seguintes atividades (figura 4.6):

- A. Modelagem da seqüência de atividades através de rede de Petri;
- B. Construção do diagrama de classes

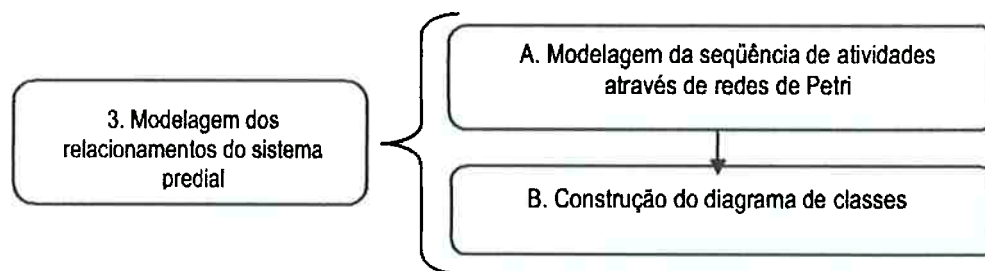


Figura 4.6 Detalhamento da etapa “Modelagem dos relacionamentos do sistema predial”.

A. MODELAGEM DA SEQÜÊNCIA DE ATIVIDADES ATRAVÉS DE REDES DE PETRI

Para realizar a integração efetiva dos vários sistemas prediais faz se necessária a modelagem e a avaliação de cada um deles tendo em conta suas funcionalidades, os seus relacionamentos e interações à luz dos requisitos do edifício.

Assim, nesta atividade constrói-se a rede de Petri Condição/Evento que descreve a estrutura e a dinâmica geral de cada caso de uso. Esta rede modela as seqüências de atividades realizadas pelo sistema predial em cada caso de uso. Este modelo, neste tipo de rede de Petri, permite obter uma visão do fluxo de atividades do sistema.

B. CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE CLASSES

Realiza-se a decomposição funcional dos sistemas em classes de forma a permitir que as aplicações e os componentes envolvidos sejam estruturados de maneira racional. Embora nesta atividade sejam identificados os candidatos para a distribuição física, não são tratados os mecanismos de comunicação entre estes elementos.

Considerando que um dos objetivos que se procura através da integração é a manutenção do controle efetivo do edifício inteligente, o tratamento de cada sistema predial deve considerar seus componentes (objetos) no contexto da automação de forma bipartida, isto é, podem ser representados mediante a inter-conexão de duas partes fundamentais que se comunicam e operam cooperativamente. Estas partes são:

a parte operativa relacionada ao sistema controlado¹ ou objeto de controle (por exemplo cabinas dos elevadores no caso do sistema de elevadores, etc.) e a parte de controle relacionada ao sistema de controle (vide figura 4.7).

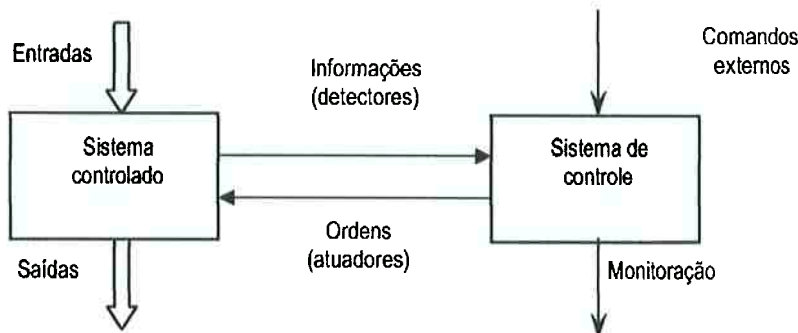


Figura 4.7 Decomposição da descrição de um sistema em parte operativa e parte de controle

Assim, dentro do sistema controlado os principais candidatos a objetos são os recursos e equipamentos (por exemplo, o detector de posição e os atuadores da cabina no caso do sistema de elevadores) do sistema que enviam para ou recebem do sistema de controle informações sobre seu estado possibilitando a realização do controle.

Dentro do sistema de controle consideram-se objetos as entidades que interagem com o sistema controlado

Desenvolve-se assim, uma representação genérica do sistema que é útil para aumentar a modularidade e a flexibilidade do mesmo. Representações genéricas permitem manter a independência do vendedor e a interoperabilidade de maneira a poder acomodar uma variedade de fabricantes e produtos sem uma alteração significativa da estrutura lógica do sistema o que facilita as possíveis extensões futuras.

Neste contexto, e em função do estudo dos diversos protocolos usados em automação predial (Araújo, 2003) e das diferentes funcionalidades dos sistemas prediais e seus elementos constitutivos é derivado um metamodelo de classes que procura abranger as suas características. Este modelo é apresentado na Figura 4.8

¹ Utiliza-se o termo “sistema controlado” em lugar de “objeto de controle” para evitar confusões quando se trata de objetos usados dentro do contexto da orientação a objetos.

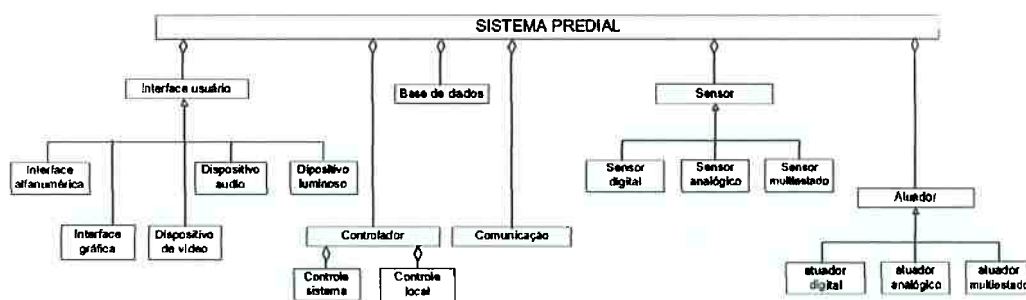


Figura 4.8 Metamodelo das classes que compõem um sistema predial

Segundo este metamodelo um sistema predial é composto pelas classes detector, atuador, controlador e interface de usuário.

A classe ‘detector’ e ‘atuador’ fazem parte da interface do processo físico e representam as variáveis de entrada e de atuação do processo respectivamente.

A classe ‘controlador’ destina-se a representar as funções de controle de processos. Nesta classe são consideradas as estratégias de controle do sistema.

Na classe ‘interface’ representam-se as interfaces com os usuários. Estas podem ser: interface alfanumérica, interface gráfica (como vídeo, *display*), dispositivo de áudio (como um alarme), dispositivos luminoso (como sinalizadores), etc.

Assim, considerando o metamodelo definido para as classes que compõem um sistema predial (figura 4.7), o sistema controlado e o sistema de controle deste, o conjunto de objetos que participam dos casos de uso são identificados a partir do modelo em rede de Petri Condição/Evento e são então organizados em classes. O procedimento para obter as classes é o seguinte:

- Identificam-se os relacionamentos entre objetos e as classes;
- Adicionam-se os atributos de cada classe;
- Identificam-se as operações de cada classe;
- Identificam-se as relações de generalização/especificação (observando similaridades e diferenças) e de decomposição/composição;
- Constrói-se o diagrama de classes.

4.1.4 ETAPA 4: MODELAGEM DINÂMICA DO SISTEMA PREDIAL

A complexidade e a utilização de um número elevado de informações de entradas e saídas dos sistemas automatizados trazem consigo a dificuldade de realizar sua especificação funcional de maneira clara, concisa e não ambígua.

Em geral, esta etapa está relacionada com os pontos de vista **informação e computação** focados na informação e nas funcionalidades associados ao sistema.

A modelagem nesta etapa permite a localização e distribuição adequada das complexidades envolvidas nos requisitos do sistema, tais como: funções, objetos, capacidade de processamento, controle, comunicação, confiabilidade e disponibilidade, interface homem-máquina, gerenciamento de dados, entre outras.

Nesta etapa, é onde se especifica e modela detalhadamente cada uma das funcionalidades dos sistemas prediais considerados no edifício, assim como a forma como eles inter-atuam.

Os modelos gerados nesta etapa são realizados através da RPMCO e estão, baseados nos modelos obtidos nas etapas anteriores (especificamente nos modelos em rede de Petri Condição/Evento e os digramas de classes).

Nesta etapa, são modeladas as informações que são trocadas entre os sistemas prediais do edifício além do comportamento dinâmico destes. Devido à natureza dinâmica das atividades e serviços em edifícios, estes suportam uma grande variedade de funcionalidades e informações. Cada fluxo de informação no sistema contém um ou mais dados que se modificam juntamente com as ações de controle do sistema, através de transformações (processos/funções). O processo de transformação das informações de entrada em informações de saída pode requerer outras informações, já armazenadas no sistema, ou pode envolver usuários ou outros sistemas.

A especificação da informação é gerada a partir dos requisitos e funcionalidades levantados na etapa 2 (relacionada com modelagem do ponto de vista **empresa**) e as classes identificadas na etapa 3 (relacionada com a modelagem do ponto de vista **informação e computação**). As informações que o sistema

manipula são modeladas considerando as variações esperadas no comportamento do sistema.

Para modelar a troca de informações entre os sistemas, podem ser usados os diagramas de interação da UML (diagramas de colaboração e de seqüência). No entanto, estes diagramas apresentam a desvantagem de serem baseadas em uma técnica semi-formal e não possuem uma adequada representação para modelar a concorrência de processos. Assim, na presente abordagem é proposto o uso das redes de Petri em substituição aos diagramas de interação.

Neste contexto e no procedimento proposto, a modelagem da troca de informações e do comportamento dinâmico dos sistemas prediais é realizada através da RPMCO. Aqui o comportamento das classes e objetos identificados nas etapas anteriores (especificamente nos modelos dos diagramas de classes e nas redes de Petri Condição/Evento), é descrito e detalhado através de módulos RPMCO. Assim, para cada classe anteriormente identificada é criado um módulo RPMCO, no qual são modeladas as operações (métodos) correspondentes. A obtenção do modelo dinâmico envolve os seguintes passos:

- Identificação das funcionalidades de cada módulo: corresponde às funcionalidades das suas operações;
- Definição da interface de cada módulo: indica os métodos (utilizados e oferecidos) e seus atributos, assim como as restrições que devem ser cumpridas para estabelecer interações;
- Definição da unidade comportamental de cada módulo: modelagem das operações (métodos) do módulo.

A obtenção do modelo dinâmico em RPMCO é realizada tendo em conta os seguintes aspectos:

DECLARAÇÕES

- Cores das *marcas* são definidas de acordo com os atributos das classes;
- Variáveis são definidas para cada cor;

REGRAS

- As regras são especificadas nos *arcos* de entrada e de saída das *transições* usando as variáveis definidas nas declarações.

MARCAÇÃO INICIAL

- Esta indica os valores para os atores externos e os valores necessários para qualquer dado disponível nas classes que não correspondem a associações.

RELAÇÕES

- As associações no diagrama de classes geralmente representam mensagens;
- Os métodos de cada classe são convertidos em *transições*;

ETAPA 5. ANÁLISE DOS MODELOS

Uma vez obtidos os modelos em RPMCO, nesta etapa realiza-se a análise do comportamento dos mesmos com a finalidade de validar e verificar se representam adequada e corretamente os requisitos e funcionalidades de cada sistema predial e assim como do sistema integrado.

Nesta etapa são consideradas as seguintes atividades (figura 4.9):

- A. Validação dos modelos,
- B. Modelagem dos casos de uso.

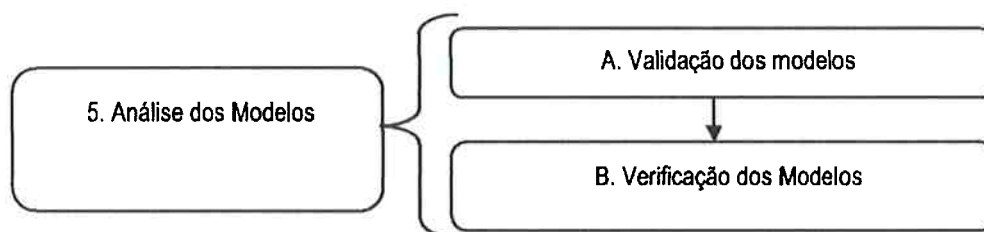


Figura 4.9 Detalhamento da etapa “Análise dos modelos”

A. VALIDAÇÃO

Através de técnicas de simulação mostra-se para certas condições e durante um intervalo de tempo limitado, uma das possíveis seqüências de estados de um sistema predial.

A simulação é útil para entender e depurar o modelo de um sistema em RPMCO. No entanto, através da simulação, se a condição inicial não é completamente conhecida, se o comportamento do sistema depende de interações com o ambiente exterior, ou ainda se a análise não se restringe a um intervalo de

tempo limitado não é possível obter uma prova completa das propriedades dinâmicas de uma RPMCO e desta forma nem sempre ela é efetiva para garantir o comportamento desejado do sistema predial.

Dentro do procedimento proposto a validação dos modelos é realizada por simulação e através do uso de um software para redes de Petri coloridas. Os passos a serem seguidos nesta atividade são:

- Avaliar a sintaxe dos modelos: aqui é conferida a sintaxe das expressões e a consistência dos modelos através do compilador da linguagem (CPN-ML) usada para as inscrições da rede de Petri.
- Simular o comportamento dos modelos: aqui avalia-se se o modelo representa efetivamente os requisitos inicialmente estabelecidos para o sistema e demonstra a funcionalidade requerida. A simulação envolve compilar a rede de Petri considerando sua estrutura e suas inscrições. Aqui é analisada a coerência entre as diferentes partes do módulo (interface, estrutura), entre os serviços oferecidos e requisitados.

B. VERIFICAÇÃO

O objetivo nesta parte da análise é verificar as propriedades comportamentais do modelo construído em RPMCO. Estas propriedades não estão necessariamente restritas a um intervalo de tempo específico ou a uma determinada interação com o ambiente externo. Para realizar a verificação, as propriedades do modelo são comparadas com os requisitos referentes ao comportamento do sistema predial. Isto garante que se a propriedade for verificada, a funcionalidade associada é cumprida sob as mais diferentes circunstâncias nas quais o sistema predial possa vir a operar.

A técnica de análise usada - como apresentado no capítulo 3 - é o grafo de alcançabilidade ou de ocorrência que representa o espaço de estados do modelo.

O grafo de ocorrência é constituído de nós conectados por *arcos* onde cada nó representa uma *marcação* (ou estado) da rede de Petri e cada arco representa a ocorrência de uma *transição* com um vínculo particular às variáveis que conduzem à próxima marcação da rede de Petri. Para cada uma das muitas combinações legais de vínculos para as variáveis nos *arcos* de entrada de uma *transição*, um nó que representa a *marcação* resultante do sistema é criado quando a *transição* é disparada

com o vínculo específico. Este processo é repetido para todas as *transições* habilitadas e com cada possível vínculo de variáveis nos *arcos* de entrada das *transições*.

Para realizar a verificação das propriedades é proposta uma sistemática que explora a modularidade da RPMCO dada pela introdução dos conceitos de orientação a objetos de maneira a decompor a tarefa de análise que envolveria o modelo do sistema predial como um todo em análises mais simples que consideram os módulos que compõem o sistema e suas interações.

Assim, a verificação é realizada através da busca de cenários representando as possíveis evoluções do sistema predial, onde apenas os eventos e estados relacionados à propriedade são considerados.

Com o grafo de ocorrência é provada a alcançabilidade entre *marcações* o que corresponde à prova de veracidade (ou falsidade) de um cenário definido.

PROCEDIMENTO PARA A VERIFICAÇÃO DE RPMCO

Uma das principais características do procedimento é a decomposição do processo de verificação.

Este procedimento pode ser organizado na seguinte seqüência de passos:

- Definição das propriedades e das restrições: a verificação se inicia com a definição das propriedades que devem ser consideradas. Neste trabalho e como foi estabelecido no capítulo 3 as propriedades a serem verificadas são: a propriedade de segurança, que garante que estados considerados impróprios ou proibidos nunca sejam atingidos, e a confiabilidade dada na rede de Petri através da propriedade de alcançabilidade que assegura que em determinadas circunstâncias, um estado sempre é atingido garantindo assim as funcionalidades do sistema. Junto com as propriedades deve-se definir as restrições que são imposições sobre o estado ou a ocorrência de eventos. Estas limitam os casos onde se espera que as propriedades sejam verdadeiras.
- Análise do módulo: esta análise começa com a busca de cenários onde se determinam os cenários relativos a evolução daquele módulo nas condições definidas pela propriedade. Em seguida constroi-se o grafo

de ocorrência de cada módulo. O processo de verificação continua até que todas as obrigações de análise tenham sido consideradas.

- Análise das possíveis interações entre os módulos: aqui se analisam as interações segundo o explicitado no modelo em RPMCO. Estas interações podem gerar obrigações de análise para outros módulos, isto é, a veracidade da propriedade está condicionada pelo comportamento de outros módulos com os quais este interage.
- Verificar se todas as propriedades consideradas são satisfeitas baseada na construção do grafo de ocorrência.

4.2 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o procedimento proposto para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial. O procedimento considera a modelagem dos pontos de vista **empresa, informação, computação** do ODP através do uso da UML e dos conceitos de rede de Petri de forma a complementarem-se por um lado na estruturação da modelagem e por outro na análise formal dos modelos gerados. Esta é uma abordagem iterativa que é iniciada com a caracterização do edifício, em seguida é realizada a modelagem de cada sistema predial, seu domínio, os seus relacionamentos e o seu comportamento dinâmico. Depois de realizada a modelagem de cada sistema predial realiza-se a análise dos modelos.

Através da UML explora-se a representação de diversos aspectos do sistema que permitam além de garantir que os requisitos do sistema predial sejam atendidos, uma estruturação dos modelos e sua modularização. Por sua parte, a rede de Petri tem o papel de realizar a ligação entre os modelos e de representar a dinâmica do sistema permitindo a análise formal dos mesmos.

O procedimento apresentado beneficia-se tanto da notação gráfica como do uso do padrão ODP, pois o uso de diferentes pontos de vista permite um melhor controle do processo de modelagem. Estas duas visões do sistema predial conduzem a uma estruturação do sistema como um todo.

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Dentre os exemplos de aplicação que poderiam ser consideradas para ilustrar a aplicação da abordagem proposta, foi escolhido o prédio dos ambulatórios (PAMB) que faz parte do Complexo Hospitalar 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.

Os processos na área da saúde têm influência direta da infra-estrutura, condições e recursos dos edifícios nos quais eles são desenvolvidos assim, a qualidade do espaço e os serviços disponibilizados nos hospitais podem afetar o resultado dos cuidados médicos (Visconti, 1999).

Além disso, atualmente, a tendência dos projetos de edifícios hospitalares consiste em assegurar uma aparência humanizada, procurando um caminho entre a modernidade, a funcionalidade e a hospitalidade (Visconti, 1999)

Por outro lado, os rápidos avanços das ciências médicas, dos métodos de tratamento e ainda as alterações na população atendida, a ampliação da demanda de leitos e de tratamentos, as novas tendências em educação, pesquisa, administração e gerenciamento hospitalar, fazem com que os edifícios hospitalares sofram contínuas adaptações e ampliações.

Assim, um aspecto importante a considerar quando se trata de ambientes hospitalares é a gestão da qualidade em saúde, a qual consiste de três perspectivas a saber (Pinto, 1996):

- Estruturação: engloba a planta física do hospital, equipamentos, recursos humanos, financeiros e tecnológicos;
- Processos: inclui todas as operações e processos de trabalho;
- Avaliação final: envolve o atendimento ao cliente. Todo hospital deve ter por objetivo atender as necessidades e superar as expectativas dos pacientes.

Neste contexto, este exemplo de aplicação procura tratar a perspectiva da estruturação especificamente no referente aos recursos tecnológicos –sistemas prediais- e seus serviços que devem ser integrados para atender as necessidades dos usuários (pacientes, visitantes, funcionários -pessoal de saúde, pessoal administrativo e operativo assistencial-) do hospital.

5. 1 PRÉDIO DOS AMBULATÓRIOS - PAMB

O Prédio dos Ambulatórios foi projetado pela empresa Hidroservice em 1972 e inaugurado em 1979 e, faz parte do complexo Hospitalar das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC - FMUSP) que é classificado como um hospital de atendimento terciário¹. Está localizado ao lado de outro prédio deste complexo, o Instituto Central (ICHC), na Avenida Dr. Enéas Carvalho de Aguiar em São Paulo, SP. A disposição de alguns dos prédios do Complexo Hospitalar das Clínicas e especificamente do PAMB pode ser observada na figura 5.1.

¹ O nível de atendimento terciário caracteriza-se pela maior capacidade resolutiva dos casos mais complexos do sistema de saúde, nas modalidades de atenção ambulatorial, internação e de urgência. Os estabelecimentos neste nível são, basicamente, os ambulatórios de especialidades, hospitais especializados e os hospitais de especialidades (Pinto, 1996)

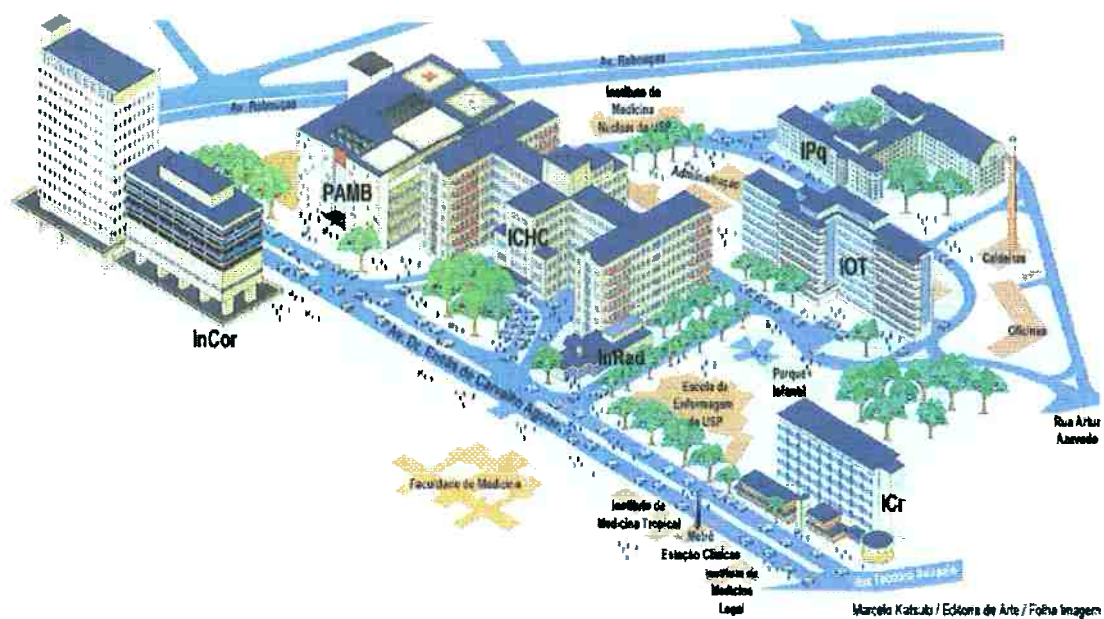


Figura 5.1 Localização do PAMB no Complexo Hospitalar das Clínicas

O PAMB é um ambulatório de especialidades destinado a prestar assistência médica especializada, em regime ambulatorial, a uma população determinada, tendo como característica o atendimento médico permanente de especialidades básicas (clínicas médicas, gineco-obstétrica, pediátrica e cirúrgica) e estratégicas. A atuação deste tipo de ambulatório impede o encaminhamento desnecessário de casos aos hospitais de maior complexidade como os hospitais especializados e os hospitais de Base.

Pelo PAMB circulam atualmente, aproximadamente 2300 pacientes ao dia e são realizadas diariamente cerca de 5500 consultas por dia.

Para este prédio foram ainda transferidos os seguintes serviços que funcionavam anteriormente no ICHC: centro cirúrgico, banco de sangue, farmácia e laboratórios centralizados. O PAMB comporta toda a área de agendamento de consultas, administração, salas de aula, anfiteatros, centro endoscópico, 295 salas para atendimento médico, 139 consultórios, 86 consultórios especiais e 70 salas de exames especializados.

5.1.1 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO AO PAMB

ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Esta etapa é aplicada ao PAMB como um todo.

A. FUNÇÃO DO EDIFÍCIO

A primeira etapa do projeto de um sistema de automação predial distribuído e aberto é descrevê-lo de maneira a deixar claros os objetivos a serem atingidos sem a preocupação dos detalhes tecnológicos. Neste contexto, a função principal, isto é, o objetivo maior do PAMB é prestar assistência médica especializada em regime ambulatorial. Este é responsável pelos casos médicos a ele trasladados de algum posto de saúde ou algum hospital regional que não têm condições de atendimento e impede o encaminhamento desnecessário de casos a hospitais de maior complexidade.

B. CARACTERÍSTICAS DOS USUÁRIOS

Os usuários do PAMB correspondem basicamente aos seguintes tipos:

- Funcionários: pessoal de saúde (médicos, enfermeiras, auxiliares, residentes), pessoal administrativo e operativo assistencial;
- Público geral: pacientes e visitantes.

Os pacientes que chegam ao PAMB são chamados de pacientes ambulatoriais e são pacientes não internados que procuram o hospital para consulta e exames; também pertencem a este grupo aqueles pacientes que, tendo recebido alta de sua internação, necessitam acompanhamento para prosseguir o seu tratamento.

C. REQUISITOS DO EDIFÍCIO

Considera-se que para se obter um ambiente adequado em um prédio devem-se priorizar as qualidades baseadas nas sensações humanas fundamentais (Leite, 1997) que são:

- Qualidade espacial;
- Qualidade térmica;

- Qualidade do ar;
- Qualidade acústica;
- Qualidade visual;
- Integridade do edifício.

As cinco primeiras se referem aos requisitos ocupacionais e as necessidades básicas de saúde, segurança e bem estar. A última se refere à integridade do edifício segundo sua aparência e propriedades críticas de degradação pela umidade, mudanças de temperatura, movimento do ar, radiação, ataques químicos e biológicos, depredação humana e desastres naturais (fogo, inundação, terremotos).

Por outro lado, a ISO 6241 define para os edifícios os seguintes requisitos dos usuários (Leite, 1997):

- Estabilidade;
- Segurança ao fogo;
- Segurança de utilização;
- Estanqueidade;
- Conforto higrotérmico;
- Pureza do ar;
- Conforto acústico;
- Conforto visual;
- Conforto tátil;
- Conforto antropodinâmico;
- Higiene;
- Adaptação dos espaços para usos específicos;
- Durabilidade;
- Economia.

Neste contexto e considerando a função do PAMB e as normas estabelecidas para prédios hospitalares (AIA, 2001), os requisitos mais importantes que os seus sistemas prediais devem atender são:

- Flexibilidade;
- Interoperabilidade;
- Confiabilidade;

- Segurança;
- Conforto;
- Baixo custo;
- Compatibilidade;
- Expansibilidade;
- Manutenção.

Os diferentes sistemas prediais considerados no PAMB devem levar em conta, em sua respectiva área de ação, a sua finalidade e todos os requisitos antes mencionados. Para o presente estudo e pela sua importância dentro de um prédio hospitalar os sistemas considerados foram os seguintes:

- Sistema de Ar Condicionado (SAC);
- Sistema de Controle de Acesso (SCA);
- Sistema de Gerenciamento de Energia (SGE);
- Sistema de Iluminação (SI);
- Sistema de Detecção e Combate a Incêndio (SDCI);
- Sistema de Elevadores (SE);

Cada um dos sistemas considerados apresenta seus próprios requisitos e funcionalidades que serão considerados quando tratados especificamente.

Como o prédio já está construído e em uso é importante considerar quais destes sistemas se encontram instalados e quais são suas reais condições operacionais.

D. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO EDIFÍCIO

O PAMB tem 111.000 m² de área construída e é composto por 11 pavimentos funcionais (discriminados de acordo com a tabela 5.1) e mais 7 pavimentos técnicos (inter-andares ou pavimentos específicos para a instalação, manutenção e reparação de equipamentos (infra-estrutura elétrica e hidráulica) e outras facilidades previstas para a flexibilidade funcional do edifício. Através destes pavimentos técnicos e das prumadas (aberturas verticais) localizadas nas extremidades do edifício, passam todos os dutos: de esgoto, ar condicionado, água quente, água fria, vapor, gases medicinais, rede elétrica, rede de telefone, etc.).

Tabela 5.1 Pavimentos funcionais do PAMB

Nome do Pavimento	Função do Pavimento
Cobertura (andar 10)	Heliporto e área para primeiros socorros
Nono pavimento (andar 9)	Centro cirúrgico com 33 salas cirúrgicas
Oitavo pavimento (andar 8)	Farmácia industrial
Sexto pavimento (andar 7)	Andar de ambulatórios.
Quinto pavimento (andar 6)	Andar de ambulatórios.
Quarto pavimento (andar 5)	Serviços administrativos, arquivos, agendamento de consulta, farmácia, área convênio, Entrada de pacientes e visitantes.
Segundo pavimento (andar 4)	Laboratório central (certificado ISO 9002)
Primeiro pavimento (andar 3)	Banco de sangue (Hemocentro)
Pavimento térreo (andar 2)	Acesso de funcionários e unidades de serviço de apoio aos funcionários e visitantes
Subsolo (andar 1)	Serviços gerais (cabina primária de alimentação de energia elétrica)
Casa de máquinas	Caldeiras, Geradores

Como pode ser apreciado segundo a nomeação dos andares, no PAMB não existem pavimentos identificados como terceiro e sétimo devido à correspondência com os identificadores existentes nos pavimentos do prédio do ICHC. Para efeito deste trabalho considerou-se adequado nomear os andares de 1 ao 10 a partir do subsolo (sem considerar os pavimentos técnicos).

Ressalta-se também que o prédio possui dois acessos externos para seus usuários, localizados em diferentes partes do prédio devido à irregularidade do terreno onde este se encontra, uma delas é destinada para os funcionários do hospital e está localizada no pavimento térreo (andar 2), a outra entrada é usada pelos pacientes e visitantes e se encontra no nível do quarto pavimento (andar 5).

A estrutura de distribuição física dos ambientes no PAMB é genérica, isto é, basicamente tem-se a mesma planta estrutural para todos os seus andares, sendo que cada ambulatório adaptou-a de acordo as suas necessidades.

O prédio dos ambulatórios está dividido em quatro blocos de circulação (A, B, C, D) (vide figura 5.2).

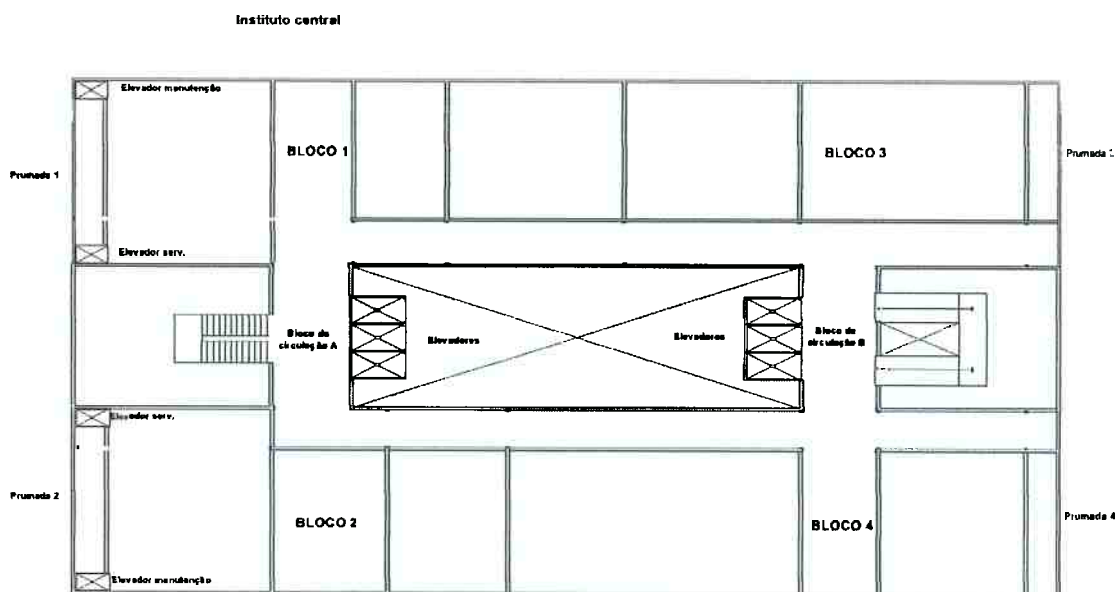


Figura 5.2 Planta ilustrativa do PAMB

O PAMB tem o “core” (área de serviços, áreas molhadas como sanitários, e copas, hall de acesso ao pavimento e escadas de incêndio) deslocado para as extremidades, de forma a privilegiar na área central, a iluminação e a ventilação natural.

Atualmente não existe nenhum tipo de Sistema de Gerenciamento do Edifício (SGE) instalado no PAMB.

O PAMB é um prédio que embora tenha sido concebido prevendo um certo nível de automação predial adequada à função que realiza, atualmente isto não se verifica e, a operação de praticamente todos os seus sistemas prediais é manual. Os sistemas prediais atualmente instalados no PAMB atuam de forma independente, utilizando informações para a realização de suas tarefas sem compartilhar elementos comuns, gerando, com isto, sobreposições de recursos, necessidade de maiores espaços para as instalações, além de requerer maior suporte de manutenção. Como consequência desse quadro, verifica-se:

- Multiplicidade de redes de comunicação e cabos elétricos;
- Manutenção relativamente cara e complicada;
- Dificuldade de integrar novos serviços e interligar redes de dados;
- Ampla utilização dos produtos “adaptadores”;
- Problemas de reposição de peças;

- Obsolescência em curto prazo.

E. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS PREDIAIS DO PAMB

A seguir apresentam-se as principais características dos sistemas prediais presentes no PAMB.

SISTEMA DE AR CONDICIONADO (SAC)

O sistema de ar condicionado do PAMB é do tipo central e possibilita o resfriamento, aquecimento e ventilação dos ambientes. A umidade é um fator importante para a garantia da qualidade do ar, mas no PAMB esta não é controlada. O sistema instalado no PAMB é de expansão indireta e é constituído por três circuitos distintos: circuito básico de ar, circuito básico de água gelada e circuito frigorífico (Villani, 2000).

O resfriamento da água gelada usada no sistema de ar condicionado do PAMB é produzido por 4 chillers. A água na saída dos chillers tem uma temperatura de 7°C. Em cada chiller, válvulas de bloqueio interrompem o fluxo de água quando este é desligado. Este sistema conta também com 8 torres de resfriamento nas quais, para permitir a troca de calor, a água quente é circulada em forma de chuva contra uma corrente de ar atmosférico (em uma temperatura mais baixa) no sentido contrário. A quantidade de água que passa por um chiller é resfriada usando 2 torres de resfriamento. No caso de um chiller ou uma torre de resfriamento necessitar de manutenção, a passagem de água fria é obstruída parcial ou totalmente nas unidades de condicionamento de ar das áreas de menor prioridade com a finalidade de não sobrecarregar o sistema. Fazem parte também do sistema 8 bombas, sendo que uma é de reserva. A função destas bombas é circular a água entre os chillers localizados no subsolo (andar 1), as torres de resfriamento que estão na cobertura (andar 10), e os locais de condicionamento do ar.

O aquecimento da água quente usada no PAMB é produzido por 2 aquecedores (caldeiras) a vapor. A água na saída dos aquecedores tem uma temperatura de 75°C. O transporte desta água é realizado por 2 bombas. O PAMB conta também com um sistema de aquecimento de água por coletores solares.

O condicionamento de ar é realizado nos *fan-coils*. Ao todo o PAMB conta com 370 *fan-coils* instalados segundo a utilização e prioridade das áreas do hospital. Em alguns pavimentos funcionais há 12 *fan-coils* e em outros até 36 *fan-coils*.

Na maioria das áreas do PAMB a renovação do ar é de cerca de 40% com exceção do centro cirúrgico, banheiros, refeitórios, laboratório, vestiário, farmácia (que utiliza fluxo laminar para a área de produtos injetáveis) onde a renovação é de 100%.

Os equipamentos de condicionamento de ar localizam-se na cobertura (andar 10) do PAMB.

SISTEMA DE CONTROLE DE ACESSO (SCA)

O controle de acesso no PAMB é realizado por pessoal da vigilância que habilita ou restringe o acesso a algumas áreas.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA (SGE)

Atualmente não existe um sistema de gerenciamento de energia no PAMB. A energia do PAMB é fornecida por 4 subestações da concessionária de energia elétrica – AES Eletropaulo- que se encontram no sub-solo (andar 1) do hospital. A distribuição da energia elétrica é realizada através de 4 circuitos de média tensão todos interligados. Cada circuito é alimentado por uma subestação. A transferência de carga de um circuito para outro é realizada manualmente em um painel de chaveamento. O comando dos circuitos e geradores de media e baixa tensão é alimentado por um circuito adicional em CA, e a supervisão e acionamento da proteção é realizado em CC, alimentados por um sistema de baterias o que possibilita uma certa independência da concessionária.

Este sistema foi concebido para selecionar as cargas de maneira automática, entretanto devido a problemas de manutenção atualmente opera unicamente de modo manual.

O PAMB conta com um sistema eletromecânico de 3 geradores de energia a diesel que assumem 1/3 da carga instalada do prédio. A carga refere-se especificamente ao atendimento do:

- Centro cirúrgico (iluminação, ar condicionado, etc.);
- Sistema de iluminação de emergência;

- Área de convênios (andar 5);
- Sistema de elevadores;
- Algumas tomadas para alimentação de equipamentos especiais.

A prioridade mais baixa para a alimentação de energia é a parte administrativa, mas esta parte conta com sistemas de proteção para os computadores. Este sistema demora cerca de 8 segundos para entrar em funcionamento.

Atualmente não existe controle de demanda de energia. O consumo de energia é medido para o prédio como um todo.

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO (SI)

O sistema de iluminação do PAMB conta com luminárias para lâmpadas fluorescentes de 40 W de potência e o controle para o seu acionamento é de tipo ON/OFF. Apesar do projeto do prédio considerar o aproveitamento da luz natural, existem áreas como o centro cirúrgico e o laboratório que permanecem 24 horas com as lâmpadas acesas. O esquema de distribuição das luminárias (todas de teto) é caracterizado por circuitos independentes que são ligados e desligados em horários programados. O sistema de iluminação artificial usado no PAMB é o de iluminação geral e uniforme em todos os pavimentos, caracterizado pela distribuição regular de luminárias no teto. Este sistema proporciona um nível de iluminação sobre a área de trabalho ou circulação, com certo grau de uniformidade. Em alguns casos onde a tarefa visual é de precisão, costuma-se complementar a iluminação geral com uma iluminação específica, instalando-se luminárias individuais nos planos de trabalho. A iluminação não é controlada pelo usuário.

O atual sistema de iluminação artificial implantado no prédio não explora as técnicas de automação visando a otimização do consumo de energia. De fato, as únicas ações neste sentido estão no uso de lâmpadas e luminárias mais eficientes. As operações sobre esse sistema são manuais, em quadros de distribuição próprios, localizados em cada pavimento.

SISTEMA DE DETECÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO (SDCI)

O sistema de detecção e combate a incêndio do PAMB consta de sensores de fumaça, rede de *sprinklers*, bomba para pressurização da rede de água de combate ao

fogo, portas corta fogo e extintores (de água, pó químico e CO₂). Existe também em cada pavimento uma instalação de hidrante e, no exterior do prédio, uma central de hidrantes.

SISTEMA DE ELEVADORES (SE)

O sistema de elevadores do PAMB conta com 10 elevadores distribuídos nas zonas de circulação e em vários grupos (vide tabela 5.2 e figura 5.2).

Atualmente existem elevadores diferentes para uso geral, serviço e manutenção. A capacidade de carga e dimensões de cada elevador no PAMB varia segundo a sua função, posição e tipo de usuário (vide tabela 5.2).

Tabela 5.2 Algumas informações do sistema de elevadores do PAMB

Bloco de circulação	No de elevadores	Lotação (pessoas – kg-f)	Usuários (atuais)
A	3 (1 grupo)	24 – 1680	Funcionários e público geral
B	3 (1 grupo)	24 – 1680	Público geral
Prumadas 1 e 2	2	16 – 1120	Funcionários
Prumadas 1 e 2	2 (manutenção)	3500 Kg	Pessoal operativo (manutenção)

No PAMB, os grupos de elevadores realizam paradas em diferentes pavimentos funcionais, como apresentado na tabela 5.3.

Tabela 5.3 Andares servidos e paradas dos elevadores do PAMB

Bloco de circulação	No de elevadores	Paradas (andares servidos) (situação atual)
A	3 (1 grupo)	Andar 1 até andar 7: 7 paradas
B	3 (1 grupo)	Andar 3 até andar 7: 5 paradas

Apesar da especificação inicial da operação em grupos, atualmente os elevadores não trabalham em grupo, isto é, cada um deles opera de maneira independente comandados por um ascensorista.

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) as cabinas dos elevadores (um de cada vez) até o pavimento térreo (andar 2) ou o quarto pavimento (andar 5) e ali abrir as portas e travar seus movimentos. As cabinas contam também com dispositivos para, por meios mecânicos (chaves), fazer sua movimentação independente, em resposta a um atendimento preferencial ou uma emergência.

A lógica de controle instalada está baseada em relés eletromecânicos. Atualmente só é realizada a monitoração geral dos movimentos dos elevadores por meio de lâmpadas sinalizadoras, em um painel instalado em uma sala no subsolo (andar 1), que indicam a direção (descida e subida) de movimento das cabinas dos elevadores e os pavimentos funcionais onde estão sendo efetuadas as chamadas. Os elevadores são acionados por motores elétricos de corrente alternada em um sistema de tração com redutor.

O PAMB conta também com rampas entre os pavimentos funcionais para facilitar a mobilidade do pessoal e dos veículos (macas, cadeiras de rodas, carros de roupas, carros de comida, carros 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 materiais da farmácia em conjunto com os montacargas. O PAMB possui 4 montacargas, dois no centro cirúrgico para o transporte de lixo e dois na farmácia para o transporte de medicamentos.

F. DOMÍNIOS DO EDIFÍCIO

A abstração dos domínios permite identificar as comunidades de objetos do ambiente real e os relacionamentos entre estes e o PAMB.

O PAMB incorpora quatro domínios (ou objetos empresa segundo a terminologia ODP) estes são: administração do edifício, os sistemas prediais, as empresas que fornecem os serviços (água, energia elétrica, telefonia e gás), os usuários (que podem ser pacientes, visitantes ou funcionários que trabalham nele). A figura 5.3 apresenta a abstração dos domínios e as comunidades de objetos do ambiente real para o PAMB. Estas entidades foram modeladas segundo a UML como classes dentro de um diagrama de pacotes.

Os objetos do ponto de vista empresa podem ser descritos através das interações mostradas entre os domínios e a comunidade. O conjunto de características (atributos e operações) especificadas deve ser considerado como um conjunto mínimo necessário para o alcance dos objetivos do sistema.

No modelo empresa deve-se considerar subdivisões para a administração dos serviços em que atuam os grupos de trabalho que nem sempre podem ser

especificados como parte das atividades permanentes do edifício. Um exemplo são as empresas terceirizadas para a manutenção de sistemas específicos como: ar condicionado, elevadores, etc.

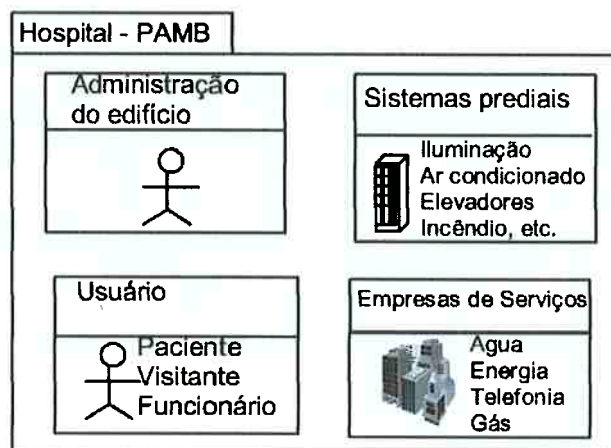


Figura 5.3 Diagrama do ponto de vista empresa – Domínios identificados no PAMB (Interação entre os objetos do ponto de vista empresa)

Considerando especificamente os sistemas prediais do PAMB, cada um destes corresponde a um domínio com funções de controle específicas e é através da sua interação e integração com outros sistemas que se possibilita o cumprimento de seus objetivos de maneira eficiente e econômica.

A seguir apresenta-se a aplicação das etapas 2, 3 e 4 do procedimento proposto para os sistemas prediais considerados no PAMB.

ETAPA 2: MODELAGEM DO DOMÍNIO DO SISTEMA PREDIAL

SISTEMA DE AR CONDICIONADO - SAC

O SAC tem como principal propósito manter o controle ambiental visando por um lado o conforto térmico das pessoas e por outro lado criar as condições ambientais adequadas para o funcionamento dos equipamentos. O SAC controla a temperatura, umidade e o fluxo de ar os quais são considerados no índice de conforto térmico.

Os componentes do PAMB como paredes, janelas e cortinas interagem com as condições do tempo exterior e influenciam a condição térmica interna. Pessoas e

equipamentos têm um impacto no ambiente térmico ao introduzir ao interior calor e umidade.

Fatores que influenciam o SAC:

- Fatores naturais: insolação solar, vento, temperatura exterior, umidade;
- Fatores de ocupação: número de ocupantes, localização dos ocupantes, tipo de atividade, programação de ocupação, roupas, etc.;
- Fatores da edificação: geometria do edifício, orientação, projeção, área de janelas, construção das paredes, materiais das paredes, acabamento interior, materiais do teto e do chão, volume dos quartos, área da superfície construída;
- Fatores do sistema: características das bombas, dos aquecedores, dos chilleres, do sistema de dutos, etc.

As exigências do SAC do PAMB variam de acordo com a utilização que é realizada das diversas áreas. Assim, existem áreas que exigem apenas condicionamento para fins de conforto como as salas administrativas, salas de consulta e diagnóstico, salas de aula e áreas de circulação entre outros. Algumas áreas necessitam de condicionamento não apenas para o conforto, mas também para assepsia tais como salas de cirurgia, salas de pós-operatório e farmácia onde devem ser tomados os devidos cuidados no que se refere aos sistemas de filtragens e renovação de ar, principalmente por envolver trabalhos e tratamentos destinados à análise e erradicação de doenças infecciosas (Min. Saúde, 1995).

A. IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS:

O SAC tem um papel importante em um hospital, e deve atender normas como a NBR 6401 -instalações centrais de ar condicionado para conforto- e a NBR 7256 -tratamento de ar em unidades medição-assistenciais- de modo a:

- Fornecer resfriamento, aquecimento e ventilação conseguindo manter a temperatura e umidade adequadas ao conforto humano;
- Condicionar os ambientes através de ar livre de contaminantes (microorganismos, bactérias e fungos);
- Evacuar o ar contaminante, gases desinfetantes, anestésicos gases residuais e usar mecanismos para evitar a dispersão de fumaça;

- Eliminar o risco de fluxo de ar das áreas de menor nível de higiene para as áreas de maior nível de higiene. As áreas de maior nível higiênico são no caso do PAMB as salas cirúrgicas, salas de pós-operatório, as salas da farmácia e as adjacências a cada uma delas. O restante das áreas como salas de exame, rádio diagnóstico, endoscopia, fisioterapia entre outras o nível de higiene é normal. Para manter o nível de higiene é recomendável não reaproveitar o ar de retorno entre áreas de diferentes níveis de higiene (no caso de ser possível o reaproveitamento do ar em áreas com o mesmo nível de higiene, pode-se adotar soluções que permitam poupar energia);
- Mudar a ventilação de acordo com a informação do sistema de detecção e combate a incêndio;

Observa-se que no presente exemplo não é considerado o aquecimento de ar por ser uma funcionalidade de pouco uso no PAMB devido às condições climáticas da cidade de São Paulo. Além disso, sua modelagem pode ser realizada de maneira semelhante à do resfriamento do ar.

Considerando especificamente a integração, o SAC pode funcionar nas seguintes estratégias (Villani, 2000):

ESTRATÉGIA EM CASO DE INCÊNDIO:

Esta estratégia é adotada para cada zona² em caso de que o SDCI detecte incêndio nela. As medidas que devem ser adotadas são:

- Desligar os ventiladores de insuflamento;
- Desligar o condicionamento do ar.
- Posicionar a caixa de mistura em renovação total (100%);
- Colocar ventiladores de retorno do ar em velocidade alta com a finalidade de diminuir a pressão na zona afetada e extrair a fumaça;

Esta estratégia é desativada quando o SAC recebe a informação de que não existe mais incêndio.

² Zona: parte na que se pode dividir um espaço que não necessariamente corresponde ao espaço físico delimitado por as paredes que o cercam. É dizer são subespaços virtuais que proporcionam áreas preferenciais com relação ao controle e ao sensoriamento (Bolzani, 2004)

ESTRATÉGIA PARA ZONAS NÃO UTILIZADAS

No PAMB existem áreas que precisam ser acondicionadas constantemente como as salas do centro cirúrgico, a farmácia, e o laboratório. Outras como as salas dos ambulatórios, as áreas de circulação e as salas de aula são utilizadas apenas durante períodos de oito ou dez horas. Assim, dependendo da zona em consideração pode-se desligar o condicionamento de ar durante os períodos que ela não é utilizada.

A decisão de desligamento deriva de situações como as seguintes:

- Quando o SCA informa que não estão sendo detectadas pessoas na zona;
- Quando os equipamentos de uma sala são desligados;
- Por programação horária;
- Combinações das opções anteriores.

Nesta estratégia as medidas a serem tomadas são:

- A caixa de mistura é posicionada para renovação parcial (40%);
- Os ventiladores de insuflamento e de retorno são desligados;
- O condicionamento de ar é desligado.

Esta estratégia é desativada quando se detecta que a zona vai ou está sendo utilizada.

ESTRATÉGIA PARA ZONAS UTILIZADAS

Esta estratégia é realizada quando o SCA envia a informação de presença de pessoas na zona.

Durante o período de utilização das zona são tomadas as seguintes medidas:

- A caixa de mistura é posicionada para renovação parcial;
- Os ventiladores de insuflamento e de retorno são ligados a velocidade alta.
- O condicionamento de ar é acionado.

Esta estratégia é desativada quando não restam pessoas na zona.

ESTRATÉGIA EM CASO DE FALTA DE ENERGIA

Nesta estratégia definem-se previamente as zonas prioritárias nas quais deverá ser mantido o acondicionamento de ar as quais no PAMB correspondem ao centro cirúrgico, a farmácia, o sector de convênios, e ao laboratório.

ESTRATÉGIA EM CASO DE CONSUMO/DEMANDA NÃO PERMITIDA

Quando o consumo/demanda de energia alcança valores não permitidos, priorizam-se o condicionamento de ar em zonas pré-definidas como o centro cirúrgico, a farmácia, o laboratório e o sector de convênios.

B. DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO SISTEMA E MODELAGEM DOS CASOS DE USO:

Sendo o sistema de ar condicionado um domínio, e considerando o metamodelo para os casos de uso de um sistema predial apresentado na figura 4.5, identifica-se para este sistema o diagrama de caso de uso da figura 5.4.

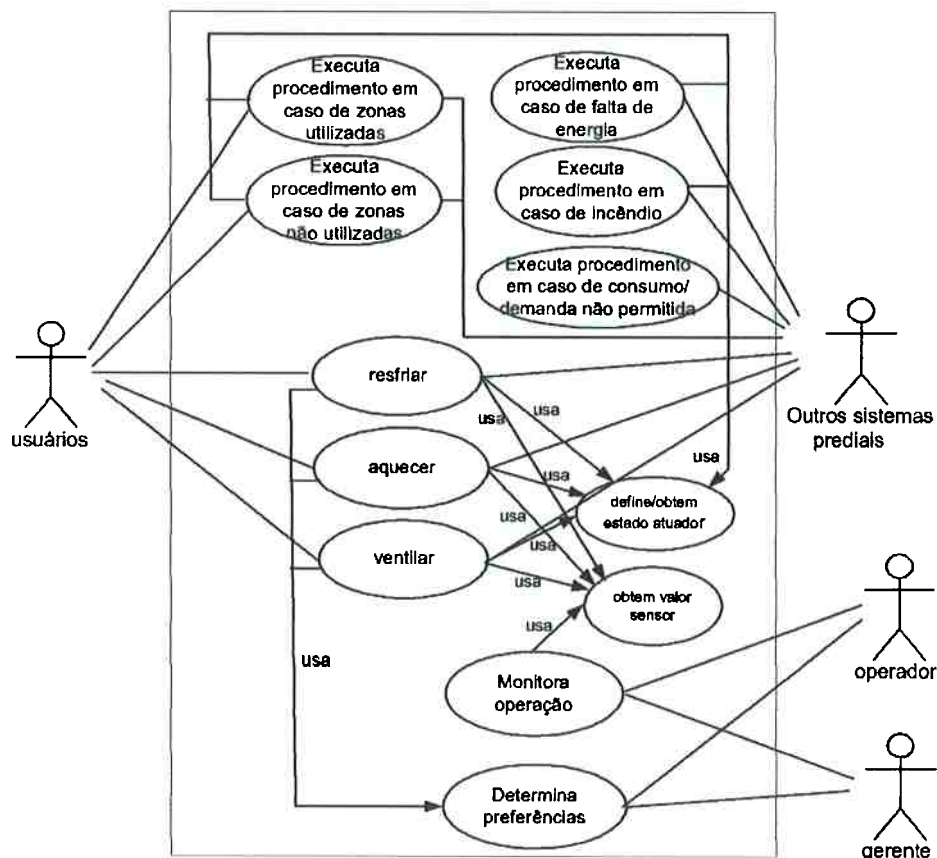


Figura 5.4 Diagrama de casos de uso do SAC

SISTEMA DE CONTROLE DE ACESSO - SCA

O SCA de acesso objetiva proporcionar segurança às pessoas e a propriedade física e intelectual. Este sistema aciona um alarme de alerta quando uma condição potencialmente perigosa tem ocorrido.

A. IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS:

O SCA deve no caso do PAMB:

- Proteger zonas através de acesso restrito (identifica usuário). Esta medida visa proteger o trabalho que se realiza no interior destas zonas. (por exemplo: salas de cirurgia, laboratório, estoque de medicamentos, manejo de dados dos pacientes, farmácia, etc);
- Comunicar o acionamento do alarme a uma central externa;
- Detectar a presença de pessoas de maneira a verificar se uma zona está sendo usada ou não para desta forma facilitar outros serviços;
- Destruar acessos predeterminados no caso de detecção de incêndio

Para a integração do SCA com outros sistemas prediais consideram-se as seguintes estratégias.

ESTRATÉGIA EM CASO DE INCÊNDIO

Quando se detecta incêndio em uma determinada zona onde o acesso é restrito, destravam-se as fechaduras eletrônicas segundo políticas de segurança predeterminadas.

ESTRATÉGIA PARA ZONAS UTILIZADAS

O SCA envia informação ao SAC e SI sobre a presença autorizada (segundo horários pré-estabelecidos) ou não de pessoas em uma determinada zona para que estes realizem as ações correspondentes para garantir conforto ao usuário.

B. DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO SISTEMA E MODELAGEM DOS CASOS DE USO:

Considerando o metamodelo para os casos de uso de um sistema predial (figura 4.5) identifica-se o diagrama de casos de uso para o SCA (figura 5.5).

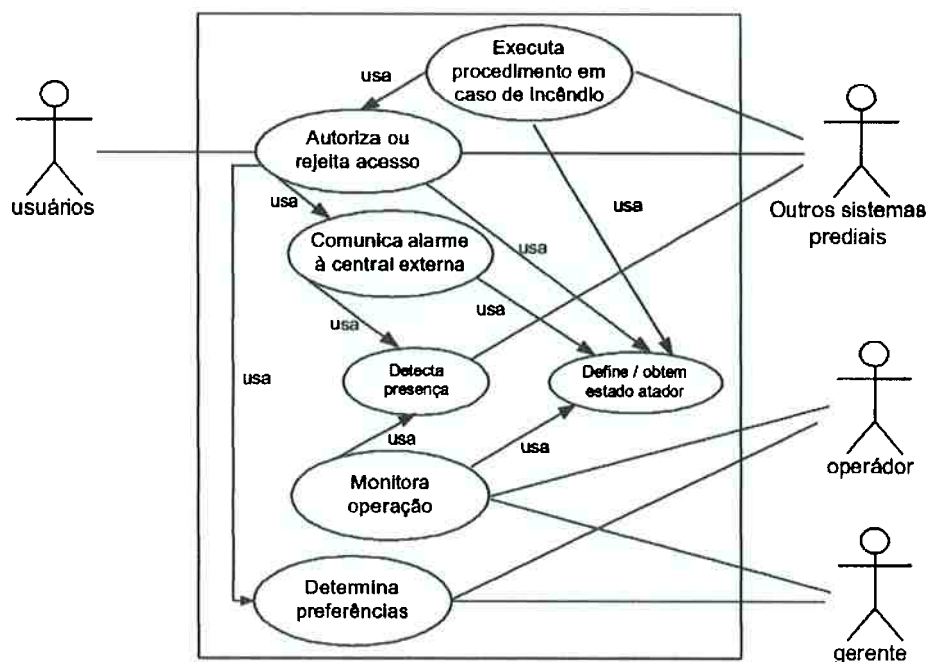


Figura 5.5 Diagrama de casos de uso do SCA

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA - SGE

O principal propósito do SGE é realizar o controle da demanda e consumo de energia e gerenciar os grupos geradores.

Em um hospital é de fundamental importância que o fornecimento de energia seja mantido de maneira contínua e confiável. No PAMB o fornecimento de energia prioriza-se: para o centro cirúrgico, a farmácia, o laboratório central, a área de atendimento a convênios e o hemocentro. Entre os sistemas prediais que devem ser mantidos em funcionamento estão: o SDCI, o SCA e para algumas zonas o SAC e o SI além de alguns dos elevadores.

A. IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS:

O SGE considerando para o PAMB deve:

- Controlar o consumo de energia dentro de algumas metas estabelecidas atuando se necessário sobre alguns sistemas e equipamentos;
- Gerenciar os grupos de geradores,
- Controlar a demanda de energia mantendo-a dentro de metas predeterminadas, atuando se necessário sobre alguns sistemas e equipamentos e segundo as regras de faturamento vigentes;
- Selecionar, retirar e liberar cargas.

- Desenergizar zona em caso de incêndio e ativar iluminação de emergência.

As estratégias consideradas para a integração deste sistema com outros sistemas prediais são: estratégia em caso de incêndio, a estratégia em caso de falta de energia e a estratégia de atuação segundo consumo ou demanda de energia.

ESTRATÉGIA EM CASO DE INCÊNDIO:

O SGE deve cortar o fornecimento de energia na zona de incêndio e ligar a iluminação de emergência.

Esta estratégia é desativada quando se recebe a informação de que não existe mais incêndio.

ESTRATÉGIA EM CASO DE FALTA DE ENERGIA:

Este sistema deve priorizar o fornecimento de energia em algumas zonas predeterminadas para manter o condicionamento de ar e a iluminação além de garantir o serviço de alguns elevadores. Deve também ativar a iluminação de emergência.

Esta estratégia é desativada quando se recebe a informação de que não existe mais incêndio.

ESTRATÉGIA SEGUNDO O CONSUMO OU DEMANDA DE ENERGIA

Segundo a medição dos níveis de consumo ou demanda de energia o SGE libera ou retira cargas predeterminadas dos SAC, SI e o SE.

B. DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO SISTEMA E MODELAGEM DOS CASOS DE USO:

Sendo o SGE um domínio, e considerando o metamodelo da figura 4.5 identifica-se para este sistema o diagrama de caso de uso apresentado na figura 5.6.

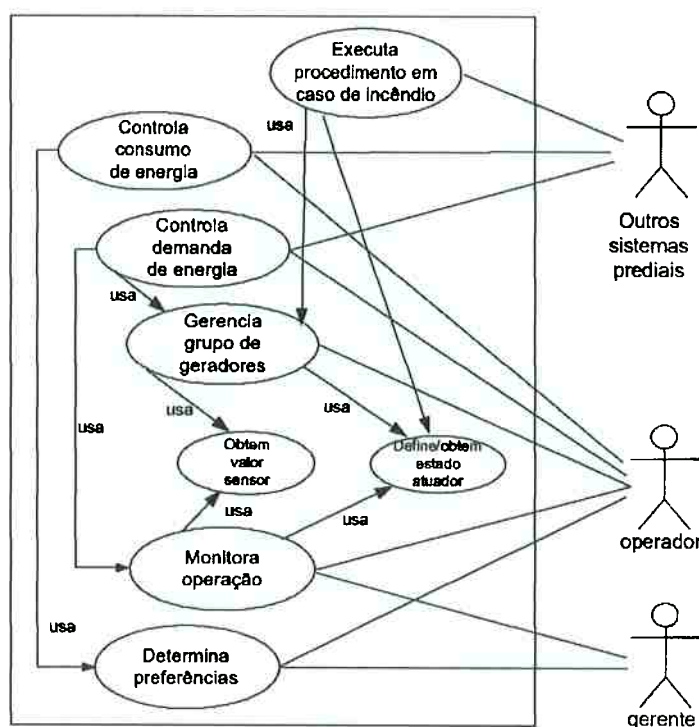


Figura 5.6 Diagrama de casos de uso do SGE

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO - SI

O SI encarrega-se de proporcionar luz artificial nos lugares onde esta é necessária.

Entre os fatores que influenciam o SI estão

- Fatores naturais: irradiação solar, condições do céu, superfície refletante do chão,
- Fatores de ocupação: número de usuários, localização dos usuários, tipo de atividade (intensidade luminosa necessária), programação de ocupação.
- Fatores do edifício: longitude e latitude de sua posição, geometria do edifício, orientação, área de janelas, reflectância das janelas, transmissão do vidro, acabamentos interiores, área da superfície interior, superfície de reflectância interior;
- Fatores do sistema: lâmpadas, luminárias.

A. IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS:

O SI do PAMB deve:

- Fornecer luz artificial, ainda em horários onde a luz natural é disponível, pois, pelas características próprias do prédio a iluminação natural não cobre as necessidades de luminosidade das diversas áreas;
- Proporcionar diferentes níveis de luminosidade dependendo da atividade realizada na área em questão. As áreas no PAMB que precisam de altos níveis de luminosidade são: o centro cirúrgico, a farmácia industrial e o laboratório central;
- Mudar a iluminação de uma área dependendo da ocupação desta.

O SI pode funcionar nas seguintes estratégias de integração com outros sistemas prediais:

ESTRATÉGIA PARA ÁREAS NÃO UTILIZADAS

No PAMB existem áreas que precisam ser iluminadas constantemente como as salas do centro cirúrgico. Outras como as salas dos ambulatórios, a iluminação se utiliza apenas durante períodos de oito ou dez horas ao dia. Assim, dependendo da zona pode-se desligar a iluminação durante períodos de não ocupação informada pelo SCA ou por programação horária.

ESTRATÉGIA PARA ÁREA UTILIZADA

Esta estratégia é realizada quando é detectada a presença de pessoas na zona e ante este evento o sistema de iluminação liga as lâmpadas correspondentes. Esta estratégia é desativada quando o SCA informa que não restam pessoas na zona.

ESTRATÉGIA EM CASO DE FALTA DE ENERGIA

Nesta estratégia definem-se previamente as zonas prioritárias nas quais deverá ser mantida a iluminação. No PAMB estas zonas correspondem ao centro cirúrgico, à farmácia e ao laboratório.

ESTRATÉGIA EM CASO DE CONSUMO/DEMANDA NÃO PERMITIDA

Quando o consumo/demanda de energia alcança valores não permitidos, priorizam-se a iluminação em zonas pré-definidas como o centro cirúrgico, a farmácia, o laboratório e o sector de convênios.

B. DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO SISTEMA E MODELAGEM DOS CASOS DE USO:

O diagrama de casos de uso para o SI considera o metamodelo da figura 4.5 e é apresentado na figura 5.7

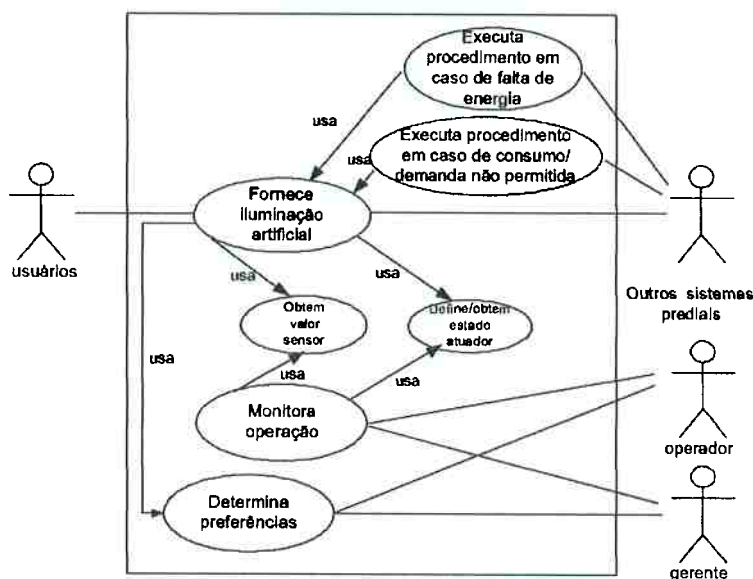


Figura 5.7 Diagrama de casos de uso do SI

SISTEMA DE DETECÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO – SDCI

O objetivo do SDCI é a proteção da vida e da propriedade do potencial dano que possa ocasionar o fogo procurando assegurar a continuidade das operações essenciais do edifício. No entanto, nenhum SDCI pode eliminar completamente a possibilidade de fogo, dano à propriedade ou perda de vidas. A proteção ao fogo é realizada através de ações de detecção e combate (Liu, et al., 2001).

Os locais de maior risco de incêndio no PAMB segundo as consultas com o pessoal técnico são: laboratórios, farmácia, central de material esterilizado, área de armazenagem, salas do grupo gerador e subestação elétrica, área para central de gases, depósitos de resíduos sólidos (lixo) e arquivo.

A. IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS:

O SDCI deve:

- Detectar condições de emergência (presença de fumaça e fogo através de sensores fumaça e de temperatura);
- Alertar aos bombeiros e ocupantes do prédio;
- Combater e extinguir os focos de incêndio em seus estágios iniciais de maneira confiável;
- Usar mecanismos para evitar a dispersão da fumaça;
- Estabelecer através de sinalização adequada rotas de fuga para todos os ocupantes do prédio inclusive os incapacitados e as pessoas idosas;
- Comunicar a ocorrência de incêndio a outros sistemas prediais para que estes possam realizar suas estratégias em caso de incêndio e assim contribuam para as ações do SDCI;
- Prover rotinas e funções para o teste de equipamentos de incêndio;
- Garantir níveis mínimos nos reservatórios de água e a pressurização dos hidrantes;
- Acionar pressurização do ambiente das escadas.

Segundo a norma NBR9441/1998 – sistema autônomo para detecção e alarme de incêndio-, o SDCI deve ser instalado como um sistema completamente independente, com centrais microprocessadas que interligam detectores, atuadores manuais e automáticos com possibilidade de ajuste remoto do detector. No entanto o SDCI seja um sistema autônomo este apresenta uma alta interação com outros sistemas prediais.

B. DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO SISTEMA E MODELAGEM DOS CASOS DE USO:

Considerando o SDCI como um domínio e considerando o metamodelo da figura 4.5 tem-se para este sistema o diagrama de casos de uso apresentado na figura 5.8.

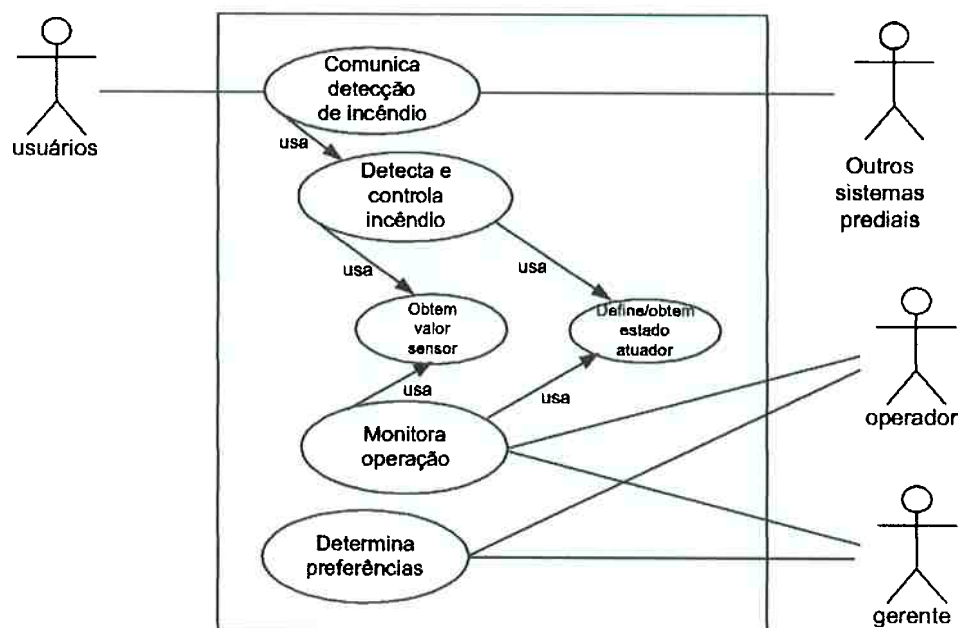


Figura 5.8 Diagrama de casos de uso do SDCI

SISTEMA DE ELEVADORES - SE

O SE tem como principal propósito possibilitar o transporte vertical de pacientes, visitantes e funcionários, além, evidentemente, e equipamentos, alimentos e outras cargas moveis.

A. IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS:

Segundo a norma 7192 da Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT,1982), e a norma para projetos 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 de pessoas (sinalização visual e sinais acústicos como meio complementar, sobretudo para o caso de incêndio).

- A instalação deve ser capaz de transportar em cinco minutos:
 - 8% da população do edifício, quando houver tubo de queda para roupa e monta-carga 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.

As estratégias consideradas no caso do sistema de elevadores para a sua integração com outros sistemas prediais são:

ESTRATÉGIA EM CASO DE INCÊNDIO:

A operação dos elevadores em caso de incêndio tem por objetivo, parar imediatamente 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 só poderia agravar o desastre (Elevator World, 1990).

A estratégia em caso de incêndio estabelece que todos os elevadores devem ser movimentados até o andar térreo (independentemente das chamadas que já tenham sido realizadas nele o atribuídas a este) de modo a realizar a evacuação dos passageiros e depois serem desligados. Esta estratégia é a única aceita 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 com um mínimo de dispêndio de energia. No caso de falta de fornecimento de energia pela concessionária o SE deverá movimentar cada um dos elevadores do grupo sucessivamente até o pavimento térreo, evitando a sobrecarga de energia e desligar aqueles elevadores o grupos de elevadores que não sejam prioritários.

ESTRATÉGIA EM CASO DE CONSUMO/DEMANDA NÃO PERMITIDA

Quando o consumo/demanda de energia alcança valores não permitidos, priorizam-se o transporte vertical deixando que possam ser usados somente elevadores predeterminados.

B. DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS DO SISTEMA E MODELAGEM DOS CASOS DE USO:

Para o SE e considerando o metamodelo da figura 4.5 identifica-se o diagrama de caso de uso da figura 5.9.

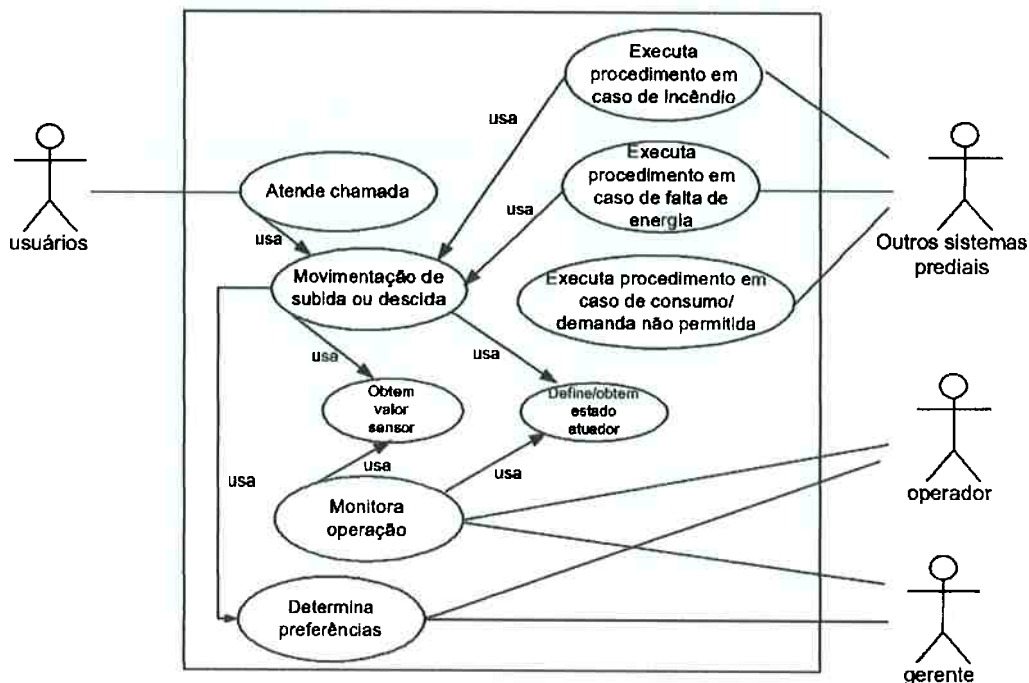


Figura 5.9 Diagrama de casos de uso do SE

ETAPA 3: MODELAGEM DOS RELACIONAMENTOS DO SISTEMA PREDIAL

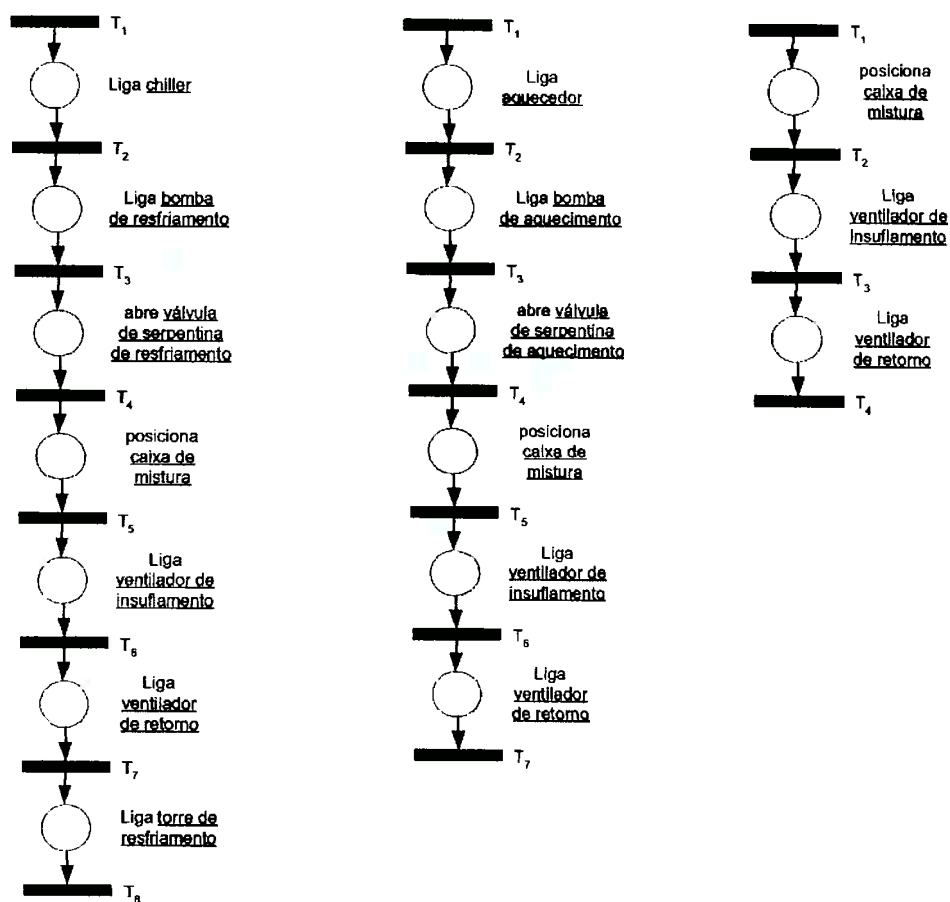
SISTEMA DE AR CONDICIONADO - SAC

A. ABSTRAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS E INTERAÇÕES ATRAVÉS DE REDE DE PETRI:

Nesta atividade modelam-se através de rede de Petri Condição/Evento o fluxo de atividades de cada um dos casos de uso identificados na etapa anterior.

CASOS DE USO 'RESFRIAR', 'AQUECER' E 'VENTILAR'

Estes casos de uso modelam o fluxo de atividades que o SAC realiza para respectivamente resfriar, aquecer e ventilar um ambiente. Os modelos em rede de Petri Condição/Evento destes casos de uso são apresentados na figura 5.10.



a). Caso de uso 'resfriar'

b). Caso de uso 'aquecer'

c). Caso de uso 'ventilar'

Figura 5.10 Modelo do fluxo de atividades dos casos de uso 'Resfriar', 'Aquecer' e 'ventilar'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE ZONAS UTILIZADAS'

Neste caso de uso é modelado o fluxo de atividades realizado no SCA quando este recebe informação do SCA de presença de pessoas em uma zona. O modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso é apresentado na figura 5.11

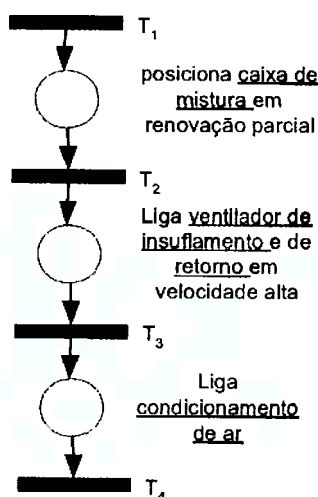


Figura 5.11 Modelo do fluxo de atividades dos casos de uso 'Executar procedimento em caso de zonas utilizadas'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE ZONAS NÃO UTILIZADAS'

Neste caso de uso é modelado o fluxo de atividade realizado no SCA quando o SCA informa a este que não existem mais pessoas na zona. Na figura 5.12 é apresentado o modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso.

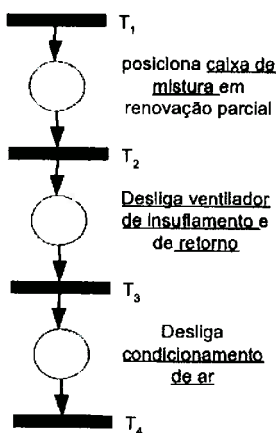


Figura 5.12 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de zonas não utilizadas'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE INCÊNDIO'

Quando um incêndio é detectado o SAC encarrega-se de diminuir a quantidade de fumaça na zona através do uso dos ventiladores de retorno. O modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso é apresentado na figura 5.13

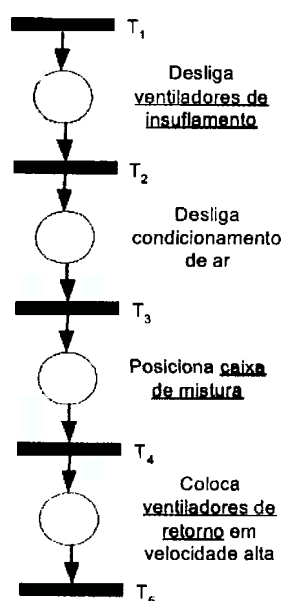


Figura 5.13 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executar procedimento em caso de incêndio'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE FALTA DE ENERGIA'

Neste caso de uso é modelado o fluxo de atividades realizado no SCA quando este recebe informação do SGE sobre o corte do fornecimento de energia. O modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso é apresentado na figura 5.14

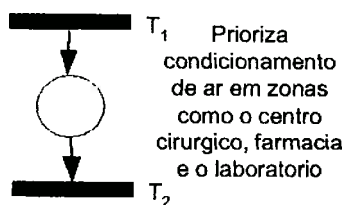


Figura 5.14 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de falta de energia'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE CONSUMO/DEMANDA NÃO PERMITIDA'

O fluxo de atividades neste caso de uso modela o recebimento de uma mensagem por parte do SGE informando que tem sido detectado um consumo/demanda maior ao previsto e é necessário priorizar as zonas de condicionamento. Na figura 5.15 é apresentado o modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso.

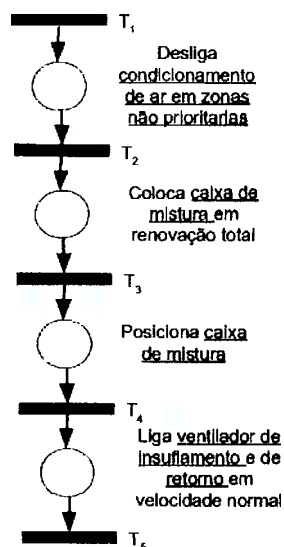


Figura 5.15 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de consumo/demanda não permitida'

CASO DE USO: 'MONITORA OPERAÇÃO'

Este caso de uso representa a atividade de monitorar a operação do SAC através da informação fornecida pelos sensores de temperatura e a evolução dos estados dos atuadores. O caso de uso 'monitora operação' modelado através da rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.16.

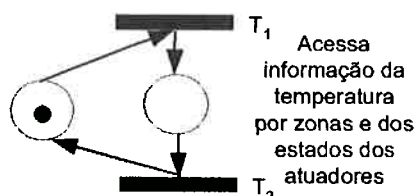


Figura 5.16 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Monitora operação'

CASO DE USO: 'DETERMINA PREFERENCIAS'

Neste caso de uso determinam-se os parâmetros com os quais funciona o SAC como temperatura por zonas, horários de funcionamento e zonas de condicionamento prioritário entre outros. O caso de uso 'determina preferências' modelado através de rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.17.

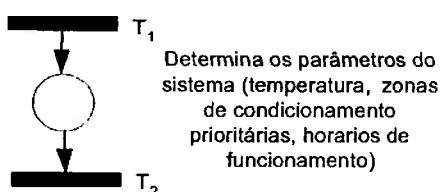


Figura 5.17 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'

B. DEFINIÇÃO E CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE CLASSES

A partir dos modelos do fluxo de atividades dos casos de uso e considerando as funcionalidades do SAC que se desejam representar identificam-se os objetos que realizam cada atividade. Assim os objetos identificados no sistema de ar condicionado são:

- Controlador do sistema de ar condicionado: sua função é controlar os dispositivos nas diferentes zonas e realizar as estratégias de controle;
- Ventilador de retorno;
- Ventilador de insuflamento;
- Caixa de mistura;
- Válvula da serpentina de resfriamento;
- Torre de resfriamento ;
- Bomba de resfriamento;
- *Chiller*;
- Sensor de temperatura;
- Base de dados;
- Interface usuário.

Uma vez identificados os objetos do SAC identificam-se as classes do sistema, e suas operações (métodos) (ver figura 5.18).

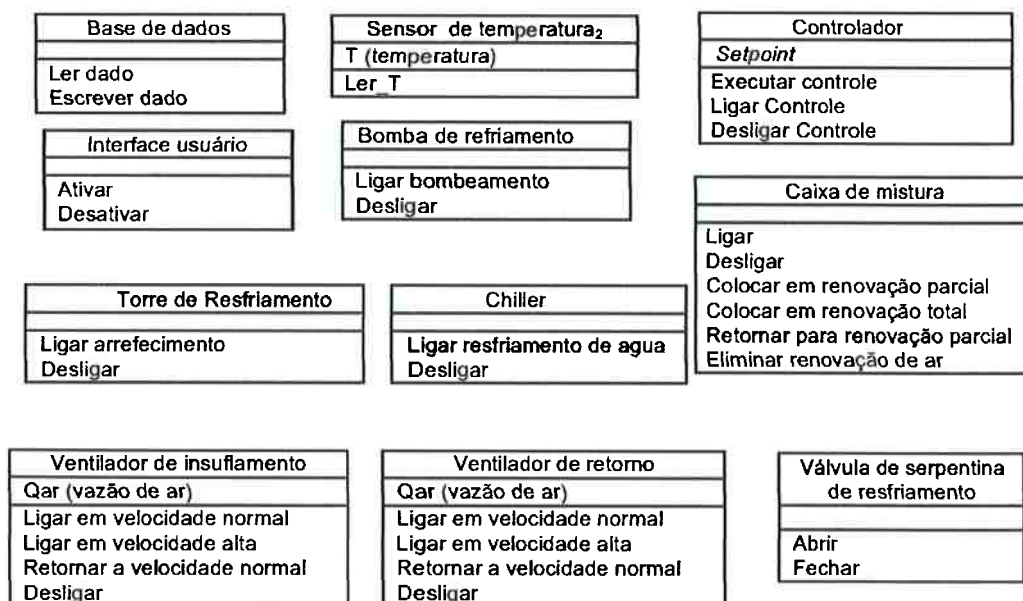


Figura 5.18 Descrição das classes do SAC

Os relacionamentos entre as classes são identificados tendo em conta o metamodelo da figura 4.8 (correspondendo às instâncias deste) e as relações de generalização/especialização, composição/decomposição entre elas. O diagrama de classes do SAC do PAMB é apresentado na figura 5.19.

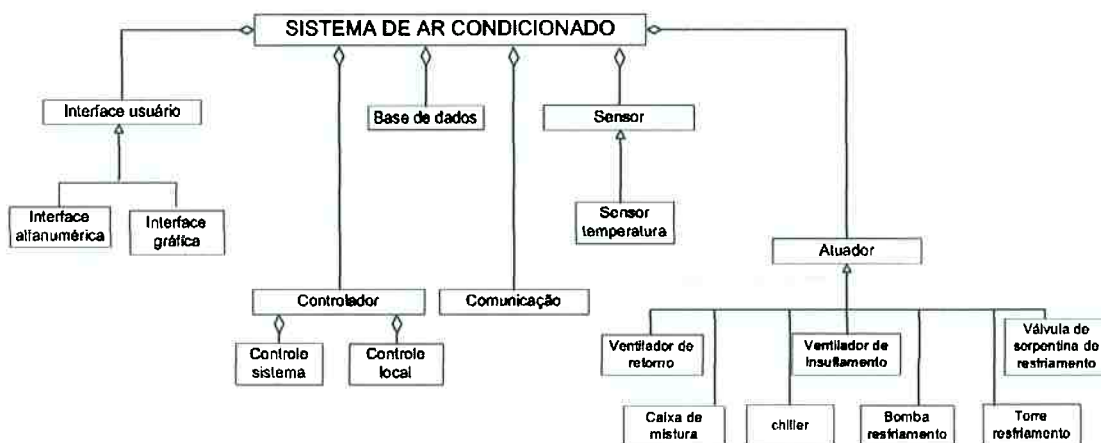


Figura 5.19 Diagrama de classes do SAC

SISTEMA DE CONTROLE DE ACESSO – SCA

A. ABSTRAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS E INTERAÇÕES ATRAVÉS DE REDE DE PETRI:

Nesta atividade modelam-se através de rede de Petri condição evento o fluxo de atividades de cada um dos casos de uso identificados na etapa anterior.

CASO DE USO 'AUTORIZA OU REJEITA ACESSO

Este caso de uso representa as atividades realizadas no sistema quando da chegada de um usuário e a avaliação de seu acesso para liberar ou não a sua entrada. O modelo em rede de Petri Condição/Evento do caso de uso 'Autoriza ou rejeita acesso' é apresentado na figura 5.20.

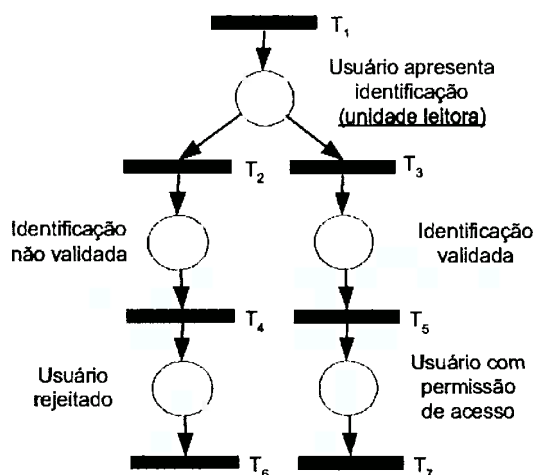


Figura 5.20 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘autoriza ou rejeita acesso’

CASO DE USO: ‘COMUNICA ALARME A CENTRAL’

Este caso de uso apresenta as atividades que são realizadas no SCA quando é disparado um alarme. O caso de uso ‘Comunica alarme a central’ modelado através de rede de Petri é apresentado na figura 5.21.

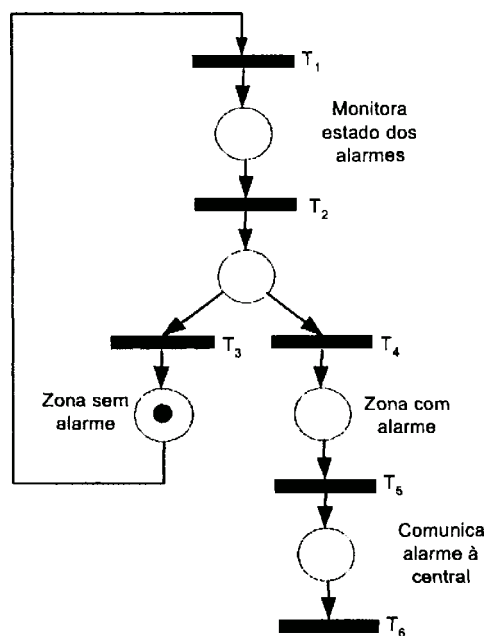


Figura 5.21 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Comunica alarme a central’

CASO DE USO: 'DETECTA PRESENÇA'

Este caso de uso apresenta o fluxo de atividades do SCA quando da detecção de pessoas nas diferentes zonas. O caso de uso 'Detecta presença' modelado através de rede de Petri é apresentado na figura 5.22

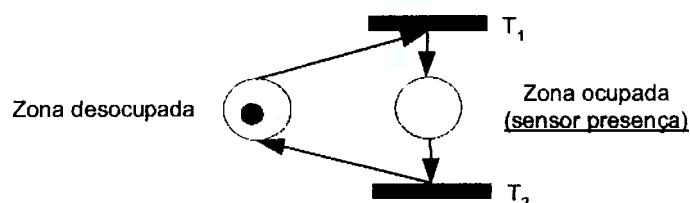


Figura 5.22 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Detecta presença'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE INCÊNDIO'

Quando um incêndio é detectado o SCA libera acessos predeterminados para facilitar a evacuação. O modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso é apresentado na figura 5.23

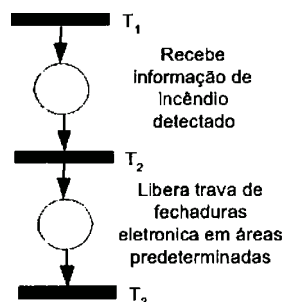


Figura 5.23 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executar procedimento em caso de incêndio'

CASO DE USO: 'MONITORA OPERAÇÃO'

Neste caso de uso monitora-se a operação do SCA através da informação fornecida pelos detectores de presença e os dispositivos de bloqueio (fechadura eletrônica). O caso de uso 'monitora operação' modelado através da rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.24.

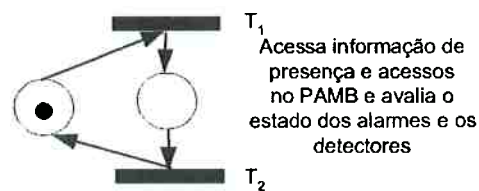


Figura 5.24 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Monitora operação'

CASO DE USO: 'DETERMINA PREFERENCIAS'

Neste caso de uso determinam-se parâmetros com os quais funciona o SCA como as zonas e horários de acesso restringido no PAMB. O caso de uso 'determina preferências' modelado através de rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.25.

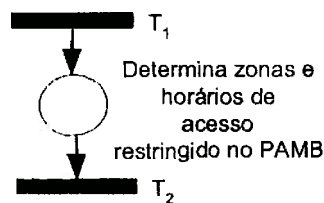


Figura 5.25 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'

B. DEFINIÇÃO E CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE CLASSES

Considerando as funcionalidades do SCA que se representam a partir dos modelos do fluxo de atividades dos cada caso de uso, identificam-se os objetos que realizam cada atividade. Assim os objetos identificados no SCA são:

- Controlador do SCA: sua função é monitorar e controlar os dispositivos de detecção, identificação e bloqueio nas diferentes zonas do PAMB;
- Alarme (Interface usuário);
- Indicador luminoso (Interface usuário);
- Fechadura eletrônica;
- Detector de presença;
- Unidade leitora;
- Detector magnético;
- Discadora;
- Base de dados.

Uma vez identificados os objetos do SCA identificam-se as classes do sistema, e suas operações (métodos) (ver figura 5.26).



Figura 5.26 Descrição das classes do SCA

Os relacionamentos entre as classes são identificados tendo em conta o metamodelo da figura 4.8. O diagrama de classes do SCA do PAMB é apresentado na figura 5.27.

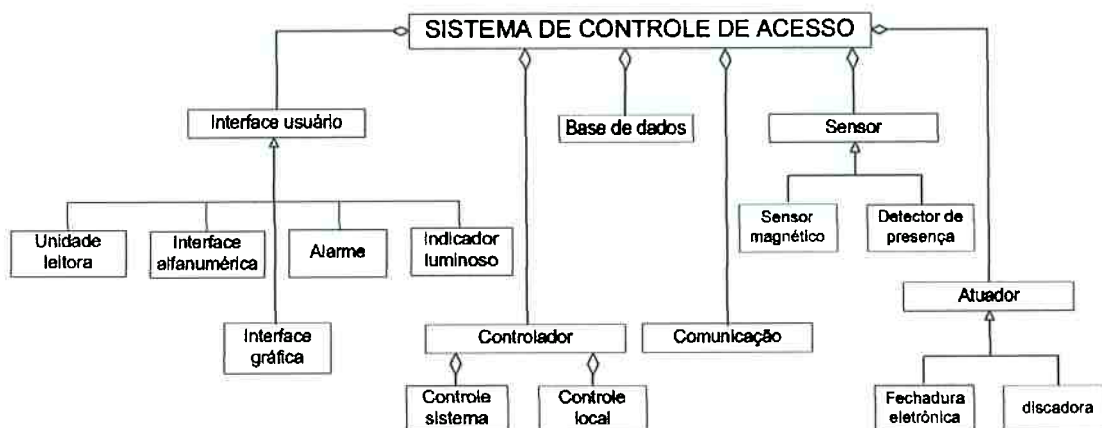


Figura 5.27 Descrição das classes do SCA

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA - SGE

A ABSTRAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS E INTERAÇÕES ATRAVÉS DE REDE DE PETRI:

Nesta atividade modelam-se através de rede de Petri Condição/Evento o fluxo de atividades dos casos de uso identificados na etapa anterior.

CASO DE USO: 'CONTROLA CONSUMO/DEMANDA DE ENERGIA'

As atividades neste caso de uso referem-se à medição dos valores de consumo e demanda de energia que determinarão a retirada de cargas não prioritárias no caso destes valores passarem dos limites pré-estabelecidos e a sua liberação no caso de terem-se restabelecido níveis normais na medição. O caso de uso 'controla consumo/demanda de energia' modelado em rede de Petri é apresentado na figura 5.28.

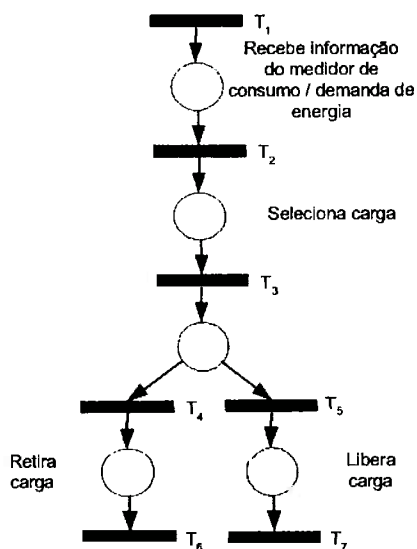


Figura 5.28 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'controla consumo/demanda de energia'

CASO DE USO: 'GERENCIA GRUPO DE GERADORES'

Este caso de uso representa as atividades realizadas quando é cortado o fornecimento de energia e são ligados os geradores os quais encarregam-se de ativar o condicionamento de ar e a iluminação em zonas prioritárias além de garantir o serviço de alguns dos elevadores. O caso de uso 'Gerencia grupo de geradores' modelado através da rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.29

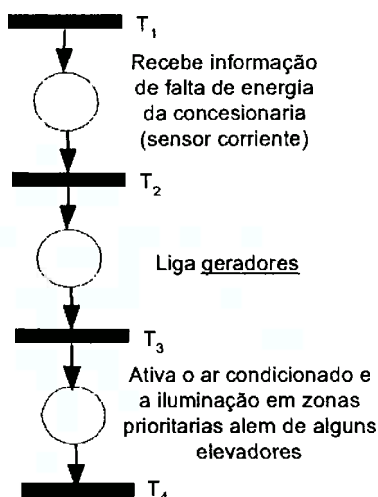


Figura 5.29 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Gerencia grupo de geradores’

CASO DE USO ‘EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE INCÊNDIO’

Quando um incêndio é detectado o SGE tem como atividades suspender o fornecimento de energia na zona do incêndio e ligar a iluminação de emergência. O modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso é apresentado na figura 5.30

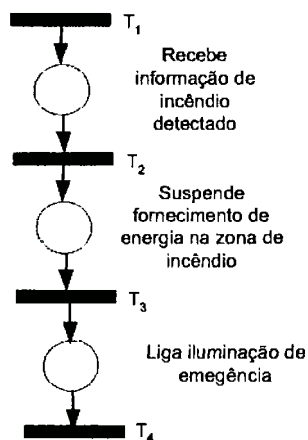


Figura 5.30 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Executar procedimento em caso de incêndio’

CASO DE USO: ‘MONITORA OPERAÇÃO’

Este caso de uso representa a atividade de monitorar os medidores de consumo e demanda e o sensor de corrente do SGE O caso de uso ‘monitora operação’ modelado através da rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.31.

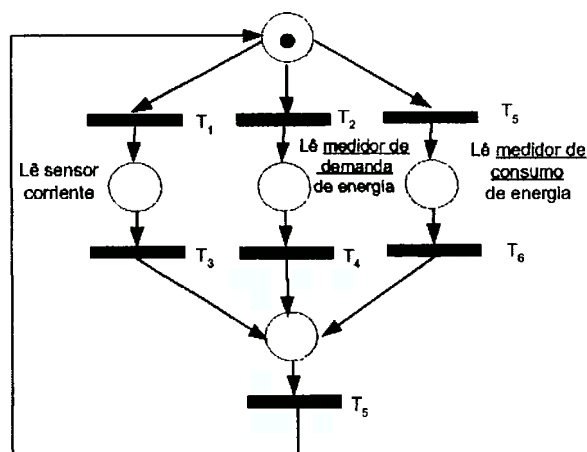


Figura 5.31 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Monitora operação'

CASO DE USO: 'DETERMINA PREFERENCIAS'

Neste caso de uso determinam-se quais devem ser as cargas prioritizadas no PAMB em caso de falta de energia ou quando o consumo e a demanda superem os valores predeterminados. O caso de uso 'determina preferências' modelado através de rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.32.

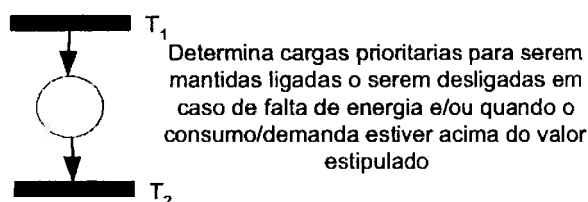


Figura 5.32 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'

B. DEFINIÇÃO E CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE CLASSES

A partir dos modelos do fluxo de atividades de cada caso de uso e considerando as funcionalidades do SGE que se desejam representar identificam-se os objetos que realizam cada atividade. Assim os objetos identificados no SGE são:

- Controlador do SGE: sua função é gerenciar os geradores de energia, controlar o consumo e a demanda de energia dentro de metas preestabelecidas e realizar as estratégias de controle;
- Geradores;
- Medidor de consumo/ demanda de energia;
- Sensor de corrente;

- Base de dados;
- Interface de usuário.

Uma vez identificados os objetos do SAC identificam-se as classes do sistema, e suas operações (métodos) (ver figura 5.33).

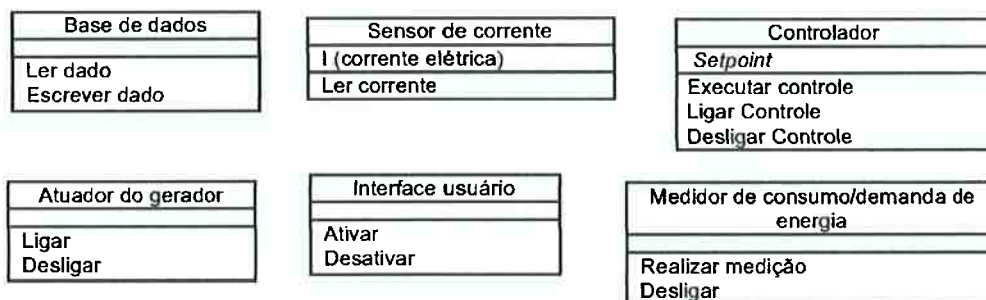


Figura 5.33 Descrição das classes do SGE

Os relacionamentos entre as classes são identificados tendo em conta o metamodelo da Figura 4.8 e os relacionamentos entre elas. O diagrama de classes do SGE do PAMB é apresentado na figura 5.34.

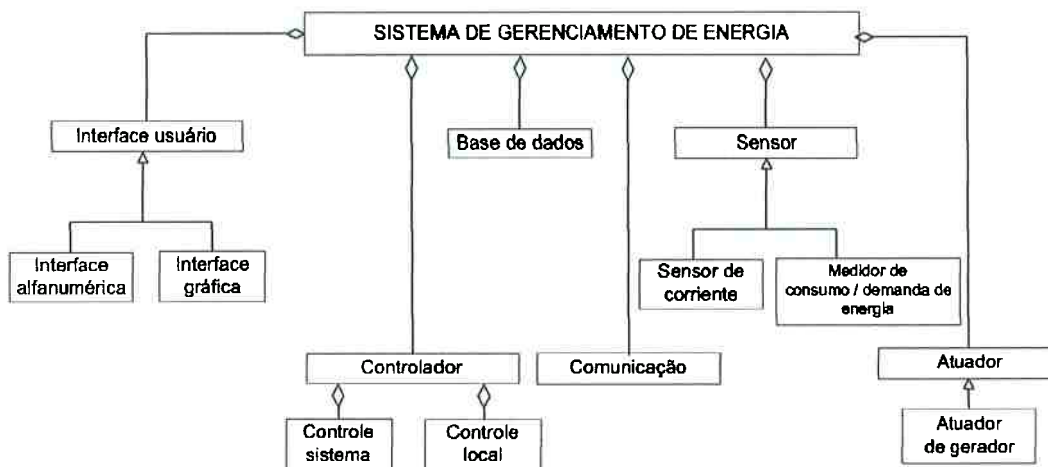


Figura 5.34 Diagrama de classes do SGE

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO - SI

A. ABSTRAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS E INTERAÇÕES ATRAVÉS DE REDE DE PETRI:

Nesta atividade modelam-se através de uma rede de Petri Condição/Evento o fluxo de atividades de cada um dos casos de uso identificados na etapa anterior.

CASO DE USO: 'FORNECE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL'

Este caso de uso apresenta o fluxo de atividades do SI no fornecimento de iluminação artificial a qual ocorre quando é detectada uma pessoa em uma zona ou quando é recebida, para isto, uma ordem pré-programada. No caso de não ser detectada a presença de mais pessoas na zona ou no recebimento de uma ordem para realizar-lo desliga-se a iluminação. O caso de uso 'fornece iluminação artificial' modelado através de redes de Petri é apresentado na figura 5.35.

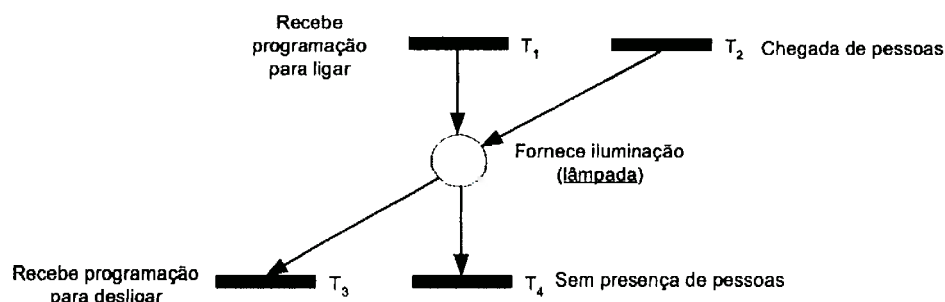


Figura 5.35 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'fornece iluminação artificial'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE FALTA DE ENERGIA'

Neste caso de uso é modelado o fluxo de atividades realizado no SI quando este recebe informação do SGE sobre o corte do fornecimento de energia. O modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso é apresentado na figura 5.36

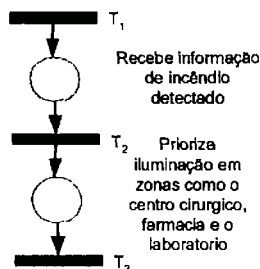


Figura 5.36 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de falta de energia'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE CONSUMO/DEMANDA NÃO PERMITIDA'

O fluxo de atividades neste caso de uso modela o recebimento de uma mensagem por parte do SGE informando que tem sido detectado um consumo/demanda maior ao previsto e é necessário priorizar as zonas de iluminação. Na figura 5.37 é apresentado o modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso.

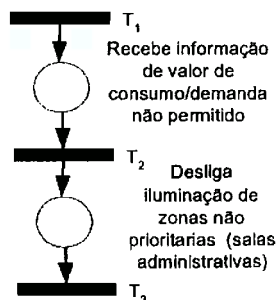


Figura 5.37 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de consumo/demanda não permitida'

CASO DE USO: 'MONITORA OPERAÇÃO'

Este caso de uso representa a atividade de avaliar o estado das lâmpadas do SI. O caso de uso 'monitora operação' modelado através da rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.38.

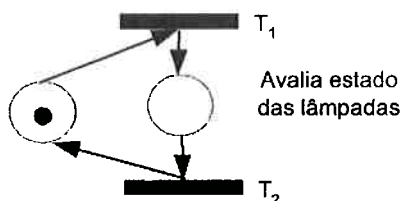


Figura 5.38 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Monitora operação'

CASO DE USO: 'DETERMINA PREFERENCIAS'

Neste caso de uso determinam-se as zonas de iluminação prioritária e horários de funcionamento para o PAMB. O caso de uso 'determina preferências' modelado através de rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.39

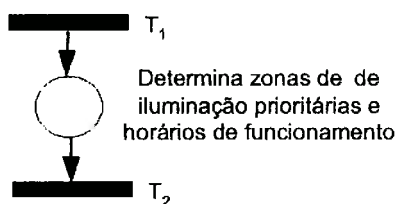


Figura 5.39 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'

B. DEFINIÇÃO E CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE CLASSES

A partir dos modelos do fluxo de atividades de cada caso de uso e considerando as funcionalidades do SI que se desejam representar identificam-se os objetos que realizam cada atividade. Assim os objetos identificados no SI são:

- Controlador do SI: sua função é garantir o fornecimento de iluminação no PAMB através do controle dos dispositivos nas diferentes áreas.
- Lâmpada;
- Sensor de luminosidade;
- Interruptor;
- Base de dados.

Uma vez identificados os objetos do SI identificam-se as classes do sistema, e suas operações (métodos) (ver figura 5.40).



Figura 5.40 Descrição das classes do SI

Os relacionamentos entre as classes são identificados tendo em conta o metamodelo da figura 4.8 e as relações entre elas. O diagrama de classes do SI do PAMB é apresentado na figura 5.41.

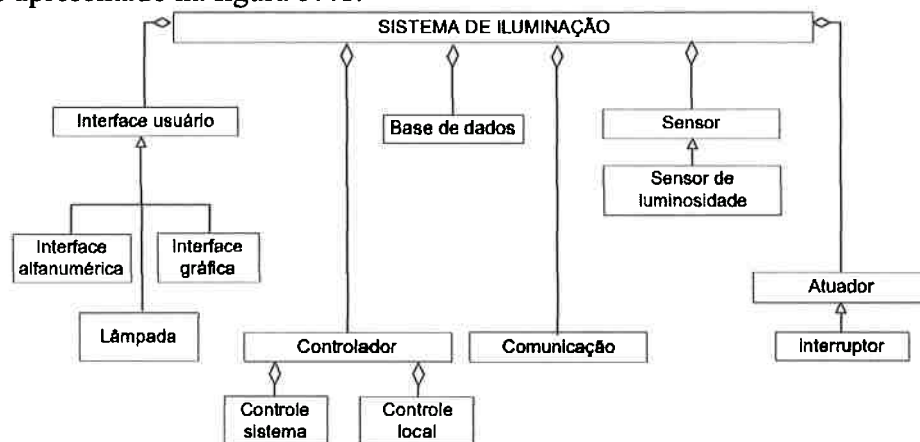


Figura 5.41 Diagrama de classes do SI

SISTEMA DE DETECÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO

A. ABSTRAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS E INTERAÇÕES ATRAVÉS DE REDE DE PETRI:

Nesta atividade modela-se através de rede de Petri Condição/Evento o fluxo de atividades de cada um dos casos de uso identificados na etapa anterior.

CASO DE USO: 'COMUNICA DETECÇÃO DE INCÊNDIO'

Quando um incêndio é detectado o SDCI se encarrega de enviar esta informação aos bombeiros e aos outros sistemas prediais para que estes realizem suas respectivas estratégias em caso de incêndio. O caso de uso 'comunica detecção de incêndio' modelado através de rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.42.

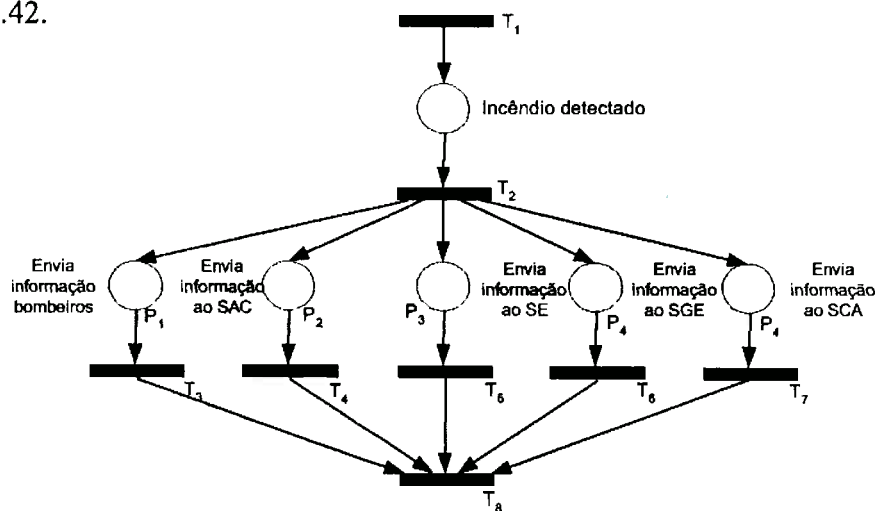


Figura 5.42 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'comunica detecção de incêndio'

CASO DE USO 'DETECTA E CONTROLA INCÊNDIO'

Este caso de uso representa a detecção de um incêndio através do sensor de temperatura ou de fumaça. Uma vez que o incêndio é detectado o sistema executa tarefas para seu combate inicialmente comunicando sobre o incêndio aos outros sistemas prediais e ligando o alarme. A seguir é ligada a bomba jockey, a bomba de incêndio e depois os *sprinklers*. Finalmente se liga o ventilador de insuflamento das escadas. O modelo em rede de Petri Condição/Evento do caso de uso 'detecta e controla incêndio' é apresentado na figura 5.43

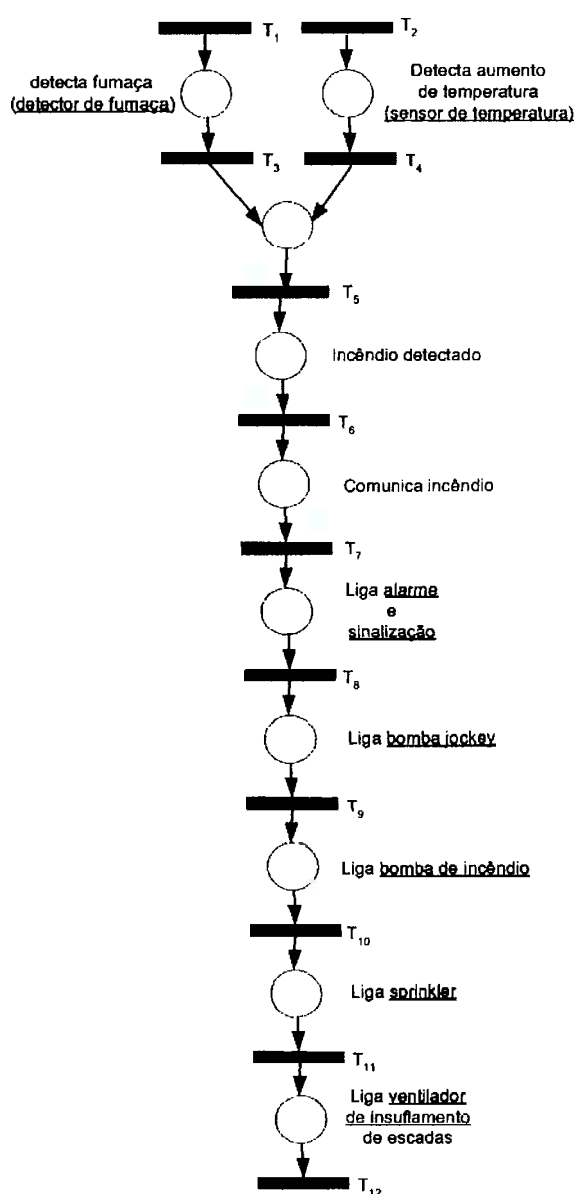


Figura 5.43 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘detecta e controla incêndio’

CASO DE USO: ‘MONITORA OPERAÇÃO’

Este caso de uso representa a atividade de monitorar a operação do SDCI através da informação fornecida pelos detectores de fumaça e do estado dos atuadores. O caso de uso ‘monitora operação’ modelado através de rede de Petri é apresentado na figura 5.44.

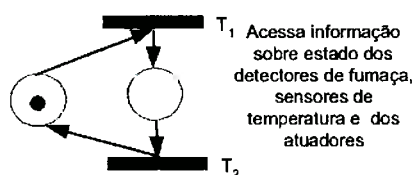


Figura 5.44 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso ‘Monitora operação’

CASO DE USO: 'DETERMINA PREFERENCIAS'

Neste caso de uso determinam-se as programações para realizar a verificação dos equipamentos do SDCI. O caso de uso 'determina preferências' modelado através de rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.45.

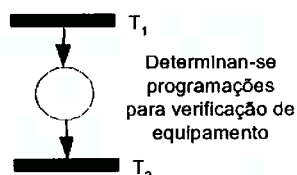


Figura 5.45 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'

B. DEFINIÇÃO E CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE CLASSES

A partir dos modelos do fluxo de atividades de cada caso de uso e considerando as funcionalidades do SDCI que se desejam representar identificam-se os objetos que realizam cada atividade. Assim os objetos identificados no SDCI são:

- Controlador de incêndio com a função de controlar os dispositivos em uma zona, executar as ações para os casos contemplados e exercer controle sobre os equipamentos de bombeamento;
- Sensor de fumaça;
- Sensor de temperatura;
- *Splinklers*;
- Alarme;
- Dispositivo para liberação de gás
- Acionador manual;
- Bomba *jockey* (bomba secundaria de incêndio);
- Bomba de incêndio (bomba principal de incêndio);
- Ventilador insuflamento;
- Discadora;
- Sinalizador luminoso
- Base de dados;
- Ventilador de retorno.

Uma vez identificados os objetos do SDCI identificam-se as classes do sistema, e suas operações (métodos) (ver figura 5.46).

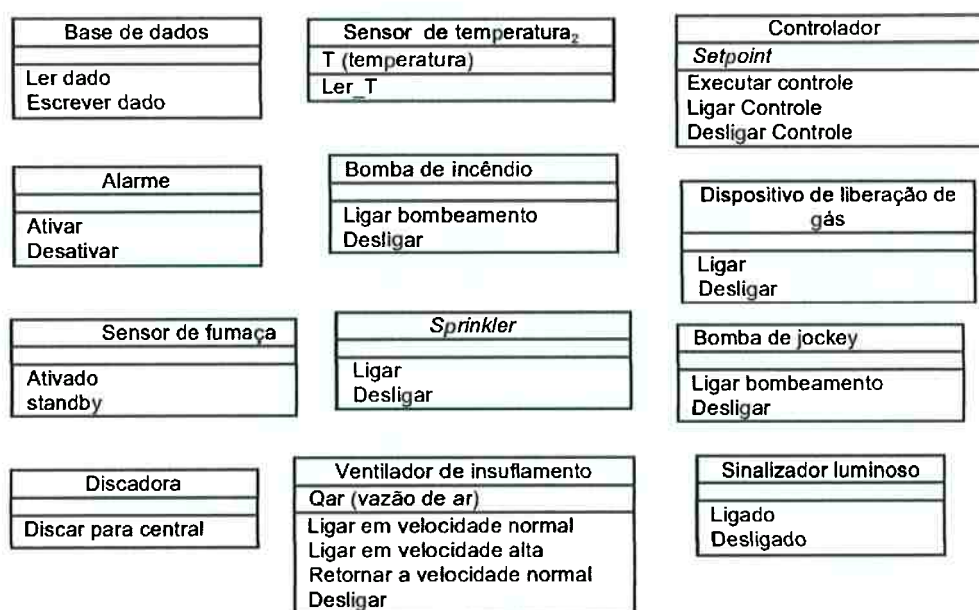


Figura 5.46 Descrição das classes do sistema de detecção e combate a incêndio

Os relacionamentos entre as classes são identificados tendo em conta o metamodelo da figura 4.8 e suas relações de generalização/especialização, composição/decomposição entre elas. O diagrama de classes do SDCI para o PAMB é apresentado na figura 5.47.



Figura 5.47 Diagrama de classes do SDCI

SISTEMA DE ELEVADORES - SE

A. ABSTRAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS E INTERAÇÕES ATRAVÉS DE REDE DE PETRI:

Nesta atividade modela-se através de rede de Petri Condição/Evento o fluxo de atividades de cada um dos casos de uso identificados na etapa anterior.

CASO DE USO 'ATENDE CHAMADA'

Este caso de uso apresenta o fluxo de atividades para o atendimento de uma chamada, inicialmente, de andar e depois de cabine. O modelo em rede de Petri Condição/Evento do caso de uso 'atende chamada' é apresentado na figura 5.48.

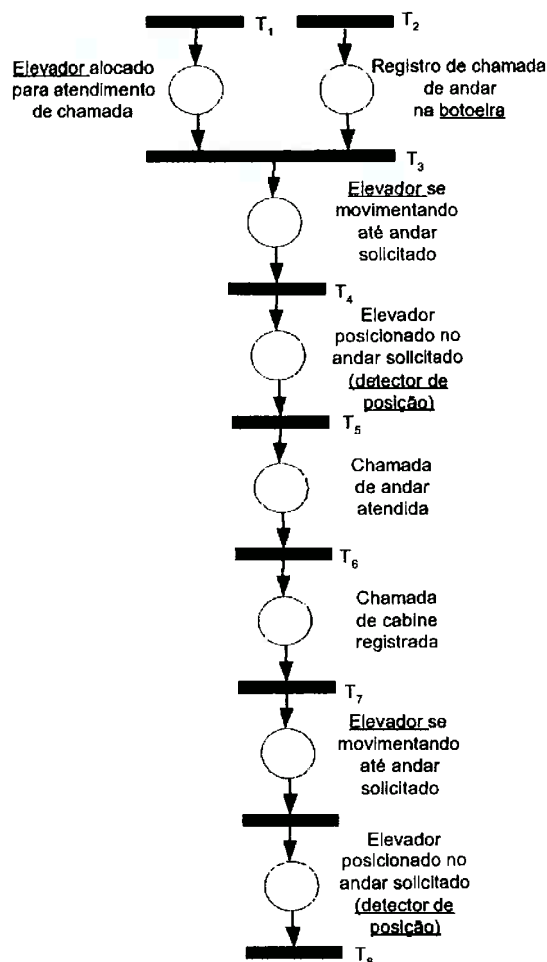


Figura 5.48 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'atende chamada'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE INCÊNDIO'

Este caso de uso modela o fluxo de informações quando um incêndio é detectado e o SE devem ser movimentados até o andar térreo e depois desligados. O modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso é apresentado na figura 5.49

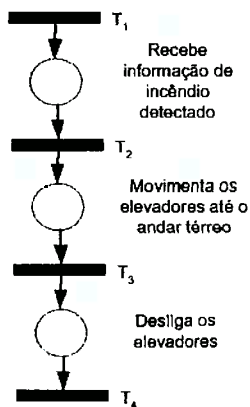


Figura 5.49 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executar procedimento em caso de incêndio'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE FALTA DE ENERGIA'

Neste caso de uso é modelado o fluxo de atividades realizado no SE quando este recebe informação do SGE sobre o corte do fornecimento de energia. O modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso é apresentado na figura 5.50

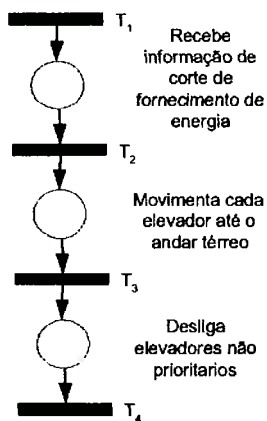


Figura 5.50 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de falta de energia'

CASO DE USO 'EXECUTA PROCEDIMENTO EM CASO DE CONSUMO/DEMANDA NÃO PERMITIDA'

O fluxo de atividades neste caso de uso modela o recebimento de uma mensagem por parte do SGE informando que tem sido detectado um

consumo/demanda maior ao previsto e é necessário priorizar o serviço de transporte vertical. Na figura 5.51 é apresentado o modelo em rede de Petri Condição/Evento deste caso de uso.

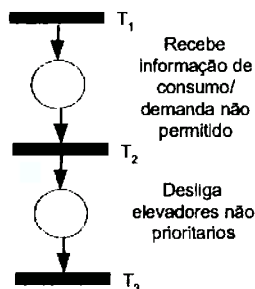


Figura 5.51 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Executa procedimento em caso de consumo/demanda não permitida'

CASO DE USO: 'MONITORA OPERAÇÃO'

Neste caso de uso monitora-se a operação do SE através da informação dos posicionamentos de cada um dos elevadores e das chamadas de andar e de cabine que tem sido realizadas. O caso de uso 'monitora operação' modelado através da rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.52.

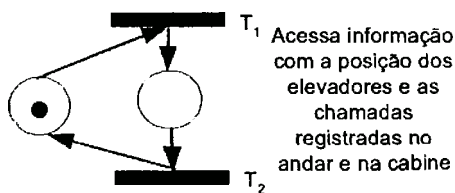


Figura 5.52 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Monitora operação'

CASO DE USO: 'DETERMINA PREFERENCIAS'

Neste caso de uso determinam-se parâmetros com os quais funciona o SCA como as zonas e horários de acesso restringido no PAMB. O caso de uso 'determina preferências' modelado através de rede de Petri Condição/Evento é apresentado na figura 5.53.

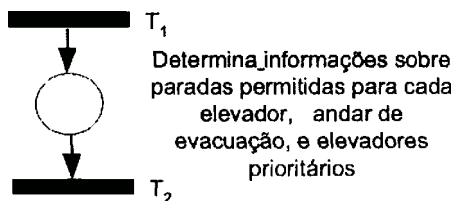


Figura 5.53 Modelo do fluxo de atividades do caso de uso 'Determina preferências'

B. DEFINIÇÃO E CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE CLASSES

A partir dos modelos do fluxo de atividades de cada caso de uso e considerando as funcionalidades do SE identificam-se os objetos que realizam cada atividade. Assim os objetos identificados no SE são:

- Controlador de elevadores;
- Detector de posição;
- Atuador de portas;
- Sinalizador luminoso;
- Motor do elevador;
- Dispositivo de áudio;
- Botoeira.

Uma vez identificados os objetos do SE se identificam as classes do sistema, e suas operações (métodos) (ver figura 5.54).

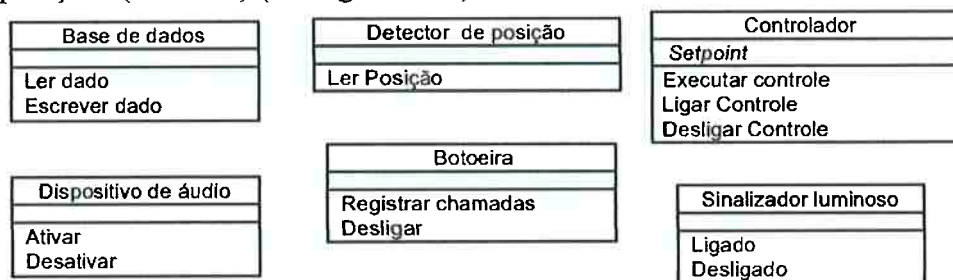


Figura 5.54 Descrição das classes do SE

Os relacionamentos entre as classes são identificados tendo em conta o metamodelo da figura 4.8 e as relações de generalização/especialização, composição/decomposição entre elas. O diagrama de classes do SE para o PAMB é apresentado na figura 5.55.

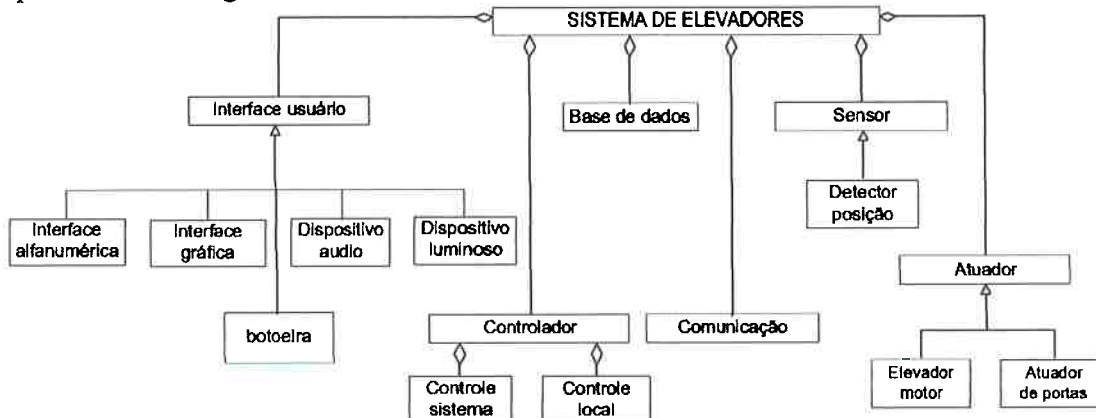


Figura 5.55 Diagrama de classes do SE

ETAPA 4: MODELAGEM DINÂMICA DO SISTEMA PREDIAL

As informações trocadas entre os elementos dos sistemas prediais envolvem

- O status dos sensores e atuadores;
- Os sinais de controle aos atuadores;
- As informações trocadas com outros sistemas prediais

Nesta etapa são construídos os modelos em RPMCO das classes identificadas na etapa 3. A seguir apresentam-se estes modelos para os sistemas considerados no PAMB observa-se, no entanto, que serão omitidos modelos que possuem similaridades com modelos apresentados anteriormente em algum dos sistemas prediais (como é o caso do modelo da base de dados e alguns sensores e atuadores) pois a apresentação exaustiva de todos sobrecarregaria o texto sem acrescentar novas contribuições ou ilustrar aspetos diferentes do procedimento de modelagem.

SISTEMA DE AR CONDICIONADO - SAC

O SAC compartilha informações com os seguintes sistemas e para as seguintes finalidades:

- SCA: para acionar ao condicionamento de ar no caso de ser detectada uma pessoa na área.
- SGE: em caso de interrupção do fornecimento de energia elétrica da concessionária priorizam-se o condicionamento e ar em algumas áreas como a farmácia e o centro cirúrgico.
- SDCI: para ligar os ventiladores de retorno e desligar o condicionamento de ar.

Nomenclatura usada nas declarações dos modelos em RMPCO do SAC

As mensagens entre sistemas prediais seguem o formato apresentado no capítulo 3 é dizer: (re, em, disp, oper, param):

re: corresponde al receptor da mensagem que no caso do SAC poderá ser:

CSAC (Controlador do Sistema de Ar Condicionado), ou um controlador local (Ctrlloc_x com x= 1..n)

em: corresponde à identificação do invocador no caso do SAC poderá ser:

CSCA (Controlador do Sistema de Controle de acesso), CSGE (Controlador do Sistema de Gerenciamento de Energia), CSDCI (controlador do Sistema de Detecção e Combate a Incêndio), CSAC (Controlador do Sistema de Ar Condicionado) ou um controlador local (Ctrloc_x com x= 1..n)

disp: refere-se ao dispositivo do SAC sobre o qual deve ser realizada uma ação. Os dispositivos considerados no SAC do PAMB são:

Chiller (chi_ch com ch= 1..i), Bomba de resfriamento (bre_br com br= 1..k), Válvula da serpentina de resfriamento (vsre_vsr com vse= 1..d), Caixa de mistura (cmx_cm com cm= 1..ñ), Ventilador de retorno (vre_vr com vr= 1..p), Ventilador de insuflamento (vin_vi com vi= 1..s), Torre de resfriamento (ter_tr com tr= 1.. u), Sensor temperatura (ste_st com st= 1..w).

oper: ação que deve ser realizada sobre o dispositivo e que para o caso do SAC do PAMB são: ligar (li), desligar (de), abrir (ab), fechar (fec), posicionar caixa (pmc), accionar.

param: define os dados a operar na ação. No SAC estes parâmetros são: caixa de mistura sem renovação (sr), caixa de mistura com renovação parcial (pp), caixa de mistura com renovação total (pt), ventilador em velocidade normal (vn), ventilador em velocidade alta (va), temperatura alta (ta), temperatura normal (tn), temperatura baixa (tb).

CLASSE VENTILADOR DE RETORNO:

Nesta classe consideram-se os estados: ventilador desligado (P_1), em velocidade normal (P_2) e em velocidade alta (P_3). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.56 O modelo para o ventilador de insuflamento é similar a este, mas com as inscrições devidas.

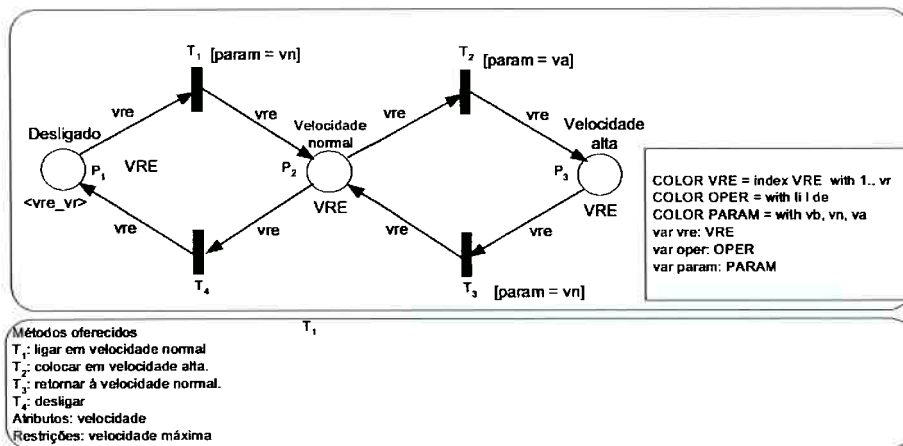


Figura 5.56 Modelo em RPMCO da classe ventilador de retorno

CLASSE CAIXA DE MISTURA:

O modelo desta classe representa os estados da caixa de mistura em renovação 100% (P₁), renovação parcial 40% (P₂) e sem renovação 0% (P₃). A figura 5.57 representa o modelo desta classe em RPMCO.

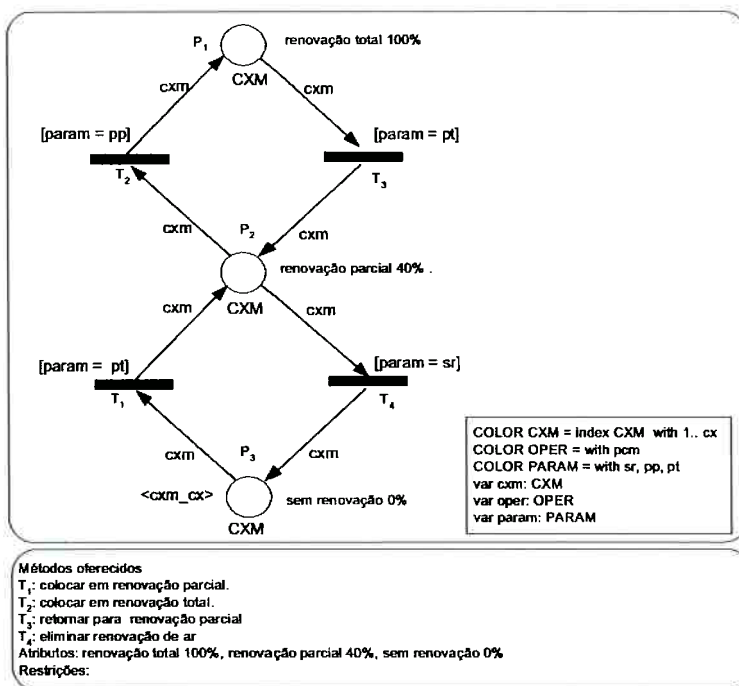


Figura 5.57 Modelo em RPMCO da classe caixa de mistura

CLASSE VÁLVULA DA SERPENTINA

Nesta classe consideram-se os estados: válvula da serpentina com fluxo (P₁) e válvula da serpentina sem fluxo (P₂). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.58.

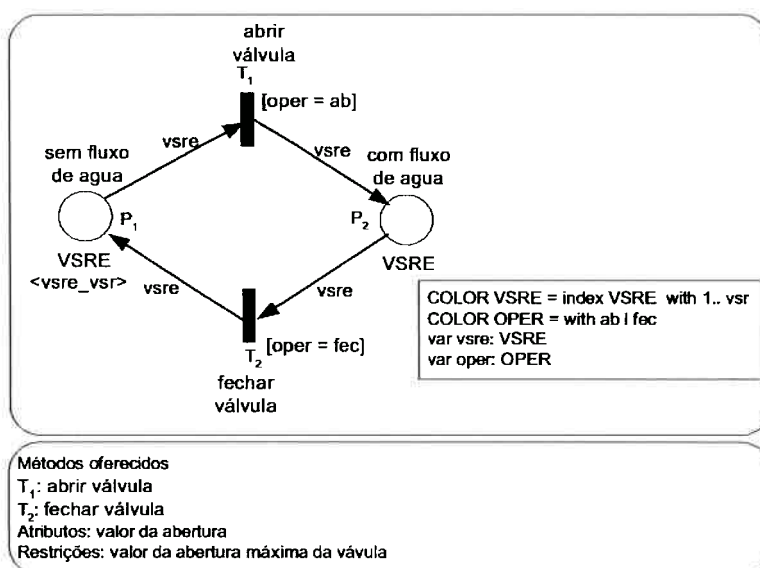


Figura 5.58 Modelo em RPMCO da classe válvula da serpentina

CLASSE TORRE DE RESFRIAMENTO

Consideram-se nesta classe os estados: torre de resfriamento arrefecendo água (P₁) e torre de resfriamento desligada (P₂). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.59.

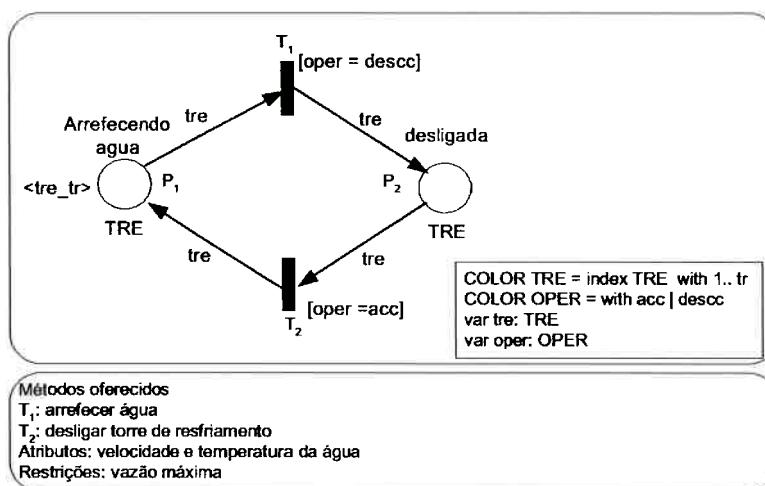


Figura 5.59 Modelo em RPMCO da classe torre de resfriamento

CLASSE CHILLER

A classe Chiller considera os estados: resfriando (P₁) e desligado (P₂). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.60.

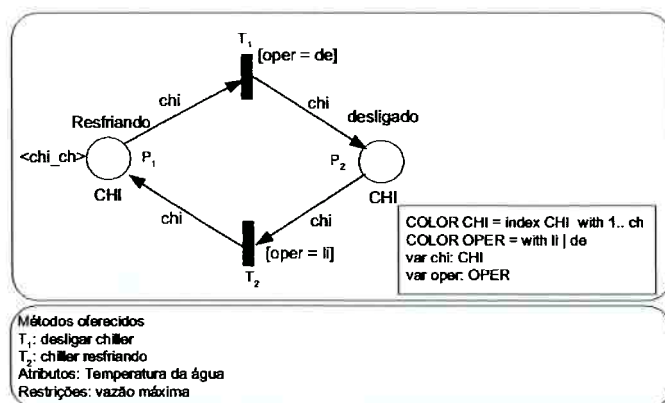


Figura 5.60 Modelo em RPMCO da classe Chiller

CLASSE BOMBA DE RESFRIAMENTO

Nesta classe consideram-se os estados: bombeando (P_1) e bomba desligada (P_2). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.61

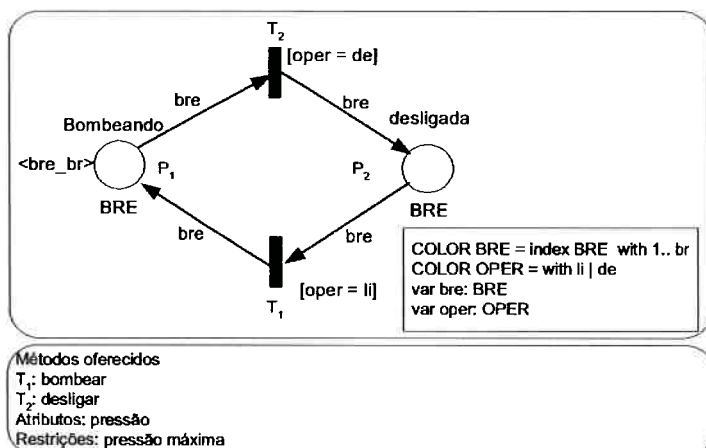


Figura 5.61 Modelo em RPMCO da classe Bomba de resfriamento

CLASSE SENSOR DE TEMPERATURA:

Nesta classe consideram-se os estados: temperatura baixa detectada (P_1), temperatura de conforto detectada (P_2) e temperatura alta detectada (P_3). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.62.

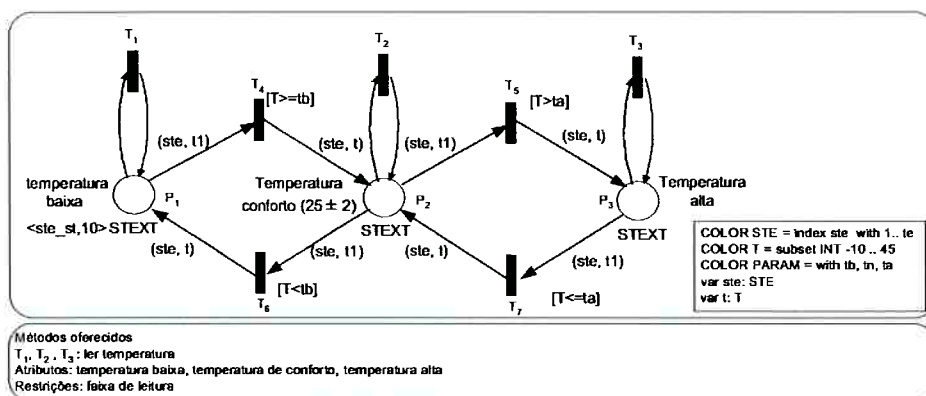


Figura 5.62 Modelo em RPMCO da classe sensor de temperatura

CLASSE BASE DE DADOS:

Nesta classe consideram-se os estados: base de dados lida (P₂), base de dados atualizada (P₂) O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.63.

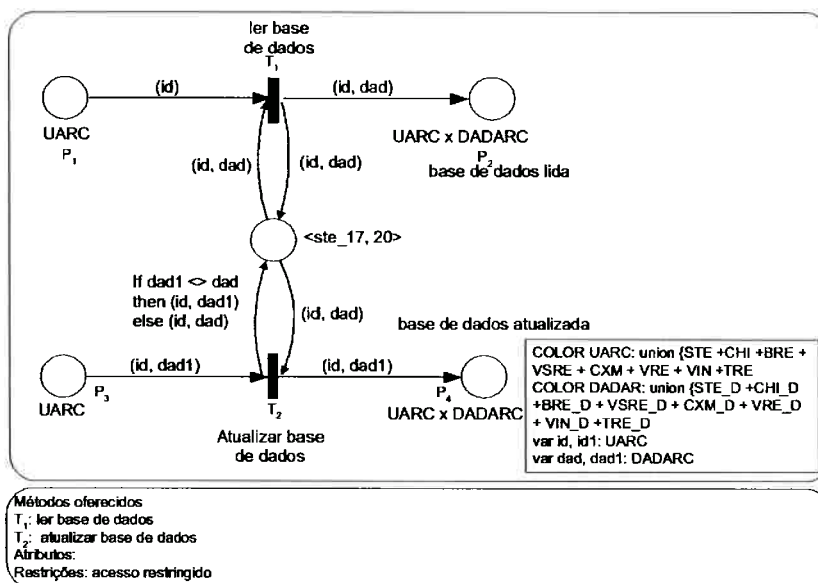


Figura 5.63 Modelo em RPMCO da classe base de dados

CLASSE CONTROLADOR

Esta classe encarrega-se de realizar as ações que permitem garantir o resfriamento do ar e a realização das diferentes estratégias de controle. O modelo desta classe é apresentado na figura 5.64

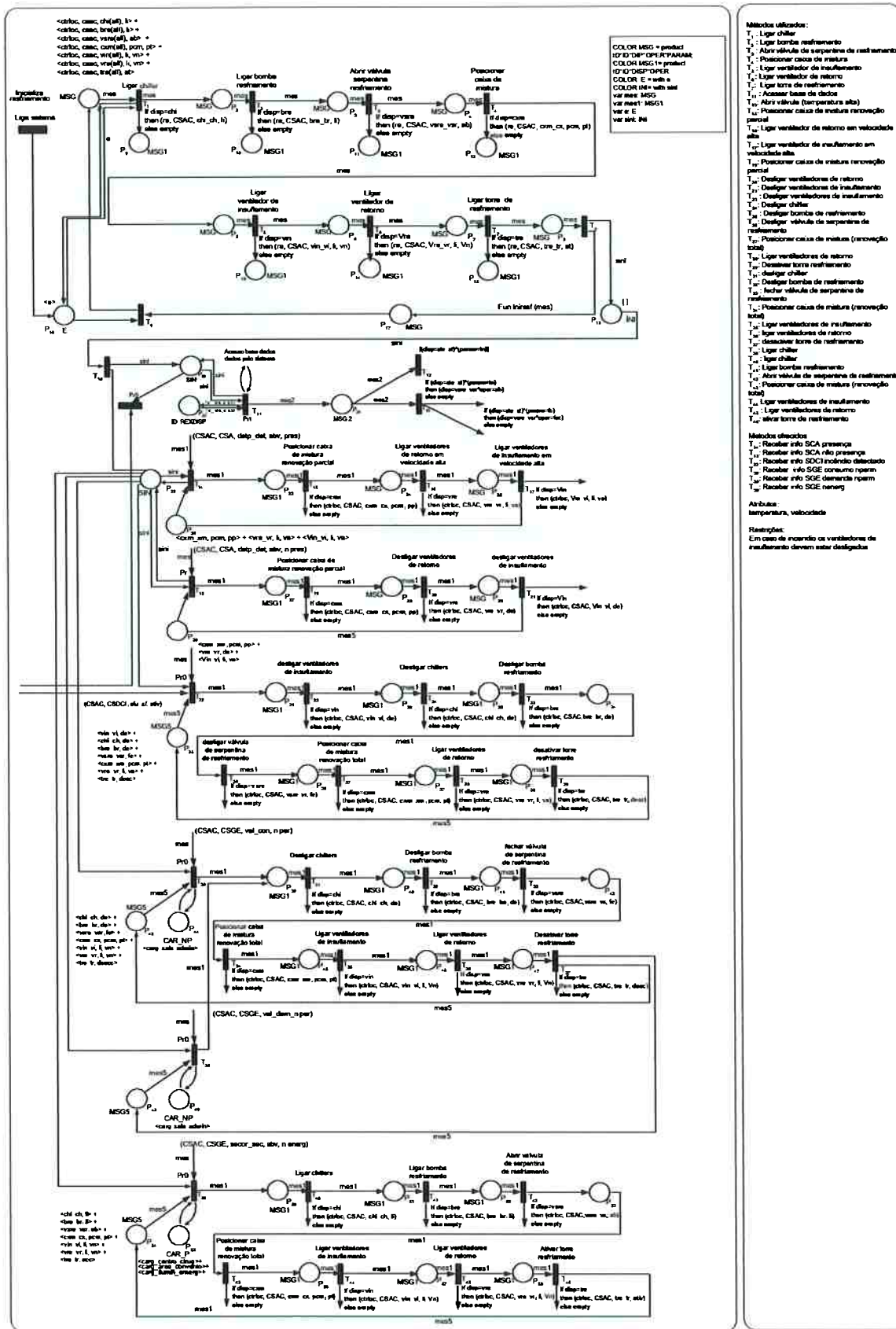


Figura 5.64 Modelo em RPMCO da classe Controlador

SISTEMA DE CONTROLE DE ACESSO - SCA

O SCA compartilha informações com os seguintes sistemas e para as seguintes finalidades:

- SAC: para que seja tomada a medida correspondente ao ser detectada uma pessoa.
- SI: ligar lâmpadas na área onde for detectada uma pessoa.
- SDCI: para liberar acessos e facilitar a evacuação.

Nomenclatura usada nas declarações dos modelos em RMPCO do SCA

As mensagens entre sistemas prediais seguem o formato apresentado no capítulo 3 é dizer: (re, em, disp, oper, param):

re: corresponde al receptor da mensagem que no caso do SCA poderá ser:

CSAC (Controlador do Sistema de Ar Condicionado), CSI (Controlador do Sistema de Iluminação), ou um controlador local (Ctrlloc_x com x= 1..n)

em: corresponde à identificação do invocador no caso do SCA poderá ser:

CSDCI (controlador do Sistema de Detecção e Combate a Incêndio), CSCA (Controlador do Sistema de Controle de Acesso) ou um controlador local (Ctrlloc_x com x= 1..n)

disp: refere-se ao dispositivo do SCA sobre o qual deve ser realizada uma ação.

Os dispositivos considerados no SCA do PAMB são:

unidade leitora (ule_ul com ul= 1..v), alarma (alarc_alr com alr= 1..z), detector de presença (detp_det com det= 1.. ii), fechadura eletrônica (fech_fec com fec= 1..jj), indicador luminoso (indl_ind com ind= 1..kk), sensor magnético (smag_sm com sm= 1..ll) discadora (disc).

oper: ação que deve ser realizada sobre o dispositivo e que para o caso do SCA do PAMB são: ativar (ativ), desativar (desat), standby (stby), lib (liberar), ligar (li), desligar (de), travar (trav), destravar (detrav)

param: define os dados a operar na ação. No SCA estes parâmetros são: presença (pres), não presença (npres), identificação de usuário (ide_usu), identificação de usuário cadastrado (id_usu_cad), horário permitido (hor_per), horário restringido (hor_res).

CLASSE ALARME:

Nesta classe considera-se que o alarme pode estar nos estados: ativado (P_1) ou desativado (P_2). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.65

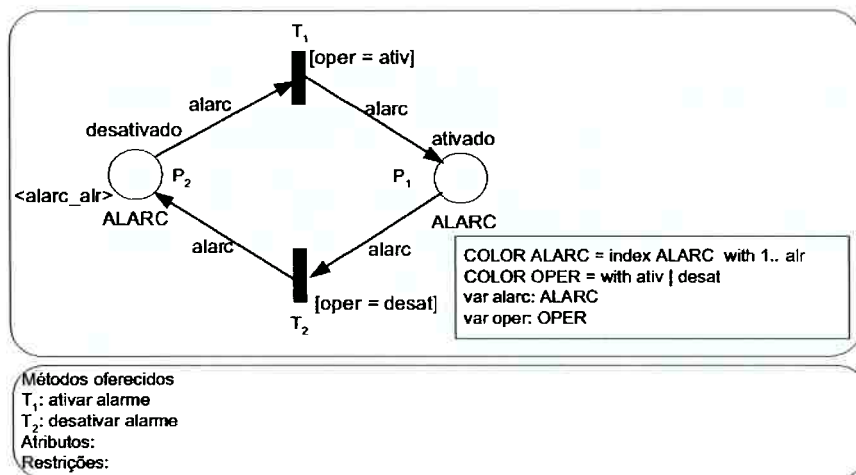


Figura 5.65 Modelo em RPMCO da classe alarme

CLASSE INDICADOR LUMINOSO

Nesta classe consideram-se os estados: indicador luminoso ligado (P_1) e indicador luminoso desligado (P_2). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.66.

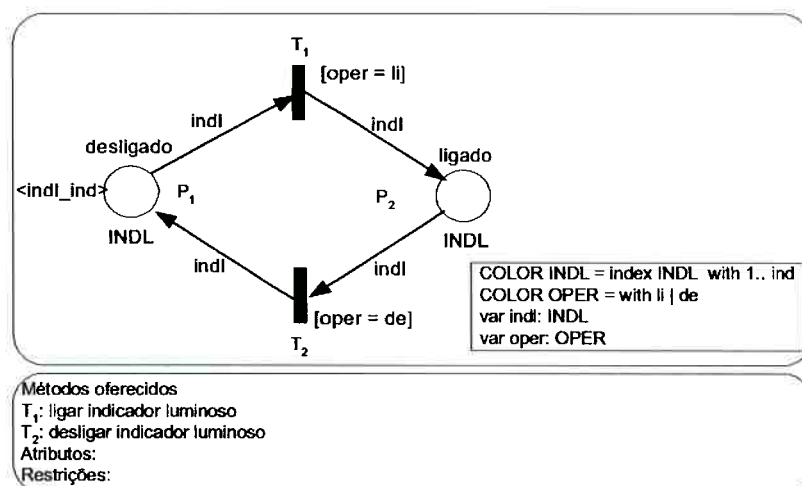


Figura 5.66 Modelo em RPMCO da classe indicador luminoso

CLASSE FECHADURA ELETRÔNICA

O modelo desta classe representa os estados da fechadura eletrônica: travada (P_1) e destravada (P_2). A figura 5.67 representa o modelo desta classe em RPMCO.

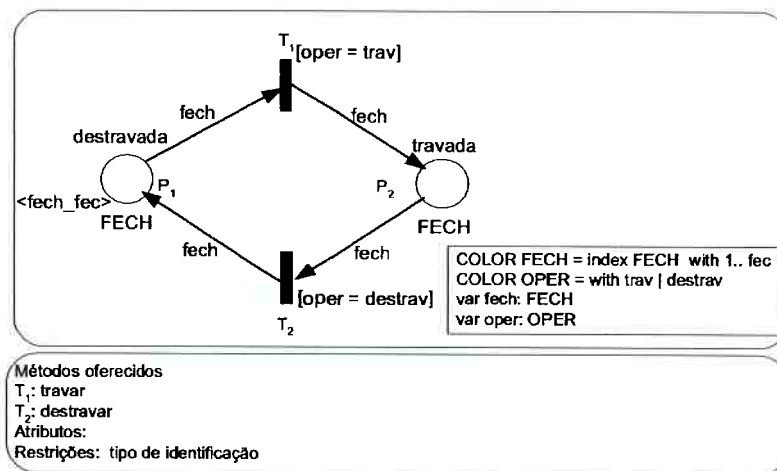


Figura 5.67 Modelo em RPMCO da fechadura eletrônica

CLASSE DETECTOR DE PRESENÇA

A classe detector de presença considera os estados presença detectada (P₂) e presença não detectada (P₁). A figura 5.68 representa o modelo desta classe em RPMCO.

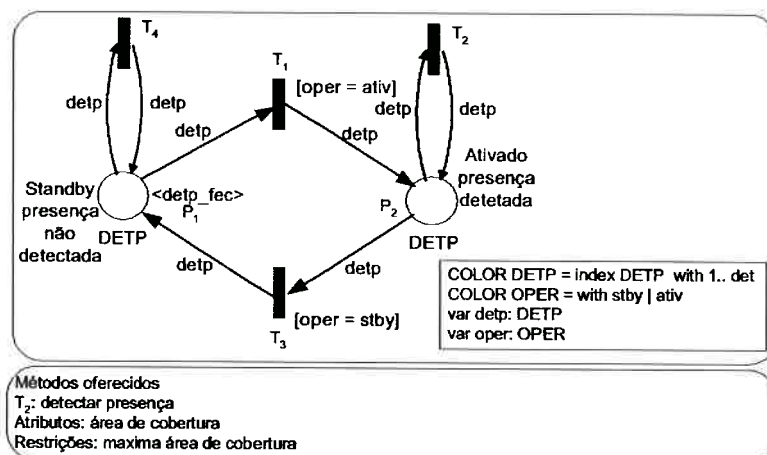


Figura 5.68 Modelo em RPMCO da classe detector de presença

CLASSE SENSOR MAGNÉTICO

O modelo da classe sensor magnético não é apresentado por se tratar de um modelo similar ao modelo da classe detector de presença.

CLASSE CONTROLADOR

O controlador é responsável por determinar que sejam cumpridas todas as funcionalidades do SCA, assim, encarrega-se entre outras coisas de dar permissão de

entrada a um usuário quando este é identificado ou comunica alarme a uma central. O modelo em RPCMO é apresentado na figura 5.69.

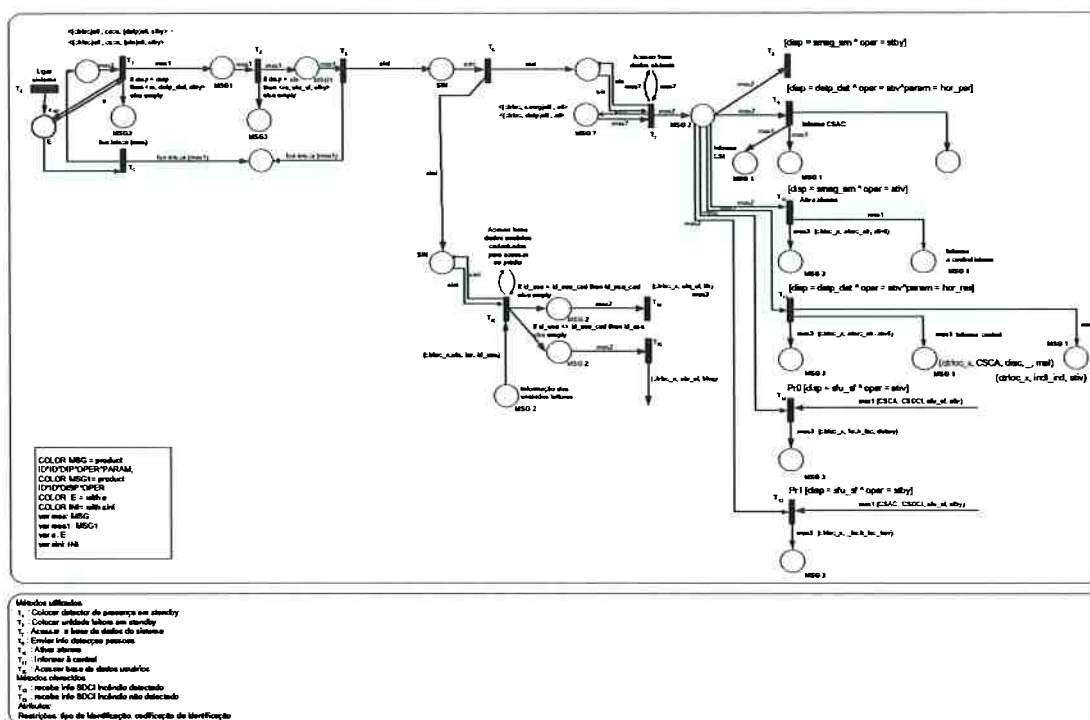


Figura 5.69 Modelo em RPCMO da classe controlador

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA - SGE

O SGE compartilha informações com os seguintes sistemas e para as seguintes finalidades:

- SDCI: para suspender o fornecimento de energia na área de incêndio.
- SI: para retirar ou liberar cargas por iluminação.
- SE: para retirar ou liberar cargas por elevadores.
- SAC para retirar ou liberar cargas por condicionamento de ar.

Nomenclatura usada nas declarações dos modelos em RPCMO do SGE

As mensagens entre sistemas prediais seguem o formato apresentado no capítulo 3 é dizer: (re, em, disp, oper, param):

re: corresponde al receptor da mensagem que no caso do SGE poderá ser:

CSDCI (controlador do Sistema de Detecção e Combate a Incêndio), CSI (Controlador do Sistema de Iluminação), CSE (Controlador do Sistema de Elevadores), CSCA (Controlador do Sistema de Ar Condicionado), CSGE

(Controlador do Sistema de Gerenciamento de Energia) ou um controlador local (Ctrloc_x com x= 1..n)

em: corresponde à identificação do invocador no caso do SGE poderá ser:

CSGE (Controlador do Sistema de Gerenciamento de Energia) ou um controlador local (Ctrloc_x com x= 1..n)

disp: refere-se ao dispositivo do SGE sobre o qual deve ser realizada uma ação.

Os dispositivos considerados no SGE do PAMB são:

gerador (ger_ge com ge= 1..dd), sensor de corrente (secor_sec com sec= 1..ee), medidor de consumo de energia (medc_mec com mec=1..pp), medidor de demanda de energia (medd_med com méd=1..ss), alarma (alare_alre com alre=1..rrr)

oper: ação que deve ser realizada sobre o dispositivo e que para o caso do SGE do PAMB são: ligar (li), desligar (de), suspender energia (susp), seleccionar, (selec), retirar (ret), introduzir (intro), liberar (lib), ler (ler), ativar (ativar), standby (stby).

param: define os dados a operar na ação. No SGE estes parâmetros são: valor consumo permitido (val_con_per), valor consumo não permitido (val_con_nper), valor demanda permitida (val_dem_per), valor demanda não permitida (val_dem_nper), valor consumo (val_con), valor demanda (val_dem), cargas prioritárias (carg_prior), cargas não prioritárias (carg_nprior),

CLASSE GERADOR

Consideram-se nesta classe os estados: gerador ligado fornecendo energia (P_2) e gerador desligado (P_1). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.70.

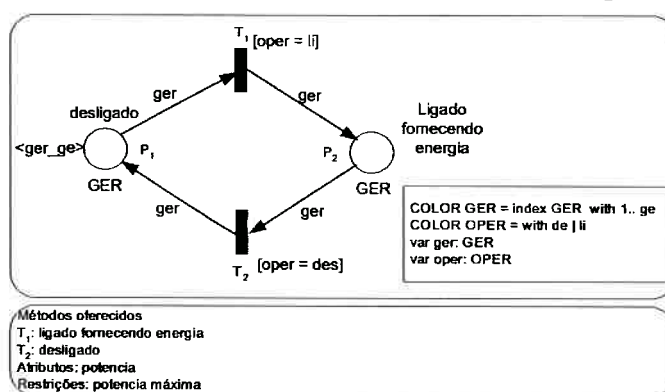


Figura 5.70 Modelo em RPMCO da classe gerador

CLASSE SENSOR DE CORRENTE

O modelo da classe sensor de corrente não é apresentado por se tratar de um modelo similar ao modelo da classe sensor de presença.

CLASSE CONTROLADOR

Esta classe é a encarregada de executar o gerenciamento da energia e realizar as estratégias de controle do SGE. O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.71.

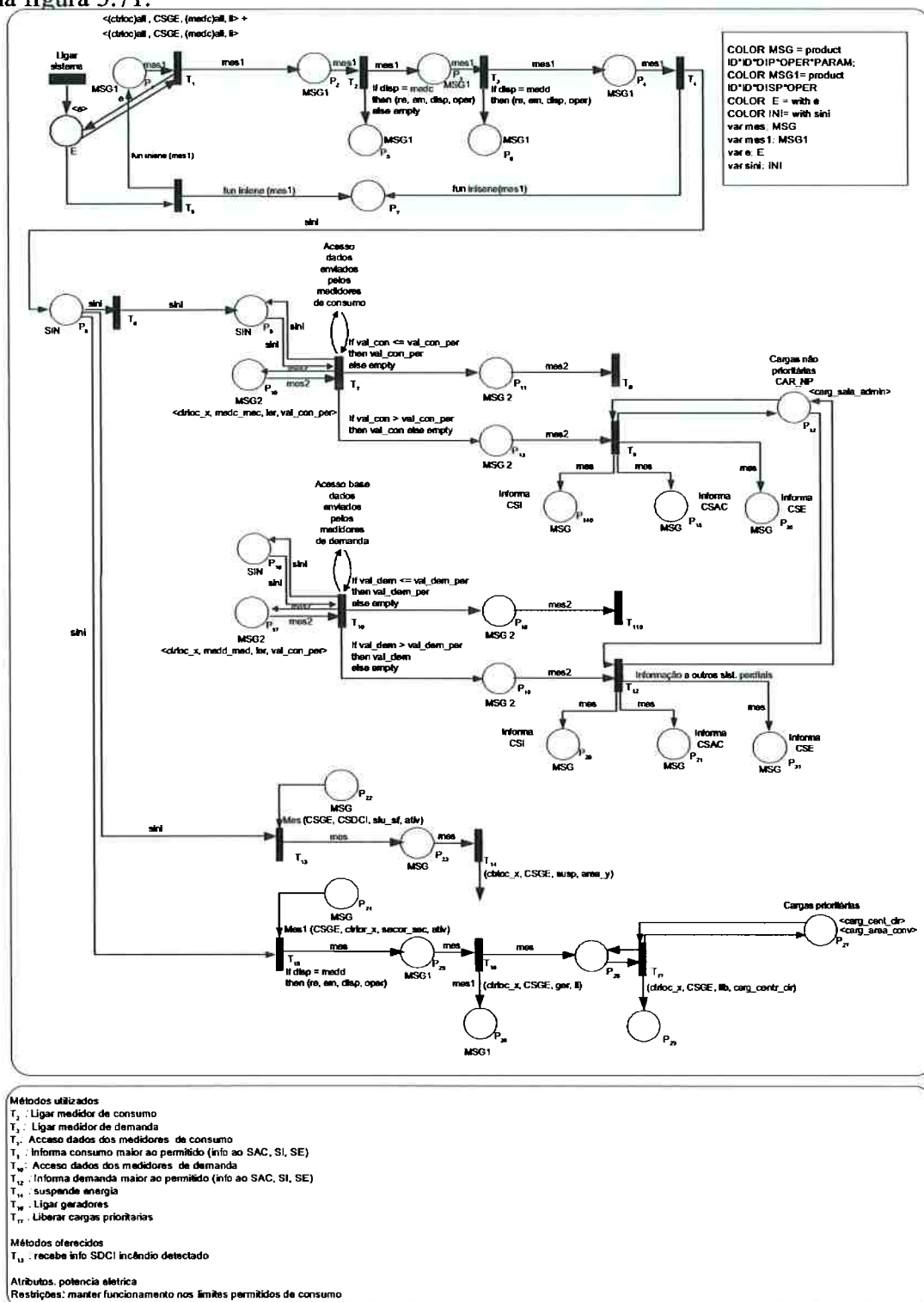


Figura 5.71 Modelo em RPMCO da classe controlador

SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

O SI compartilha informações com os seguintes sistemas e para as seguintes finalidades:

- o SCA: para acionar a iluminação no caso de ser detectada uma pessoa na área.
- o SGE: ao cortar o fornecimento de energia, prioriza-se a iluminação em algumas áreas como a farmácia e o centro cirúrgico.

Nomenclatura usada nas declarações dos modelos em RMPCO do SI

As mensagens entre sistemas prediais seguem o formato apresentado no capítulo 3 é dizer: (re, em, disp, oper, param):

re: corresponde al receptor da mensagem que no caso do SI poderá ser:

CSI (controlador do Sistema de Iluminação) ou um controlador local (Ctrloc_x com x= 1..n)

em: corresponde à identificação do invocador no caso do SI poderá ser:

CSCA (Controlador do Sistema de Controle de acesso), CSGE (Controlador do Sistema de Gerenciamento de Energia), CSI (controlador do Sistema de Iluminação) ou um controlador local (Ctrloc_x com x= 1..n)

disp: refere-se ao dispositivo do SI sobre o qual deve ser realizada uma ação.

Os dispositivos considerados no SAC do PAMB são:

lâmpada (lamp_lam com lam=1..uu), sensor de luminosidade (slum_sl com sl= 1..ww), interruptor (interrp_inter com inter (1..gg)

oper: ação que deve ser realizada sobre o dispositivo e que para o caso do SI do PAMB são: ligar (li), desligar (de).

param: define os dados a operar na ação. No SI estes parâmetros são: horário permitido (hor_per), horário restringido (hor_res).

CLASSE LÂMPADA

Nesta classe consideram-se os estados: lâmpada ligada (P_1) e lâmpada desligada (P_2). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.72.

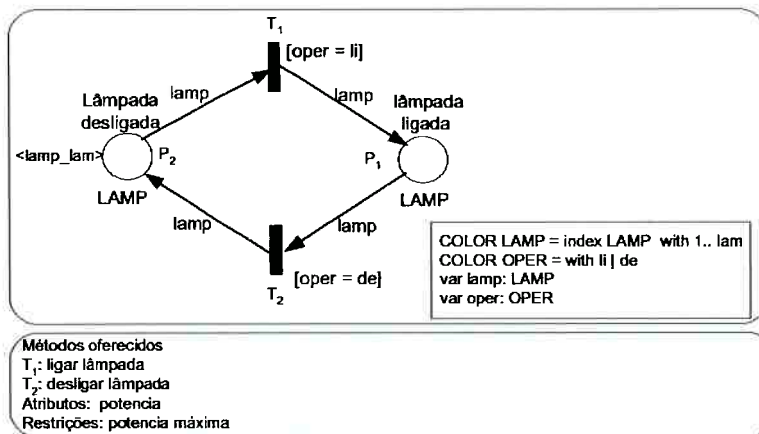


Figura 5.72 Modelo em RPMCO da lâmpada

CLASSE CONTROLADOR

Esta classe é a encarregada de executar o controle da iluminação e realizar as estratégias de controle. O modelo desta classe é apresentado na figura 5.73

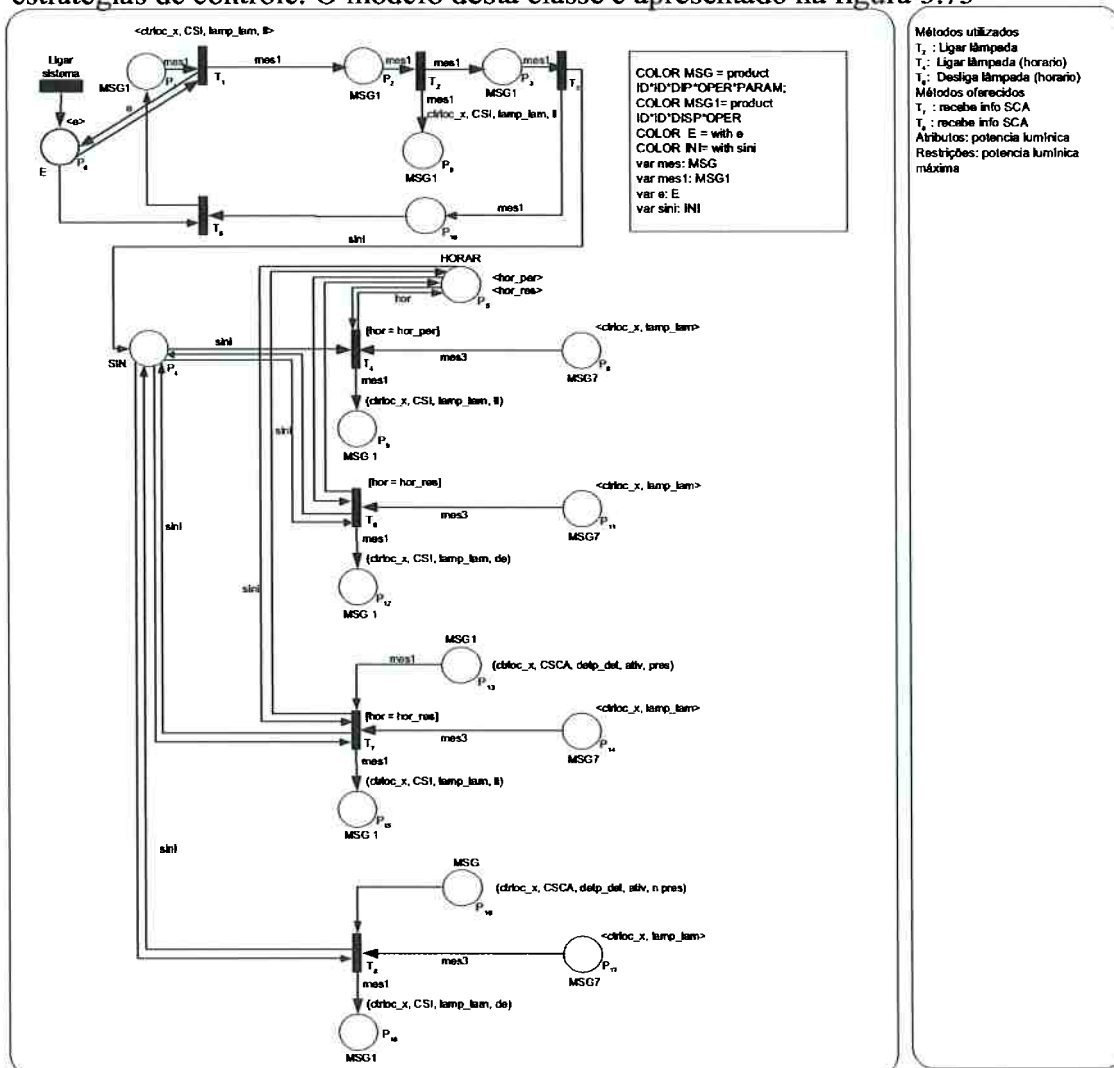


Figura 5.73 Modelo em RPMCO da classe controlador

SISTEMA DE DETECÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO

O SDCI compartilha informações com os seguintes sistemas e para as seguintes finalidades:

- SE: para posicionar os elevadores no térreo para fuga de eventuais ocupantes e depois desligá-los.
- SAC: uso dos ventiladores de retorno para minimizar a fumaça.
- SGE: para proceder à desenergização da zona afetada, de baixa prioridade e zonas próximas que possam vir a aumentar a magnitude do fogo (evitando que a rede elétrica alimente o fogo). Fornecer energia através dos geradores para manter a iluminação de emergência, as alarmes, as bombas, comunicações e o insuflamento de ar das escadas.
- SCA: para destravar o acesso de algumas áreas

Nomenclatura usada nas declarações dos modelos em RMPCO do SI

As mensagens entre sistemas prediais seguem o formato apresentado no capítulo 3 é dizer: (re, em, disp, oper, param):

re: corresponde al receptor da mensagem que no caso do SI poderá ser:

CSDCI (controlador do Sistema de Detecção e Combate a Incêndio) ou um controlador local (Ctrlloc_x com x= 1..n)

em: corresponde à identificação do invocador no caso do SI poderá ser:

CSEC (Controlador do Sistema de Elevadores), SAC (Controlador do Sistema de Ar Condicionado), CSGE (Controlador do Sistema de Gerenciamento de Energia) CSCA (Controlador do Sistema de Controle de acesso), CSDCI (controlador do Sistema de Detecção e Combate a Incêndio) ou um controlador local (Ctrlloc_x com x= 1..n).

disp: refere-se ao dispositivo do SDCI sobre o qual deve ser realizada uma ação. Os dispositivos considerados no SDCI do PAMB são:

sensor de fumaça (sfu_sf com sf= 1..g), sensor de temperatura (sca_sc com sc=1..h), *sprinkler* (spr_sp com sp= 1..f), bomba incêndio (bin_bi com bi= 1..o), ventilador insuflamento de escadas (viés_vie com vie= 1..a), bomba *jockey* (bjo_bj com bj= 1..b), alarma (alari_al com al = 1..c), sinalizador (sin_si com si= 1..q),

dispositivo de liberação de gas (dlg_dl com dl (1..r), discadora (mar), accionadores manuais (accma_accm com accm=1..aa).

oper: ação que deve ser realizada sobre o dispositivo e que para o caso do SDCI do PAMB são: ligar (li), desligar (de), standby (stby), ativar (ativ), desativar (desat), discar (disc).

param: define os dados a operar na ação. No SDCI estes parâmetros são: fumaça detectada (fd), fumaça não detectada (fnd), temperatura alta detectada (cd), temperatura alta não detectada (cnd).

CLASSE SENSOR DE FUMAÇA

Nesta classe consideram-se os estados: ativado fumaça detectada (P_2) e *standby* fumaça não detectada (P_1). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.74

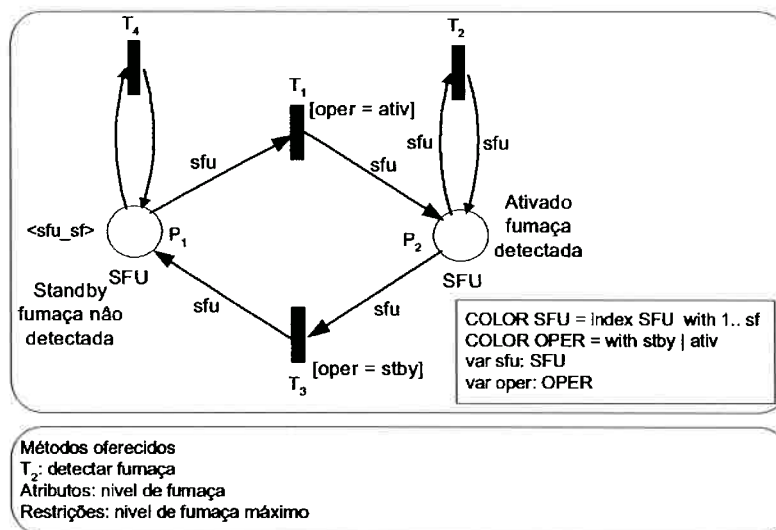


Figura 5.74 Modelo em RPMCO da classe sensor de fumaça

CLASSE SENSOR DE TEMPERATURA

O modelo desta classe é similiar ao apresentado na figura 5.62

CLASSE SPRINKLER

A classe sprinkler considera os estados *sprinkler* ligado (P_1) e *sprinkler* desligado (P_2). A figura 5.75 representa o modelo desta classe em RPMCO.

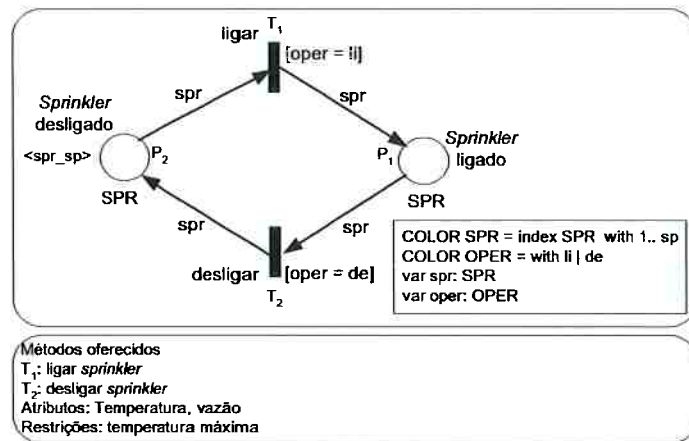


Figura 5.75 Modelo em RPMCO da classe *sprinkler*

As classes bomba de incêndio, bomba *jockey* e alarme não são apresentadas por se tratarem de modelos similares aos das figuras 5.61, 5.65

CLASSE CONTROLADOR

Uma vez que o fogo é detectado pelos sensores do sistema, esta classe é responsável por tomar as ações apropriadas para combatê-lo ligando o alarme, as bombas e os *sprinklers*. O modelo desta classe é apresentado na figura 5.76

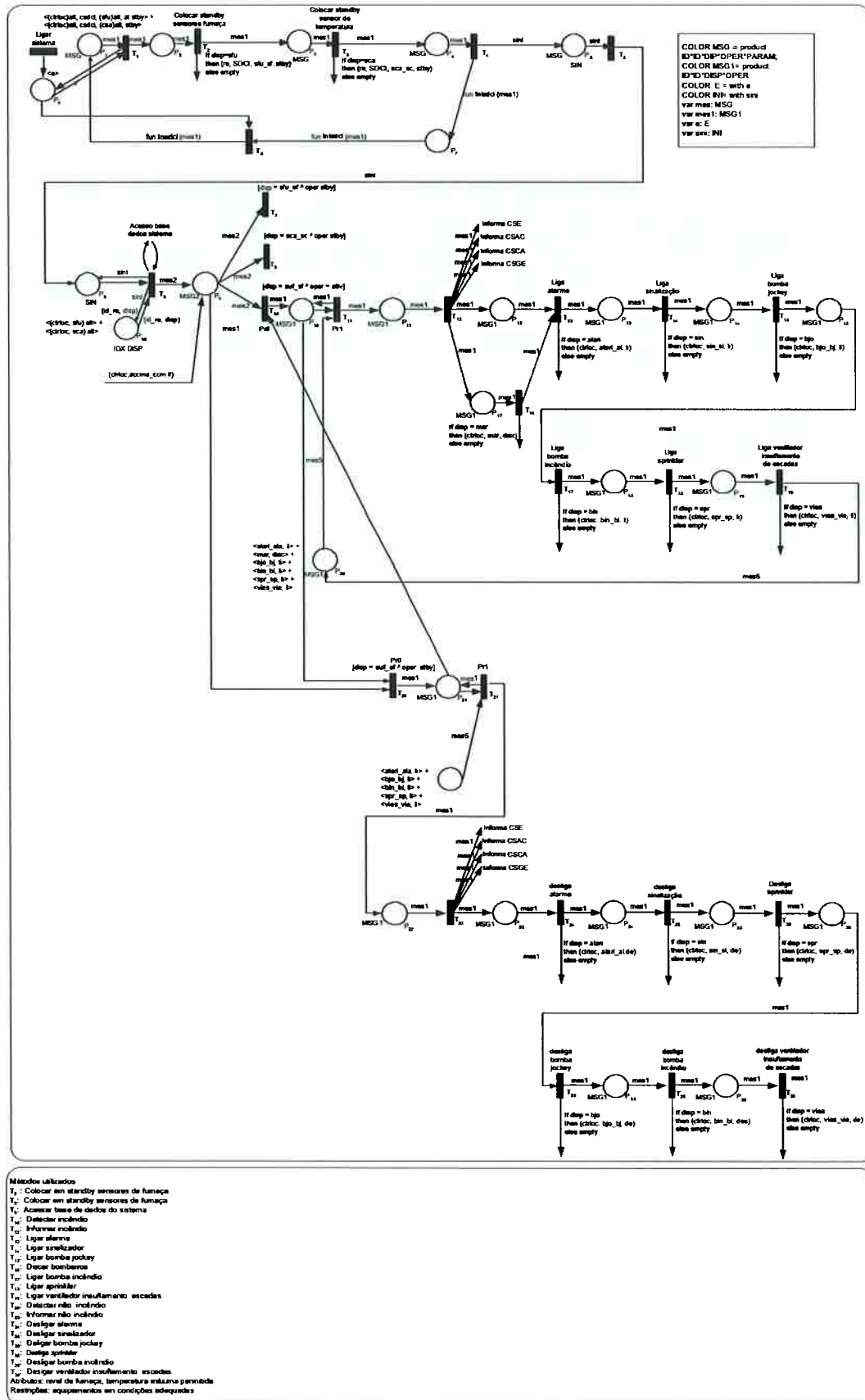


Figura 5.76 Modelo em RPMCO da classe controlador

SISTEMA DE ELEVADORES

O SE compartilha informações com os seguintes sistemas e para as seguintes finalidades:

- SDCI: com a finalidade de posicionar os elevadores no térreo para permitir a evacuação de eventuais ocupantes e depois desligá-los.
- SGE: para proceder a movimentar de alguns elevadores até o térreo e ali desenergização deixando somente disponíveis elevadores predeterminados.

Nomenclatura usada nas declarações dos modelos em RMPCO do SE

As mensagens entre sistemas prediais seguem o formato apresentado no capítulo 3 é dizer: (re, em, disp, oper, param):

re: corresponde al receptor da mensagem que no caso do SE poderá ser:

CSE (Controlador do Sistema de Elevadores) ou um controlador local (Ctrloc_x com x= 1..n)

em: corresponde à identificação do invocador no caso do SAC poderá ser:

CDCI (Controlador do Sistema de Detecção e Combate a Incêndio), CSGE (Controlador do Sistema de Gerenciamento de Energia), CSE (Controlador do Sistema de Elevadores) ou um controlador local (Ctrloc_x com x= 1..n)

disp: refere-se ao dispositivo do SE sobre o qual deve ser realizada uma ação.

Os dispositivos considerados no SE do PAMB são:

detector de posição (detpp_dep com dep= 1..oo), elevador individual (elevind_elevi com elevi= 1..cc), elevador grupo (elevgru_elevg com elevg= 1..tt), controlador elevador individual (ctrlelevi_ind com ind= 1..zz).

oper: ação que deve ser realizada sobre o dispositivo e que para o caso do SE do PAMB são: ligar (li), desligar (de), movimentar para subir (movs), movimentar para descer (movd).

param: define os dados a operar na ação. No SE estes parâmetros são: chamada para o andar (andarcham), posição do elevador (andarpos).

CLASSE SENSOR DE POSIÇÃO

Nesta classe consideram-se os estados: posição detectada (P_1) e desativado (P_2). O modelo desta classe em RPMCO é apresentado na figura 5.77.

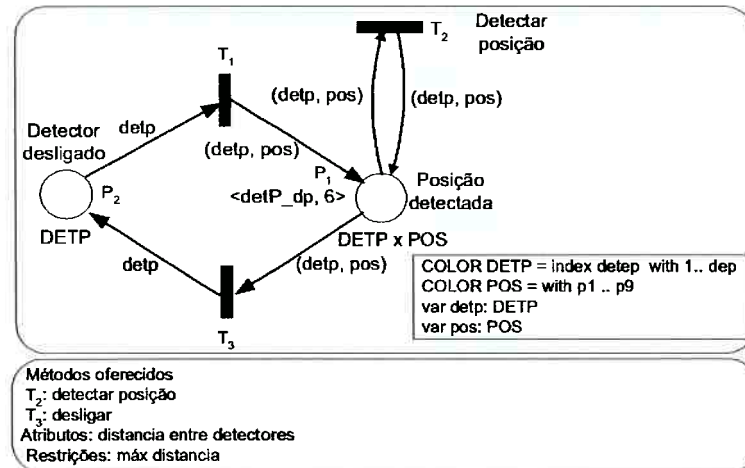
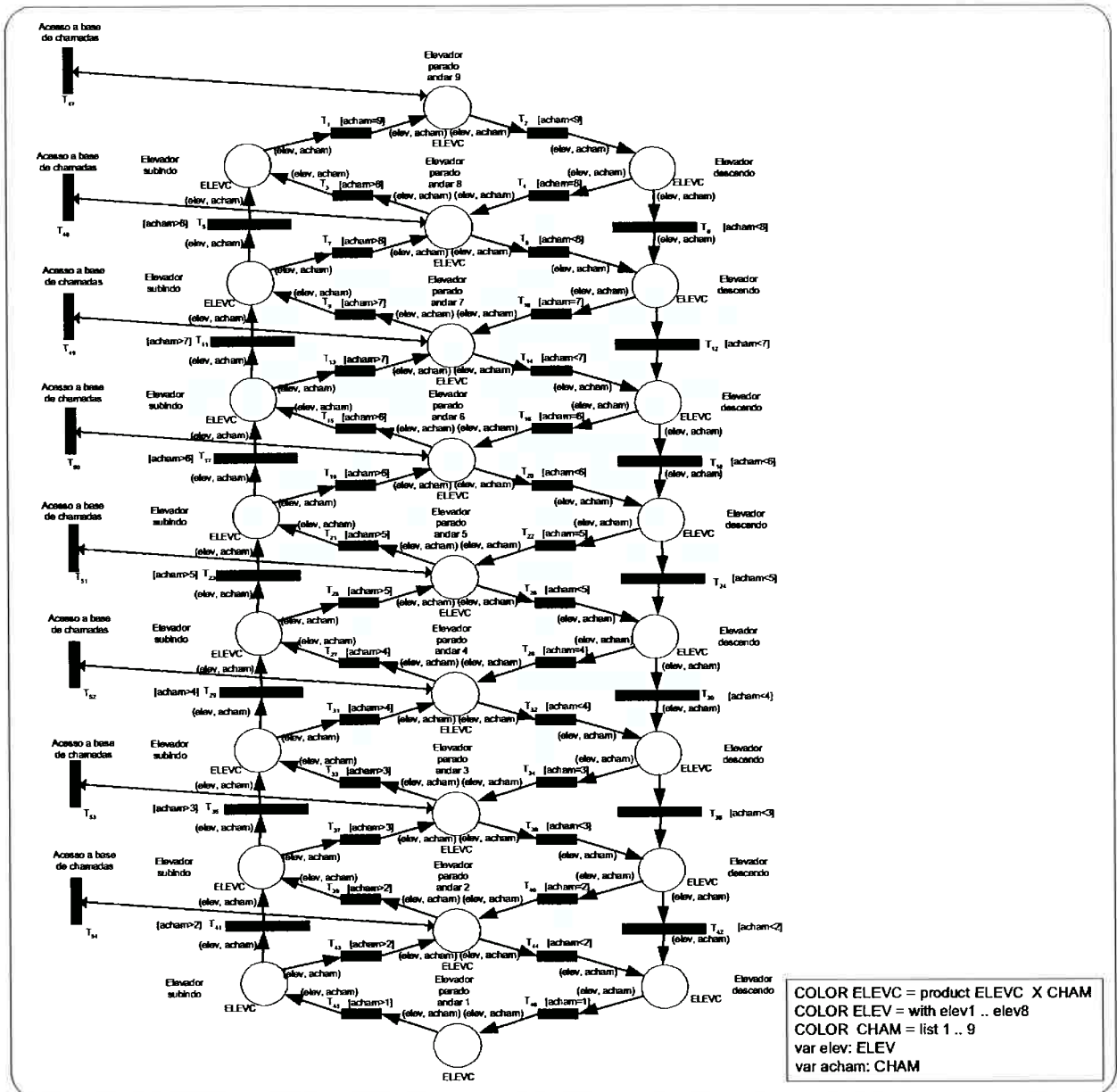


Figura 5.77 Modelo em RPMCO da classe sensor de fumaça

CLASSE CONTROLE DE ELEVADOR INDIVIDUAL

A classe controle de elevador individual considera os estados de elevador parado no andar, descendo e subindo. A figura 5.78 representa o modelo desta classe em RPMCO.



Métodos oferecidos
 T₁ : Parar elevador
 T₃ : Movimentar elevador descida
 T₄ : Movimentar elevador subida
Métodos utilizados
 T₄₇: Acesso a base de chamadas
Atributos: chamada para andar, velocidade máxima
Restrições: movimentação em um sentido até terminar chamadas nesta direcção

Figura 5.78 Modelo em RPMCO da classe controle de elevador individual

CLASSE CONTROLADOR

Esta classe é a encarregada de executar o controle dos elevadores e realizar as estratégias de controle globais. O modelo desta classe é apresentado na figura 5.79

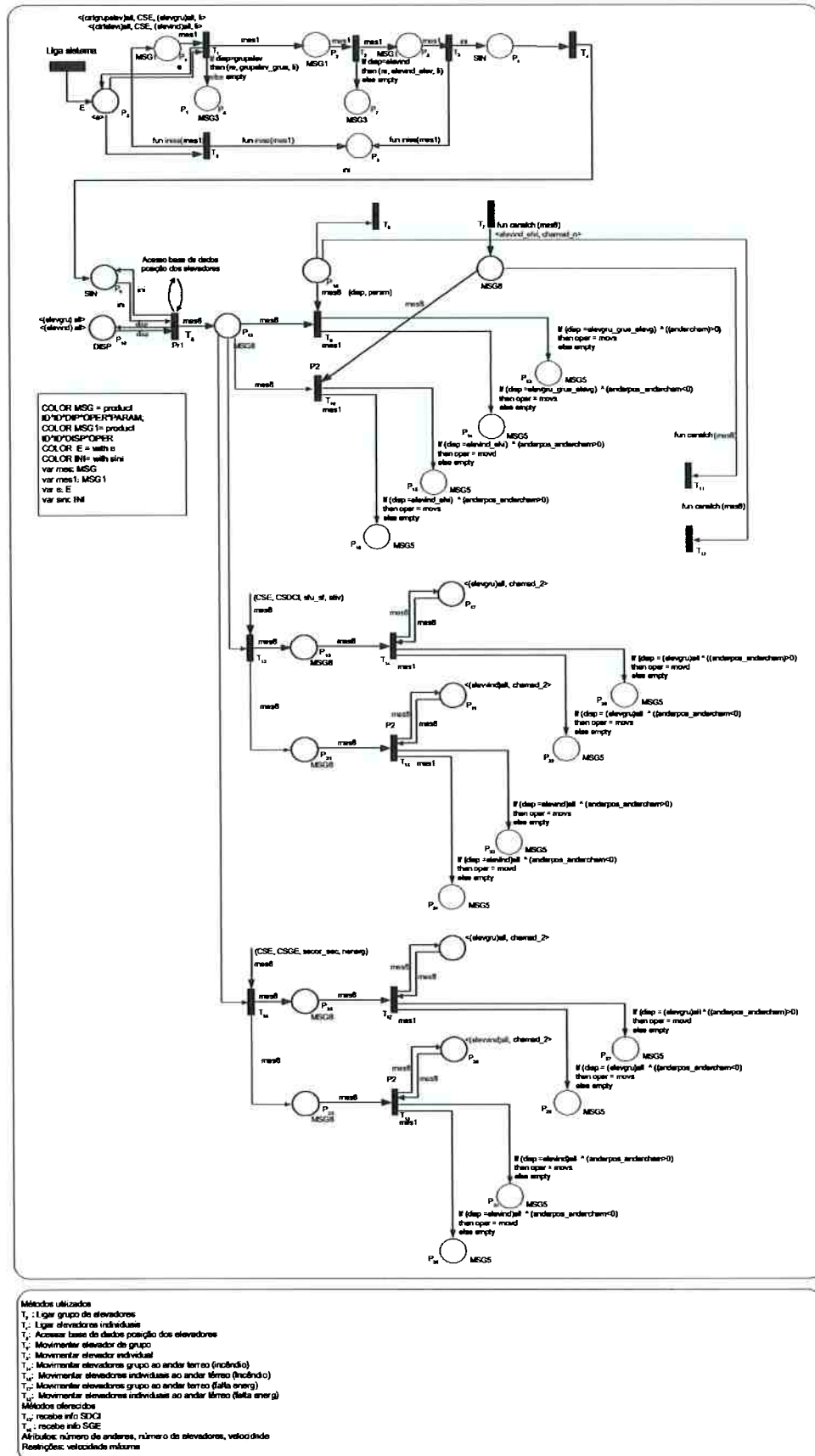


Figura 5.79 Modelo em RPMCO da classe controlador

ETAPA 5: ANÁLISE DOS MODELOS

A continuação é apresentada a análise dos modelos realizados para os subsistemas prediais considerados no PAMB.

A. VALIDAÇÃO

A simulação é um importante meio para depurar e validar os modelos realizados e ajudar no entendimento do comportamento dinâmico do sistema. Assim, para esta atividade foi usado um software para criar, editar, simular e analisar redes de Petri coloridas, o *CPN Tools* desenvolvido no *Department of Computer Science da University of Aarhus* da Dinamarca.

Neste software os modelos são criados usando para as inscrições da rede a linguagem de programação ML (Jensen, 1990). Esta criação é conferida incrementalmente, isto é, cada vez que um elemento é inserido à rede, o software testa se a sua sintaxe é correta e identifica os possíveis erros nas inscrições e na estrutura da rede. O presente trabalho utilizou-se desta característica do programa para avaliar cada um dos módulos criados em RPMCO. Em cada um deles criaram-se *lugares e transições* adicionais para simular a troca de mensagens de um módulo com outros módulos.

As simulações destes módulos revelaram seu papel na identificação de erros e permitiram rever e reconsiderar os modelos propostos. Assim, os erros foram localizados e corrigidos e os módulos foram aprimorados.

Uma das telas geradas pelo software *CPN Tools* simulando um sensor de temperatura é apresentada na figura 5.80.

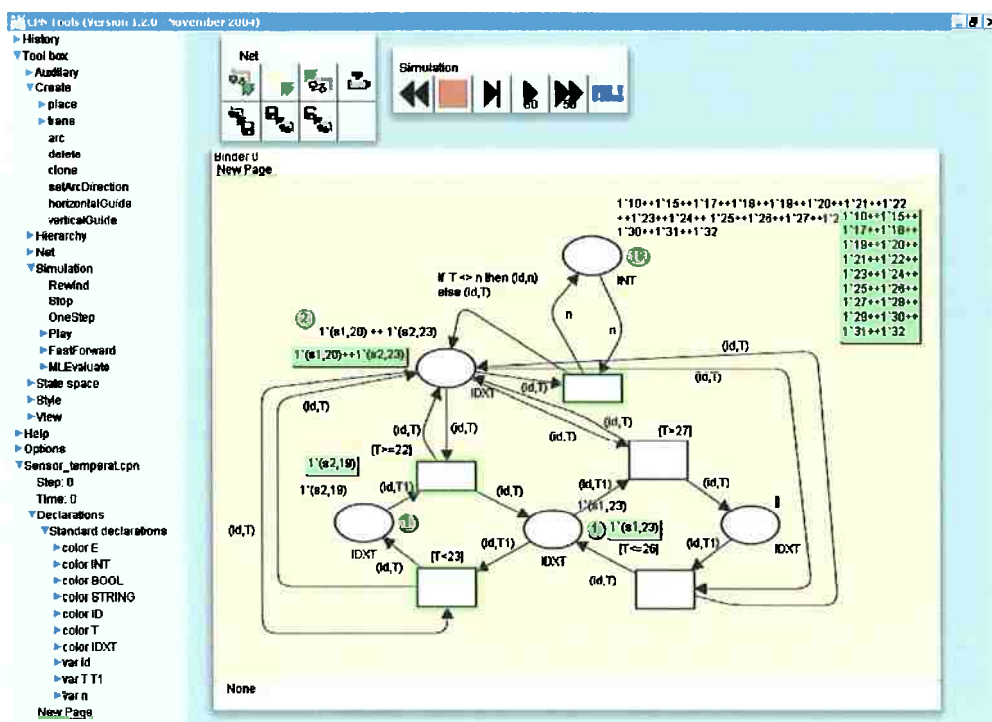


Figura 5.80 Modelo do sensor de temperatura em CPN Tools

Para simular os vários sistemas modelados no PAMB e a sua integração e levando em conta a complexidade que este prédio apresenta e o que representa sua consideração completa na simulação em termos de tempo de execução e processamento, considerou-se que para melhor ilustrar as vantagens e limites da abordagem proposta o mais adequado seria selecionar algumas zonas para sua aplicação. Assim e pelas características (isto é, os diferentes serviços que apresenta) do quarto pavimento (andar 5) do PAMB, as áreas em questão foram nele consideradas.

No quarto pavimento são prestados os seguintes serviços:

- Marcação de consultas;
- Consulta médica a pacientes;
- Arquivo médico (arquivos em papel);
- Farmácia (venda de medicamentos);
- Salas administrativas.

Como exemplo foram consideradas 4 zonas dentro deste pavimento (ver figura 5.81)

Zona 1: composta por 3 salas de consulta médica a pacientes conveniados;

Zona 2: composta por 1 sala de marcação de consulta;

Zona 3: composta por 1 sala de farmácia;

Zona 4: composta por 1 sala de arquivo médico

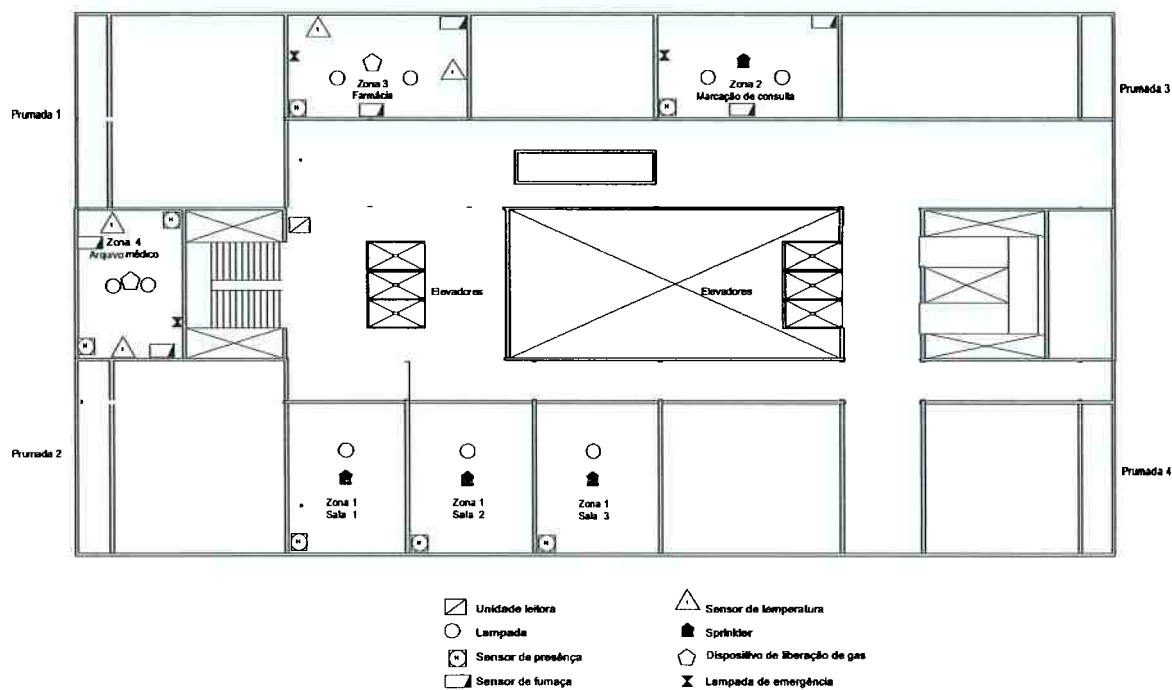


Figura 5.81 Disposição das zonas consideradas dentro do quarto pavimento

Os dispositivos pertencentes aos diversos sistemas prediais consideradas são apresentados na tabela 5.4.

Tabela 5.4 dispositivos pertencentes aos diversos sistemas prediais

ZONAS	DISPOSITIVOS
1 (3 salas de consulta médica de pacientes conveniados)	3 sensores de presença (1 por sala) 3 lâmpadas (1 por sala) 3 sensores de fumaça (1 por sala) 3 <i>sprinklers</i> (1 por sala) 1 ventilador de retorno 1 ventilador de insuflamento 1 serpentina 1 caixa de mistura de 3 posições: sem renovação (0%), renovação parcial (40%), renovação total (100%)
2 (1 sala de marcação de consulta)	2 sensores de presença 2 lâmpadas 1 lâmpada de iluminação de emergência 1 sensores de fumaça 1 <i>sprinkler</i> 1 ventilador de retorno 1 ventilador de insuflamento 1 serpentina 1 caixa de mistura de 3 posições: sem renovação (0%), renovação parcial (40%), renovação total (100%)
3 (1 sala de farmácia)	2 sensores de presença 1 leitora de identificação 2 lâmpadas 1 lâmpada de iluminação de emergência 2 sensores de temperatura 2 sensores de fumaça –iônicos- 1 dispositivo de liberação de gas 1 ventilador de retorno 1 ventilador de insuflamento 1 serpentina 1 caixa de mistura de 3 posições: sem renovação (0%), renovação parcial (40%), renovação total (100%)
4 (1 sala de arquivo médico)	2 sensores de presença 1 leitora de identificação 2 lâmpadas 1 lâmpada de iluminação de emergência 2 sensores de temperatura 2 sensores de fumaça –fotoelétricos- (2 por sala) 1 dispositivo de liberação de gás 1 ventilador de retorno 1 ventilador de insuflamento 1 serpentina 1 caixa de mistura de 3 posições: sem renovação (0%), renovação parcial (40%), renovação total (100%)

Como pode ser apreciado na tabela 5.4 todas as áreas contam com dispositivos dos sistemas de controle de acesso, iluminação, detecção e combate a incêndio e ar condicionado. No entanto e pelas características do controle de acesso e do controle de incêndio que envolvem as áreas 3 e 4 adicionou-se em cada uma destas áreas uma leitora de identificação e substituiu-se os *sprinklers* por dispositivo de liberação de gás para extinção do fogo e evitar danificar ainda mais os medicamentos e arquivos.

Existem dos grupos de elevadores para uso de todas as salas e que realizam o transporte entre os diferentes andares do PAMB.

Para realizar a simulação consideraram-se o número de instâncias de cada classe igual ao número presente de objetos dessa classe em cada zona. A identificação dos objetos foi realizada segundo a nomenclatura dada para cada sistema nos modelos explicitando a zona à qual pertence e uma numeração interna à zona, por exemplo: sfu1s2 (sensor de fumaça da zona 1 e da sala 2).

Uma vez construído o modelo, a simulação mostrou a evolução do sistema sob certas condições. O objetivo foi garantir para estas condições um comportamento desejado. Como o objetivo deste trabalho é a integração dos diversos sistemas prediais e um dos sistemas que maior interação com os outros é o sistema de incêndio, considerou-se a situação de incêndio na zona 4

O primeiro passo para a simulação é definir o estado inicial do sistema, isto é, a *marcação* inicial dos modelos. Assim, definiu-se: que todos os sistemas encontram-se ligados em condições normais assim, são detectadas pessoas em todas as áreas, as lâmpadas encontram-se ligadas, os ventiladores de retorno e de insuflamento encontram-se em velocidades normais, a caixa de mistura se encontra na posição de renovação 40% e as áreas estão sendo resfriadas. Em seguida foi modificado o estado do sensor de temperatura para a zona 4. Isto deveria ativar as estratégias de incêndio em todos os sistemas prediais da zona 4. Para esta área, deveria assim ser ativado o dispositivo de liberação de gás e desligado o resfriamento, colocando-se o ventilador de retorno em velocidade alta e a caixa de mistura posiciona-se em renovação 100%, ligando-se a iluminação de emergência, liberando-se a trava da porta. Nas áreas 1,2,3, desliga-se o resfriamento, os ventiladores de retorno são colocados em velocidade alta e a caixa de mistura posiciona-se em renovação 100%.

Os resultados obtidos a partir da simulação contribuem para a validação da proposta apresentada, uma vez que o sistema apresentou o comportamento esperado diante da ocorrência de eventos predeterminados onde foi observada a efetiva integração entre os diversos sistemas prediais presentes.

B. VERIFICAÇÃO

A verificação dos modelos foi realizada gerando o grafo de ocorrência. Para isto também foi usado o software *CPN Tools* embora a versão usada não conte com a representação gráfica do grafo.

A análise considera cada módulo e suas interações. No módulo considerado analisaram-se as propriedades de:

- Segurança entendida como a garantia que o sistema não chega a atingir estados que corrompam seu comportamento ou que lhe impeça de continuar suas interações com o seu ambiente, ou violações da propriedade de segurança que podem conduzir a estados indesejados para o sistema.
- Confiabilidade dada na rede de Petri a través da propriedade de alcançabilidade que assegura que em determinadas circunstâncias, um estado sempre é atingido garantindo assim as funcionalidades do sistema.

Estas propriedades verificadas podem ser expressas nos módulos que compõem os sistemas sob a forma de restrições locais e de hipóteses sobre seu ambiente.

No caso deste exemplo, considerou-se a verificação do sistema de detecção e combate a incêndio através do módulo: controlador de incêndio quando um incêndio é detectado através dos sensores.

O enunciado da propriedade de alcançabilidade considerada foi: a detecção de incêndio conduz ao acionamento de um alarme. A restrição considera que o alarme deve estar em condições de funcionamento normais. A hipótese considera que a chamada do método de alarme é imediatamente executada. A análise do grafo de ocorrência deste módulo mostra que a restrição é atendida e verifica-se segundo os estados alcançados que quando foi detectado um incêndio, o alarme foi efetivamente ativado.

O enunciado da propriedade de segurança considerado foi: o ventilador de insuflamento nunca pode ser ligado em caso de incêndio. A restrição considera que o ventilador deve estar em condições de funcionamento normais e, não existem hipóteses. A análise do grafo de ocorrência mostra que existe um caminho no grafo de ocorrência no qual só os ventiladores de retorno são ligados.

5.2 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado um exemplo de aplicação da abordagem proposta, para modelar e analisar um sistema distribuído e aberto para automação predial. Para este exemplo consideraram-se alguns dos principais sistemas prediais do prédio dos ambulatórios (PAMB) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP).

A aplicação desta abordagem permitiu inicialmente definir as funcionalidades dos sistemas prediais no PAMB e seus requisitos. Em seguida foram identificados seus relacionamentos e se realizou a modelagem dinâmica de cada uma das classes que compõem cada sistema predial. Finalmente se realizou a análise dos modelos gerados através do software de simulação *CPN Tools*. Esta análise foi realizada de maneira incremental considerando as redes de Petri de cada módulo e suas interações o que permitiu validar e verificar os modelos e sua integração.

6. CONCLUSÃO

No presente trabalho estudou-se a utilização dos conceitos de sistemas distribuídos e abertos para automação predial visando a integração entre os sistemas prediais de um edifício inteligente. Assim, foi utilizado o padrão de processamento distribuído e aberto – ODP, o qual define um *framework* através dos seus pontos de vista para modelar e especificar esta classe de sistemas. Neste sentido, os pontos de vista abordados: empresa, informação e computação, orientaram o tratamento da complexidade que os edifícios inteligentes apresentam e permitiram de forma abrangente descrever as interações de seus subsistemas.

O ODP não define nenhuma linguagem a ser usada ao tratar os seus diferentes pontos de vista; no entanto, por estar baseado na orientação a objetos, esta linguagem deve ser baseada neste paradigma. Assim, nesta pesquisa, a linguagem usada com este padrão foi a UML. Contudo, a orientação a objetos não conta com um método formal totalmente aceito e abrangente para analisar os modelos desenvolvidos deste modo, procurou-se neste trabalho realizar esta tarefa através do uso das redes de Petri.

Através da UML realizou-se a modelagem estruturada de diversos aspectos do sistema que permitem garantir que os requisitos dos sistemas sejam atendidos. Por sua parte, as redes de Petri estabelecem uma ligação entre os modelos e são fundamentais para representar a dinâmica do sistema.

Neste contexto, este trabalho propõe uma abordagem para a modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial. Assim, inicialmente foi proposto um formalismo de modelagem que considera as

características dos sistemas distribuídos e abertos e os sistemas prediais. Aqui foi usada a rede de Petri colorida como formalismo base. A proposta baseou esta rede nos conceitos de orientação a objetos, com a finalidade de lhe outorgar uma estrutura modular que permita a modelagem de sistemas complexos, e nos conceitos do ODP. Este formalismo utiliza principalmente as informações ligadas aos modelos estrutural e dinâmico.

Seguidamente apresentou-se um procedimento para modelar e analisar sistemas distribuídos e abertos para automação predial baseado no formalismo apresentado. Aqui são consideradas as características dos sistemas prediais e utilizam-se os diagramas da UML para definir as funcionalidades dos sistemas e estruturar o processo. As redes de Petri são utilizadas visando representar os relacionamentos entre os sistemas e realizar a modelagem dinâmica das classes e objetos identificados e a sua análise.

Finalmente avaliou-se a abordagem proposta a través de sua aplicação em um prédio hospitalar.

Em geral pode-se ressaltar que:

A abordagem apresentada se beneficia tanto da notação gráfica como do uso do padrão ODP, pois o uso de diferentes pontos de vista permite um melhor controle do processo de modelagem.

Da aplicação da abordagem proposta verificou-se a efetividade de se utilizar o UML em conjunto com as redes de Petri como ferramentas para a modelagem e análise dos pontos de vista da ODP e especificamente conseguiu-se representar e avaliar a integração entre os sistemas prediais de um hospital considerado no estudo de caso.

Em geral, a abordagem proposta procura sistematizar o projeto de um sistema predial integrado de maneira a evitar custos adicionais que podem advir de um sistema que considere apenas os recursos tecnológicos sem um procedimento de modelagem e análise da proposta.

Cabe ressaltar que este trabalho está inserido dentro das pesquisas do Laboratório de Sistemas de Automação (LSA) que estuda e desenvolve técnicas para sistemas concebidos e construídos pelo homem (*man made systems*).

Trabalhos Futuros

Considerando que o desenvolvimento das pesquisas científicas é uma tarefa contínua e que evolui em diferentes direções, sugerem-se a partir da presente investigação os seguintes trabalhos:

- Continuar o estudo da abordagem apresentada para os pontos de vista engenharia e tecnologia visando obter uma metodologia para o projeto e implementação de sistemas distribuídos e abertos para automação predial.
- Desenvolvimento de um aplicativo que auxilie na modelagem e na análise de redes de Petri modulares coloridas baseadas em objetos – RPMCO.
- Um ponto que se considera especialmente importante a ser estudado e aprimorado é a aplicação de outros métodos de análise como, por exemplo, através da aplicação da lógica temporal.
- Aplicação dos procedimentos propostos a outros estudos de caso e a outras aplicações distribuídas;

ANEXO A

Este anexo apresenta os conceitos básicos de rede de Petri

A.1 REDE DE PETRI

O conceito de rede de Petri foi introduzido por Carl Adam Petri em 1962 na sua tese de doutorado, como ferramenta para descrever relações entre condições e eventos no estudo de protocolos de comunicação entre componentes assíncronos. Embora ocorresse uma considerável divulgação acadêmica ao longo das três décadas seguintes, o seu potencial só foi reconhecido na 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 - SED (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 seqüenciamento de sistemas de manufatura. Mais recentemente têm sido aplicada também nos sistemas prediais (Bastidas Gustin, 2000); (Villani, 2000); (Gomes, 1997). Em geral, utilizam-se a rede de Petri e suas extensões para a modelagem e análise da estrutura do sistema e de seu comportamento dinâmico, assim como uma especificação de estratégias de controle de sistemas.

A.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, isto é, a sincronização, assincronismo, concorrência, causalidade e conflito entre processos, compartilhamento de recursos, etc.
- associa elementos de diferentes significados em uma mesma representação, ou segundo o propósito do modelo que pode ser para avaliação de desempenho, implementação do controle, etc.
- oferece um formalismo 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, isto é, entre o 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. Além de servir para verificar comportamentos indesejáveis do sistema como bloqueio de processos, limitação de recursos, etc.
- incorpora conceitos de modelagem do tipo refinamento (*top down*) e do tipo composição modular (*bottom up*) através de técnicas como: modularização, reutilização e refinamento.

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 o qual possibilita a análise formal do mesmo

(Zurawski; Zhou, 1994). Esta característica permite realizar a verificação formal das propriedades comportamentais do sistema.

A.1.2 ELEMENTOS DA REDE DE PETRI E SUA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

A representação gráfica de uma rede de Petri consiste de elementos conectados por segmentos orientados (Peterson, 1981); (Murata, 1989).

Os elementos estruturais das Redes de Petri são (vide figura A.1):

- * **TRANSIÇÕES (T):** correspondem a eventos que causam a mudança de estado do sistema. Podem ser temporizadas e graficamente são representadas por barras.
- * **LUGARES (P):** representam condições (pré e pós-condições) relacionadas com a ocorrência de eventos que podem estar associadas ao modo de operação ou à disponibilidade de um recurso no sistema. Sua representação gráfica é através de círculos.
- * **MARCAS:** cuja função é representar a manutenção de uma determinada condição. Graficamente estas marcas são modeladas por pontos pretos no interior dos lugares. A existência de uma MARCA em um LUGAR equivale ao valor binário “1” e é “0” quando não existe MARCA no LUGAR.
- * **ARCOS ORIENTADOS:** estabelecem relações causais entre os eventos e as condições e vice-versa. São representados por setas que conectam de forma alternada LUGARES e TRANSIÇÕES.
- * **PORTAS:** que habilitam ou inibem a ocorrência dos eventos correspondentes às transições, sendo denominadas habilitadoras ou inibidoras, conforme sua natureza. Para a PORTA habilitadora, quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário “1” esta PORTA habilita a TRANSIÇÃO à qual está conectada. Para a PORTA inibidora, quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário “1”, esta PORTA inibe a TRANSIÇÃO à que está conectada.

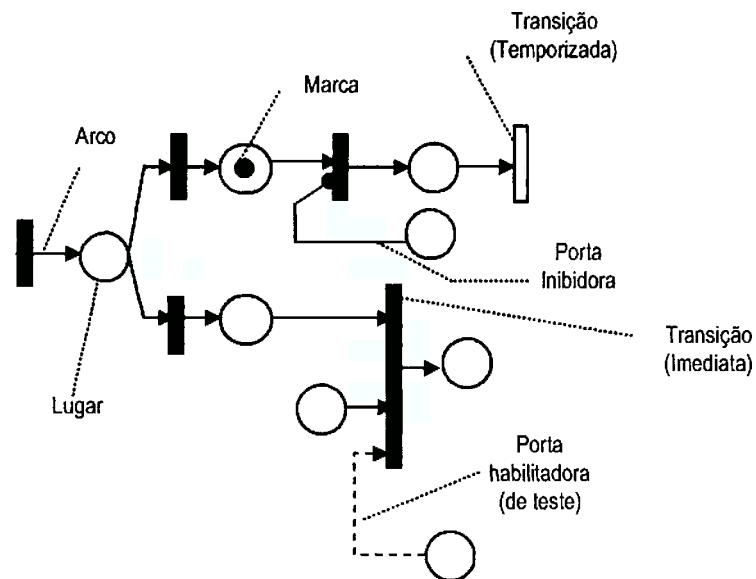


Figura. A.1 Exemplo de um modelo em redes de Petri com a identificação de seus elementos

Uma rede de Petri é um multigrafo já que permite múltiplos arcos de um elemento do grafo até outro. É bipartido, pois os elementos do grafo são particionados em dois conjuntos: LUGARES e TRANSIÇÕES; e os ARCOS conectam elementos de diferentes conjuntos. É direcionado, porque os arcos são orientados. O número de LUGARES e TRANSIÇÕES é finito e não nulo.

A.1.3 ESTRUTURA DE UMA REDE DE PETRI

A estrutura de uma Rede de Petri pode ser definida formalmente como uma quádrupla (P, T, I, O) onde (Cardoso; Valette, 1996):

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ é o conjunto de LUGARES da rede, em que $m \in \mathbb{N}$ é o número total de LUGARES da rede.
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ é o conjunto de TRANSIÇÕES, em que $n \in \mathbb{N}$ é o número de TRANSIÇÕES da rede.
- $I : (P, T)$ é a função que define os ARCOS de entrada em relação às TRANSIÇÕES.

Se $I(p_j, t_i) = k$, $k \in \mathbb{N}$ existem k ARCOS orientados do LUGAR p_j para a TRANSIÇÃO t_i .

Se $I(p_j, t_i) = 0$, 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 indicada de forma compacta por um único ARCO rotulado com seu peso ou multiplicidade k (vide figura A.2)

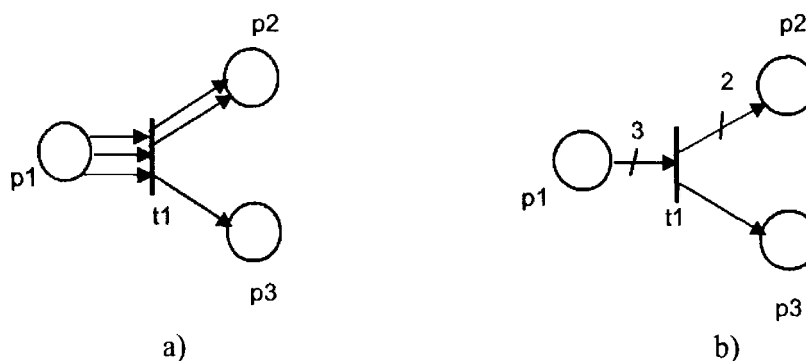


Figura. A.2 a) Arcos múltiplos. b) Representação compacta.

A.1.4 MARCAÇÃO DE UMA REDE DE PETRI E SUA EVOLUÇÃO

Uma rede de Petri com MARCAS em seus LUGARES é chamada de Rede de Petri Marcada $N = (P,T,I,O,M_0)$, em que M_0 é a MARCAÇÃO inicial. Uma distribuição particular das MARCAS nos LUGARES da rede representa um estado do sistema (Cardoso; Valette,1996).

$M = (M(p_1),M(p_2), \dots ,M(p_m))$ é a MARCAÇÃO em que $m \in \mathbb{N}$ é o número total de LUGARES. $M(p_i)$ é o número de MARCAS do LUGAR p_i ($M(p_i) \in \mathbb{N}$).

O disparo de uma TRANSIÇÃO na rede de Petri 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 ($t_i \in T$) está 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 (pré-condição) da TRANSIÇÃO t_i 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 (pós-condição) da TRANSIÇÃO t_i um número de MARCAS igual ao peso do ARCO $O(t_i,p_q)$ que conecta t_i

a p_q . A figura A.3 ilustra um exemplo da alteração da MARCAÇÃO de uma rede após o disparo de uma TRANSIÇÃO.

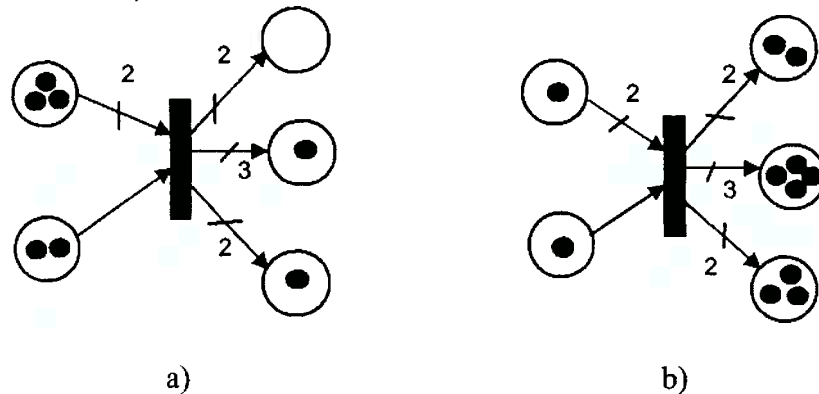


Figura. A.3 a) TRANSIÇÃO habilitada. b) MARCAÇÃO após o disparo.

A evolução da MARCAÇÃO (de acordo com regras de disparo de TRANSIÇÕES) simula o comportamento dinâmico do sistema.

Um exemplo da representação gráfica de uma rede de Petri é dado pela figura A.4, através do modelo simples de um sistema computacional. Na MARCAÇÃO inicial, pode-se observar que uma tarefa encontra-se em espera, e como o processador está disponível, a TRANSIÇÃO “início do processamento da tarefa” está habilitada. O comportamento dinâmico do sistema é observado ao aplicar-se a regra de disparo.

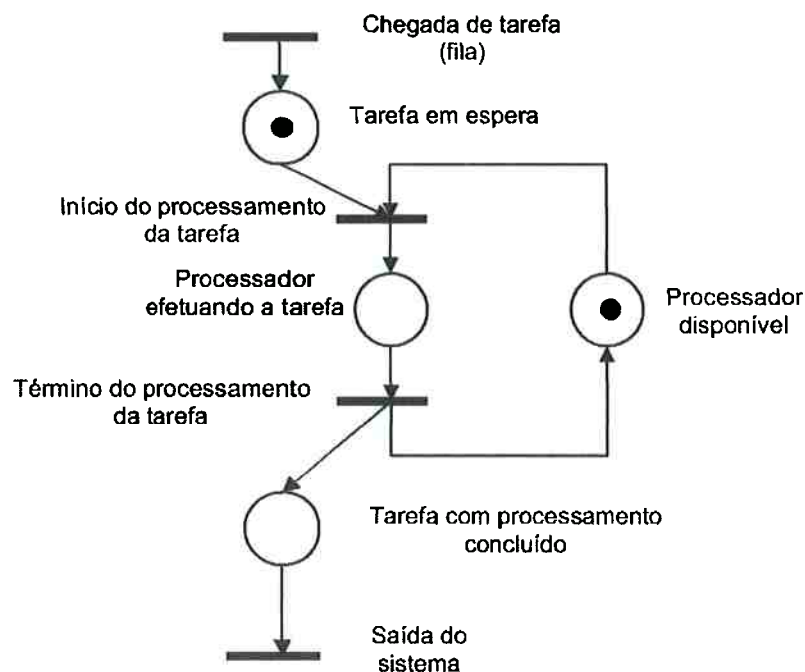


Figura. A.4 Modelo em rede de Petri de um sistema computacional

A.1.5 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES DE PETRI

As abordagens relacionadas com Redes de Petri encontradas na literatura podem ser organizadas em três classes fundamentais (Santos Filho, 1998):

- **Rede de Petri básica ou ordinária:** se constitui em um modelo elementar adequado para visualizar comportamentos que envolvem paralelismo, sincronização de processos e compartilhamento de recursos. Este é o modelo básico de rede que permite extensões segundo a aplicação para a qual se utiliza. São as redes de Petri apresentadas nos itens anteriores.
- **Reduções de Rede 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, Redes de Petri orientadas a objetos.
- **Extensões das Redes de Petri ordinárias:** correspondem a modelos que incorporam regras adicionais de funcionalidade para enriquecer o poder da modelagem. São consideradas três subclasses (David; Alla, 1994): modelos equivalentes a máquinas de Turing, modelos para sistemas contínuos e híbridos e modelos de sistemas que evoluem em função da ocorrência de eventos externos ou do tempo.

A.1.6. PROPRIEDADES DAS REDES DE PETRI

As Redes de Petri possuem propriedades que permitem a análise detalhada da estrutura e do desempenho do sistema modelado. Dois tipos de propriedades podem ser distinguidas nas redes de Petri (Cardoso; Valette, 1996):

A. PROPRIEDADES PROCEDURAIS OU DINÂMICAS

As propriedades procedurais são as que dependem da MARCAÇÃO inicial e estão ligadas à evolução da rede (são chamadas também de “boas” propriedades), isto é, dos estados do sistema. Sua verificação se faz geralmente pela construção do grafo de MARCAÇÕES acessíveis, isto é, estados alcançáveis do sistema.

As principais propriedades procedurais ou dinâmicas das redes de Petri são:

Alcançabilidade: refere-se à possibilidade de um sistema atingir um determinado estado (ou conjunto de estados). Uma MARCAÇÃO M_i é *alcançável* a partir de M_0 (marcação inicial) se existir uma seqüência de disparos de TRANSIÇÕES que leve uma rede com MARCAÇÃO M_0 a uma outra com MARCAÇÃO M_i . O conjunto de alcançabilidade R , é o conjunto de todas as MARCAÇÕES alcançáveis a partir de M_0 através de seqüências válidas de disparo das TRANSIÇÕES

Limitação (*boundedness*): uma rede de Petri é *limitada* se e somente se o número de MARCAS de todos os LUGARES da rede não superam um limite definido B , isto é, $M(p_i) \leq B$ para qualquer marcação *alcançável* ($B \in \mathbb{N}$).

Uma rede marcada N é k -limitada se e somente se todos os seus LUGARES são k -limitados.

Segurança (*safety*): esta propriedade é uma caso especial 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. Uma rede marcada N é ‘segura’ se e somente se todos os seus lugares são ‘seguros’. Esta rede também é denominada de binária.

Reversibilidade (*reversibility*): 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).

Vivacidade (*liveness*): uma Rede de Petri é *viva* se e somente se para toda TRANSIÇÃO (t_i) e para qualquer MARCAÇÃO (M_i), existe uma seqüência de disparos de transições a partir de M_i que habilita t_i . A vivacidade de uma rede de Petri indica a ausência da possibilidade de ‘bloqueios’ (*deadlock*), garantindo que todas os estados sejam acessíveis e assim, que todos os processos modelados possam ser executados. Uma das principais razões para que ocorra um “bloqueio” é o compartilhamento indevido ou sem controle de recursos. Pode-se demonstrar que quatro condições devem ser observadas simultaneamente para que ocorra um ‘bloqueio’, ou em outras palavras, para evitar a ocorrência de um ‘bloqueio’ é suficiente garantir que pelo menos uma destas condições nunca seja satisfeita (Hasegawa, 1996):

- exclusão mútua por compartilhamento de recursos.
- ocupação do recurso enquanto aguarda a liberação de outros recursos para executar um processo que requer todos estes recursos conjuntamente.

- não liberação de um recurso utilizado em um processo por outro processo.
- existência de um caminho circular.

B. PROPRIEDADES ESTRUTURAIS

As propriedades estruturais são aquelas que dependem da topologia das redes (Cardoso; Valette, 1997); (Murata 1989). Elas são independentes da marcação inicial, isto é, das condições iniciais do sistema. Assim, sua análise pode ser baseada na álgebra linear aplicada à estrutura do grafo. Estas propriedades podem ser caracterizadas em termos da matriz de incidência que é a representação matricial da estrutura do sistema.

As propriedades estruturais são definidas através dos componentes conservativos de LUGAR e dos componentes repetitivos estacionários (Cardoso; Valette, 1997). A partir destes elementos estruturais pode-se utilizar também a informação sobre a MARCAÇÃO, definindo-se assim, os invariantes de LUGAR e de TRANSIÇÃO.

Componente conservativo ou invariante de lugar: um invariante de LUGAR é uma função linear da marcação dos LUGARES cujo valor é uma constante e que depende apenas da marcação inicial da rede. Ele corresponde a uma restrição sobre os estados e as atividades do sistema que será sempre verificada, quaisquer que sejam suas evoluções. O conjunto de LUGARES envolvidos em uma invariante de LUGAR é chamado de componente conservativo de LUGAR e é dado pela solução da equação:

$$\mathbf{f}^T * \mathbf{C} = 0,$$

Em que:

\mathbf{f}^T é um vetor de LUGARES,

\mathbf{C} é a matriz de incidência (nxm) definida por $\mathbf{C} = \mathbf{O}(\mathbf{P}, \mathbf{T}) - \mathbf{I}(\mathbf{P}, \mathbf{T})$

$\mathbf{I}(\mathbf{P}, \mathbf{T})$: Função que define os ARCOS de entrada das transições.

$\mathbf{O}(\mathbf{P}, \mathbf{T})$: Função que define os ARCOS de saída das transições.

A matriz de incidência de uma Rede de Petri de n TRANSIÇÕES e m LUGARES corresponde a uma matriz de nxm números inteiros. Cada elemento desta matriz

representa a forma que os LUGARES estão conectados com as 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.

Componente repetitivo ou invariante de transição: um invariante de TRANSIÇÃO é uma seqüência de disparos que não altera a MARCAÇÃO da Rede de Petri. O conjunto de TRANSIÇÕES de um invariante de TRANSIÇÃO é chamado componente repetitivo estacionário da rede e é dado pela solução da equação:

$$C * s = 0,$$

Em que:

C: matriz de incidência.

s: vetor característico, isto é, o vetor onde cada componente $s(t)$ representa o número de ocorrência da TRANSIÇÃO t em uma seqüência de disparo.

As propriedades procedurais e as propriedades estruturais estão interligadas, já que a dinâmica de uma Rede de Petri depende diretamente de sua estrutura.

A.1.7. MÉTODOS DE ANÁLISE DE UMA REDE DE PETRI

Uma vantagem de aplicar as Redes de Petri ao estudo de SED é a sua formalização matemática para a verificação das propriedades de um sistema modelado com esta técnica (Cardoso; Valette, 1996), (Murata, 1989):.

Uma vez que o modelo em rede de Petri é construído, este pode ser usado em duas formas de avaliação:

- **Lógica:** valida a lógica do modelo. Esta é uma visão estática que descreve a estrutura, os dados e as regras que manipulam os dados e executam tarefas. Assim é necessário verificar que a combinação de regras, dados e estrutura funcionem, isto é, que as regras sejam consistentes e completas. Isto pode ser realizado pela execução do modelo para garantir que este descreve apropriadamente a estrutura do sistema. Pode-se dizer que se realiza, neste caso, um “*debugging*” no modelo. Qualquer erro encontrado

deve ser corrigido na apropriada visão estática para preservar rastreabilidade.

- **Comportamental:** aqui examina-se o comportamento dinâmico do modelo, isto é a sua funcionalidade. A avaliação do comportamento compreende a resposta das seguintes perguntas:
 - O modelo produz todas as saídas devidas para um dado estímulo?
 - A informação chega às funções corretas e na seqüência correta? Isto é, as entradas são processadas no modo requerido?
 - O comportamento do modelo pode ser comparado com os requerimentos dos usuários?

Para avaliar o comportamento existem muitas técnicas entre elas estão: a simulação e a análise do espaço de estados

A análise das propriedades de um sistema é realizada através de 4 métodos (Zurawski; Zhou 1994); (Cardoso; Valette, 1997) a seguir explicados:

A. GERAÇÃO DA ÁRVORE OU GRAFO DE ALCANÇABILIDADE

Este método envolve a enumeração de todas as MARCAÇÕES (estados de um sistema) possíveis ou alcançáveis a partir da MARCAÇÃO inicial M_0 , a qual é a raiz da árvore (estado inicial). Cada nó representa uma MARCAÇÃO alcançável e cada ligação representa o disparo de uma TRANSIÇÃO (ocorrência de um evento) (Murata, 1989).

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.

B. ANÁLISE DA EQUAÇÃO DE ESTADO

Neste método, o comportamento do sistema em estudo é analisado através das equações algébricas da rede de Petri (Zurawski; Zhou, 1994).

Nesta abordagem, a matriz de incidência, que indica as conexões entre LUGARES e TRANSIÇÕES é utilizada para representar a estrutura do sistema. A equação de estado representa uma alteração na distribuição das MARCAS (estados) como

resultado do disparo de uma TRANSIÇÃO (ocorrência de um evento). A equação é definida da seguinte forma:

$$\mathbf{m}_k = \mathbf{m}_{k-1} + \mathbf{C}^T \mathbf{u}_k$$

Onde:

\mathbf{m}_k é um vetor coluna ($m \times 1$) que representa a marcação imediatamente alcançável a partir de \mathbf{m}_{k-1} após o disparo da TRANSIÇÃO t_i .

\mathbf{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.

C. 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 validação. A maior parte das análises por simulação são realizadas para estudos de desempenho. Aqui o comportamento do modelo pode ser examinado executando este com entradas consistentes (Cardoso; Valette,1996).

No entanto, a simulação só pode assegurar resultados para os casos simulados. Assim, para garantir uma generalização é necessário considerar uma estratégia de simulação/teste que evite a necessidade de simular todos os estados pois, isto resultaria em problemas relacionados com a capacidade de computação e com a alcançabilidade de estados que seria impraticável em modelos complexos.

D. TÉCNICAS DE REDUÇÃO

Este método consiste na redução de um modelo complexo em um modelo mais simples e tratável porém, sem perder as propriedades principais. A técnica de transformar modelos abstratos em modelos mais refinados (refinamentos sucessivos) de maneira hierárquica é um procedimento também utilizado para a síntese das redes (Cardoso; Valette,1996).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMSON, A. B. The intelligent Building Evolution. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS, 1995, Tel-Aviv. **Proceedings...** Tel-Aviv, Israel, 1995. p.309-318.
- AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS AIA . Guidelines for Design and Construction of hospital and Health Care, AIA Publisher 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. ABCI. As Edificações do Terceiro Milênio. **Construção**. n.2355, p.25-26, Março 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR7192 – Projeto, Fabricação e Instalação de Elevadores – Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro, jun/82.
- AKEHURST, D.H.; DERRICK, J.; WATERS, A.G. **Addressing computational viewpoint design**. In: Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2003. **Proceedings...** Seventh IEEE International 16-19 Sept. 2003 Page(s):147 – 158.
- ARAÚJO, J. Análise de protocolos de Automação Predial e Residencial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, Gramado, 2004. **CBA 2004**. Gramado 2004. 1 CD-ROM.
- ARKIN, H.; PACIUK, M. Service system integration in intelligent buildings. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS, 1995, Tel-Aviv. **Proceedings...** Tel-Aviv, Israel, 1995. p.19-30.
- ASATO, O.; KATO, E.; INAMASU, R.; PORTO, A. Analysis of Open CNC Architecture for Machine Tools. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, Rio de Janeiro v.24, n.3, 2002.
- AZEGAMI M.; FUJIYOSHI, H. A Systematic Approach to Intelligent Bulding Design. **IEEE Communications Magazine**, v.31, n.10, Oct. 1993.
- BARESI, L.; PEZZÈ, M. On Formalizing UML with High-Level Petri Nets. In: AGHA, G.A.; DE CINDIO, F.; ROZENBERG, G. (eds.). **Concurrent Object-Oriented Programming and Petri Nets - Lecture Notes in Computer Science**. Springer-Verlag, 2001. p.276-304.
- BASTIDAS GUSTIN, G. D. **Aplicação de Redes de Petri Interpretadas na Modelagem de Sistemas de Elevadores em Edifícios Inteligentes**. 2000. 164p.

- Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- BARR, W.; BOYD, T.; INOUE, Y. The TINA initiative. **IEEE Communications Magazine**, v.31, n.3, p.70- 76, March 1993.
- BASTIDE, R. Approaches in unifying Petri Nets and the Object-Oriented Approach. In: 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS AND THEORY OF PETRI NETS, 1ST. WORKSHOP ON OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING AND MODELS OF CONCURRENCY, 1995, Turin. **Proceedings...** Turin, Italy, 1995.
- BASTIDE, R.; PALANQUE, P.; SY, O.; LE, D.; NAVARRE, D. Petri Net Based Behavioural Specification of CORBA Systems. **Lecture Notes in Computer Science: Application and Theory of Petri Nets 1999**, n.1639, p.66-85, 1999. / Apresentado a 20th. International Conference on Applications and Theory of Petri Nets, ICATPN'99, Williamsburg, USA, 1999.
- BECERRA, J. **Aplicabilidade do Padrão de Processamento Distribuído e Aberto nos Projetos de Sistemas Abertos de Automação**. 1998. 162p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.
- BECERRA, J. **Especificação, Projeto e Implementação de um Controlador de Célula flexível Aplicado na Manufatura**. 1993. 166p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.
- BECKER, R. What is an Intelligent Building?. In: INTELLIGENT BUILDINGS CONGRESS, 1995, Tel-Aviv. **Proceedings...** Tel-Aviv, 1995. p.320.
- BETTONI, R. **Projeto de um Sistema de Supervisão e Controle Predial**. 1985. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1985.
- BLANC, X.; GERVAIS, M.-P.; LE DELLIUO, J. **The specifications exchange service of an RM-ODP framework**. In: Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2000. EDOC 2000. **Proceedings...** Fourth International 25-28 Sept. 2000 Page(s):86 – 90.
- BLANC, X.; GERVAIS, M-P.; LE DELLIUO R. Using the UML language to Express the ODP Enterprise Concepts. In: 3rd INTERNATIONAL ENTERPRISE DISTRIBUTING OBJECT COMPUTING CONFERENCE, 1999, Mannheim. **Proceedings...** IEEE Press (Ed). Mannheim, Germany, 1999. p.50-59. **EDOC'99**.
- BOITEN, E.; Bowman, H.; Derrick, J.; Linington, P.F.; Steen, M.W.A. Viewpoint consistency in ODP. **Computer Networks**. v.34, n.3, p.503-537, August 2000.
- BOLZANI, C. **Residências Inteligentes**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004,
- BOOCH, G.; RUMBAUGH J.; JACOBSON, I. **The Unified Modeling Language User Guide**. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1999.
- BROCK, L.D. **Transition to an open system architecture [for weapon systems]**. In: Digital Avionics Systems Conferences, 2000. **Proceedings...** DASC. The 19th Volume 1, 7-13 Oct. 2000 Page(s):4D5/1 - 4D5/8 vol.1.
- BUCHS, D.; GUELF, N. **A formal specification framework for object-oriented distributed systems**. In: Software Engineering, IEEE Transactions on Volume 26, Issue 7, July 2000 Page(s):635 – 652.
- CALLAGHAN, V.; CLARKE, G.; SHARPLES, S. *A Multi-Agent for Intelligent Building Sensing and Control*. *Internacional Sensor Review Journal*. Maio, 1999.

- CANTÚ, M. **Dominando o Delphi – “A bíblia”**. São Paulo. Makron Books do Brasil, 1995.
- CARDOSO, J.; VALETTE, R. **Redes de Petri**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997.
- CHANG, W.; TSENG, C.; CHOU, W. Petri net based analysis on object assignment in distributes object-oriented systems. **Journal of systems architecture**. v.44, n.12, p. 995-970, 1998.
- CHEN, J.; TAYLOR, V.E. **Mesh partitioning for efficient use of distributed systems**. In: Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on Volume 13, Issue 1, Jan. 2002 Page(s):67 – 79.
- CIC, CEBus Industry Council Inc. **Home Plug & Play Specification**. 1998. 369p. Disponível em: < <http://www.cebus.org/News&Events.html>>. Acesso em: dez. 2002.
- CLARK G.; MEHTA, P. PROWSE, R. Intelligent Integrated Building Management Systems. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS, 1995, Tel-Aviv. **Proceedings...** Tel-Aviv, Israel, 1995. p.9-18.
- CLARKE, M.; WING, J. **Formal Methods: State of the Art and Future Directions**, *ACM Computing Surveys*, vol. 28, n. 4, p. 626-643, December 1996.
- COSTA, C.A.; HARDING, J.A.; YOUNG, R.I.M. The application of UML and an Open Distributed Process framework to information system design. In: **Computers in Industry**. v.46, n.1, p.33-48, August 2001.
- DAVID, R.; ALLA, H. Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems: A Survey. **Automatica**, v.30, n.2, p.175-201, 1994.
- DIAGNE, A.; ESTRAILLIER P. **A Component-based Framework for the Specification, Verification and Validation of Open Distributed Systems**. Rapport de Recherche, 18 p. Dic 1997.
- DIAGNE, A. **Une approche Multi-formalismes de Specification de Systèmes Répartis: Transformation de Composants Modulaires en Réseaux de Petri**. 1996. Tèse (Docteur) - Université Paris 6. Paris, 1996.
- DOUGLASS, P.D. **Real Time UML: developing efficient objects for embedded systems**. Harlow England: Addison- Wesley Longman, Inc., 1998.
- DURAN, F.; HERRADOR, J.; VALLECILLO, A. **Using UML and Maude for writing and reasoning about ODP policies**. In: Policies for Distributed Systems and Networks, 2003. Proceedings... POLICY 2003. IEEE 4th International Workshop on 4-6 June 2003 Page(s):15 - 25.
- ECKERT, K.P. From OSI to OMG: Experiences from the Port of an ISODE-Based Application to OMG Concepts. In: COMPUTER COMMUNICATIONS (JOURNAL) ON THE 1ST ST. PETERSBURG WORKSHOP, Thompson, J. (ed.), Elsevier Science Publishers B.V., North-Holland, Amsterdam (NL), 1996. p.4-12.
- ELEVATOR WORLD. **Educational Package and Reference Library**, v. 1, Mobile, Editor Elevator World Educational Division, 1990.
- FAROOQUI, K.; LOGRIPPO, L.; MEER, J. The ISO Reference Model for Open Distributed Processing: an introduction. **Computer Networks and ISDN Systems**. v.27, n.11, p. 1215-1229. July 1995.
- FAROOQUI, K.; LOGRIPPO, L. **On the Notions of Abstraction, Consistency, and Design in the ODP Framework of Viewpoints**. Ottawa, University of Ottawa.

- Disponível em: <<http://lotos.site.uottawa.ca/ftp/pub/Lotos/TechRep/>>. Acesso em: maio 2002.
- FLAX, B. Intelligent Buildings. **IEEE Communications Magazine**. v.29, n.4, p.24-27. April 1991.
- FINLEY, M.R.; KARAKURA, A.; NBOGNI, R. Survey of Intelligent Buildings Concepts. **IEEE Communications Magazine**. v.29, n.4, p.18-23. April 1991.
- FU, L.C.; SHIH, T.J. Holonic supervisory control and data acquisition kernel for 21st century intelligent building system, In: Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, CA, IEEE Computer Society Press, Washington DC, 2000, pp. 2641– 2646.
- FUJIE, S.; MIKAMI, Y. Construction Aspects of Intelligent Buildings. **IEEE Communications Magazine**. v.29, n.4, p.50-57. April 1991.
- GARRAHAN, J.; RUSSO, P.; KITAMI, K.; KUNG, R. **Intelligent Network Overview**. IEEE Communications Magazine, pp. 30-37., March 1993.
- GASPOZ, J. P. Methodology for the Development of Distributed Telecommunications Services. **Journal of Systems and Software**, Elsevier Science. v.33, n.3, p.253-271. June 1996.
- GIESE, H.; GRAF, J.; WIRTZ, G. Closing the gap between object-oriented modeling of structure and behaviour. In: 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE UNIFIED MODELING LANGUAGE, 1999, Colorado. **Proceedings...** Colorado, USA, 1999.
- GIESE, H.; WIRTZ, G. Using UML and Object-Coordination-Nets for Workflow Specification., In: 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE UNIFIED MODELING LANGUAGE, 1999, Colorado. **Proceedings...** Colorado, USA, 1999.
- GIESE, H.; WIRTZ, G. Visual Modeling of Object-Oriented Distributed Systems. **Journal of Visual Languages and Computing**. v.12, n.2, p.183-202. April 2001.
- GOMEZ, L F. **Redes de Petri Reativas e Hierárquicas - integração de formalismos no projecto de sistemas reativos de tempo-real**. 1997. 240p. Tese (Doutorado) - Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 1997.
- HAN, C.Y. An OOP Based Intelligent Building Information System in New Methods and Technologies in Planning and Construction of Intelligent Building. In: 2nd. IB/IC INTELLIGENT BUILDING CONGRESS, 1997, Tel-Aviv. **Proceedings...** Tel-Aviv, Israel, 1997.
- HASEGAWA, K. Modeling, Control and Deadlock Avoidance of FMS. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA: Conferências Plenárias, 1996, São Paulo. p.37-51. **XI CBA**.
- HOLLOWAY, E.L.; KROGH, B.H.; GIUA, A. A Survey of Petri Net Methods for Controlled Discrete Event Systems. **Journal of Discrete Event Dynamic Systems**. v. 7, n.2, 1997.
- HOLVET, T.; VERBAETEN, P. Using Petri nets for specifying Active Objects and Generative Communication. **Lecture Notes in Computer Science: Concurrent Object-Oriented Programming and Petri Nets**. Advances in Petri nets 2001, n.1639, p.66-85, 2001. Gul A Agha, De Cindio, Rozenberg, editores.
- ISO/IEC 10746-1: Information Technology – Open Distributed Processing – Reference Model: Overview, 1998.

- ISO/IEC 10746-2: Information Technology – Open Distributed Processing – Reference Model: Foundations. 1998.
- ISO/IEC 10746-3: Information Technology – Open Distributed Processing – Reference Model: Architecture. 1998.
- ISO/IEC 10746-4: Information Technology – Open Distributed Processing – Reference Model: Architectural Semantics, 1998.
- JENSEN, K. Coloured Petri nets: a high level language for system design and analysis. **Lecture Notes in Computer Science: Advances in Petri Nets 1990**. Berlin: G. Rozenberg, Ed.; Springer-Verlang. v.483, p.342-416, 1990.
- KANDÉ, M.M.; MAZAHER, S.; PRNJAT, O.; SACKS, L.; WITTING, M. Applying UML to Design an Inter-Domain Service Management Application. In: UML'98: BEYOND THE NOTATION - INTERNATIONAL WORKSHOP, 1998, Mulhouse. **Proceedings...** Mulhouse, France, 1998.
- KAM Hay Fung; LOW, G.; BAY, P.K. **Embracing dynamic evolution in distributed systems Software**, IEEE Volume 21, Issue 2, March-April 2004 Page(s):49 – 55.
- KATCHABAW, M.J.; HOWARD S.L.; LUTFIYYA H.L.; MARSHALL A.D.; BAUER M.A. Making distributed applications manageable through instrumentation. **The Journal of Systems and Softwares**. v.45, n.2, p.81-97, 1999.
- KOKAI, Y.; MASUDA, F.; HORIIKE, S.; SEKINE, Y. Recent development in open systems for EMS/SCADA. **Internacional Journal of Electrical Power & Energy Systems**. v.20, n.2, p.111-123, February 1998.
- KRONER, W.M. An intelligent and responsive architecture. **Automation in Construction**. v.6, n.5-6 p. 381-393, September 1997.
- LAKOS C. The Object Orientation of Object Petri Nets. In: 1st WORKSHOP ON OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING AND MODELS OF CONCURRENCY, 1995, Turin. **Proceedings...** Turin, Italy, 1995.
- LAKOS C. From Coloured Petri Nets to Object Petri Nets. In: 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE APPLICATION AND THEORY OF PETRI NETS, 1995, Turin. **Proceedings...** Turin, Italy, 1995.
- LAKOS C. The consistent use of names and polymorphism in the definition of Object Petri Nets. In: 17th INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE APPLICATION AND THEORY OF PETRI NETS, 1996, Osaka. **Proceedings...** Osaka, Japan, 1996. p.380-399.
- LAM-SON Le; WEGMANN, A. **Definition of an Object-Oriented Modeling Language for Enterprise Architecture** System Sciences, 2005. In: HICSS '05. Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on 03-06 Jan. 2005 Page(s):222a - 222a.
- LEITE, B. **Análise do Desempenho de Edifícios de Escritórios Automatizados através da Avaliação Pós-ocupação**. 1997. 360p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.
- LIU, Z. G.; MAKAR, J. M.; A. K. Developmente of fire detection systems in the intelligent buildings. **Construction**. Institute for Research in Construction 2001. In: 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATIC FIRE DETECTION, 2001, Gaithersburg, MD **Proceedings...** Osaka, Japan, 2001. p561-573.

- MAEDA, S. **Intelligent Buildings: a key solution for the 21st century office**. 1993. 185p. Tese (doutorado) - Stanford University. Stanford, 1993.
- MAIER, CH., MOLDT, D. Object Coloured Petri Nets – A Formal Technique for Object Oriented Modelling. **Lecture Notes in Computer Science: Advances in Petri Nets 2001**. Berlin: G. Agha et al., Ed.; Springer-Verlang. v.2001, p.406-427, 2001
- MARTE, C.L. **Estudo e Análise das Unidades Funcionais Remotas no Controle Distribuído em Processo de Automação Predial**. 1994. 171p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.
- MARTE, C.L. **Sistemas Computacionais distribuídos aplicados em automação dos transportes**. 2000. 324p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- MARTUCCI JÚNIOR, M. **Estudos de Estruturas de Sistemas de Automação**. 1992. 190p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.
- MATSUOKA, S.; YONEZAWA, A. **Analysis of inheritance anomaly in concurrent object-oriented languages**. In G.Agha, P. wegner, and A.Yonezawa, editors, Research Directions in Concurrent Object-Oriented Programming, page(s) 107-150, MIT Press, 1993.
- MATSUSAKI, C. **Redes F-MFG (Functional Mark Flow Graph) e sua Aplicação no Projeto de Sistemas Antropocentricos**. 1998. 89p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.
- MATSUYAMA, F. **Generalização dos níveis de controle e instrumentação de um sistema aberto de automação**. 1997. 251p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.
- MEHTA, P.; CLARK, G.; PROWSE, R. Intelligent Integrated Buildings Management Systems. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS, 1995, Tel-Aviv. **Proceedings...** Tel-Aviv, Israel, 1995. p.9-18.
- MICROSOFT. **Understanding Universal Plug and Play: White Paper**. Microsoft Corporation 2000, Redmond. 45p. Disponível em: <http://www.upnp.org/download/UPNP_UnderstandingUPNP.doc>. Acesso em: jan. 2003.
- MINISTÉRIO DE SAÚDE (Secretaria de Assistência à saúde. Departamento de norma técnicas). **Normas para projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde**. Brasília, Serie saúde & tecnologia, p. 86 - 132. 1995.
- MIYAGI, E.P. **Controle Programável - fundamentos do controle de sistema a eventos discretos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1996.
- MURATA, T. Petri Nets: properties, analysis and applications. **Proceedings of the IEEE**, v.77, n.4, p.541-580, April 1989.
- NANKMAN, M.A.; NIEUWENHUIS, L.J.M. Specification of a distributed storage system. **Computer Communications**, v.19, n.1, p.30-38, 1996.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION – NFPA. **Fire Protection Handbook**. Sixteenth edition. Quincy, Massachusetts, 1990.
- OBJECT MANAGEMENT GROUP (OMG). **The Common ObjectRequest Broker: Architecture and specification**. Revision 2.0. 1995.
- OMG UML 2 Infraestruure Final Adopted Specification. Object Management Group, December 2003.

- OLIVEIRA, H. **Uma Metodologia para a integração da Informação em Sistemas abertos**. 1998. 264p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.
- PALUDETTO, M. **Sur la commande des procédés industriels: une méthodologie basée objects et réseaux de Petri**. 1991. 270p. Thèse (Doctorat), Université Paul Sabatier. Toulouse, France, 1991.
- PERKUSICH, A.; PERKUSICH, M.L.B.; CHANG, S.K. Object oriented design, modular analysis, and fault-tolerance of real-time control *software* systems. **International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering**. v.6, n.3, p.447–476, 1996.
- 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.
- PETERSON, J. L. **Petri Net Theory and the Modeling od Systems**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1981.
- PINTO, S. **Hospitais**. Brasília: Thesaurus, 1996.
- PIZZICA, S. **Open systems architecture solutions for military avionics testing**. In: Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE Volume 16, Issue 8, Aug. 2001 Page(s):4 – 9.
- PUTMAN, J. **Architecting with RM-ODP**. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- RAMAGDE, P.J.; WONHAM, W.M. The Control of Discrete Event Systems. **Proceedings of the IEEE**, v.77, n.1, p.81-98, 1989.
- ROMERO, R.; VALLECILLO, A. **Formalizing ODP computational viewpoint specifications in Maude**. In: Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2004. EDOC 2004. Proceedings... Eighth IEEE International 20-24 Sept. 2004 Page(s):212 – 223.
- ROSA, P.F. **Um ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos**. 1995. 167p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- ROSENBERRY, W.; KENNEY, D.; FISHER, G. **Understanding DCE**. Sebastopol, CA: O'Reilly & Associates, Inc., 1992.
- ROTH, B. Administración, Gestión, Control y Servicio de Edifícios. **Desarrollo Nacional**. v.35, n.9, Noviembre 1997.
- RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSON, W. **Object-Oriented Modeling and Design**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
- SANCHEZ, A, TORRES, D., FERNÁNDEZ E., HABER, R. Apuntes para una metodología de apoyo al diseño del sistema de comunicaciones en un edificio inteligente. In: III WORKSHOP SINTED SOBRE EDIFICIOS INTELIGENTES, 1998, Cancun. **Memórias...** Cancun, México, 1998. p.163-226.
- SANTOS FILHO, D.J. **Controle de Sistemas Antropocêntricos de Produção baseado em Redes de Petri Interpretadas**. 1998. 287p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.
- SARAMAGO, M.A.P. **Integração de Dispositivos Inteligentes utilizando Conceitos de Domótica direcionados a Automação Hospitalar**. 2002. 224p. Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas. Campinas-SP, 2002.

- SCHERER, D; MURER, T.; WÜRTZ A. Designing the Distributed Architecture DIPS for Cooperative Software Engineering. **Distributed Systems Engineering**. v.4, n.3, p.160 -168, September 1997.
- SCHOFIELD, S. **Open Architecture Controller For Advanced Machine tools**. 1995. Thesis (PHD) - University of California. Berkeley, 1995.
- SHANKARAN, N.; KLEFSTAD, R. **ZEUS: a CORBA framework for service location and creation**. In: Applications and the Internet Workshops, 2004. SAINT 2004. Workshops. 2004 International Symposium on 26-30 Jan. 2004 Page(s):382 - 387.
- SINNOTT, R.O.; TURNER, K.J. Applying the architectural semantics of ODP to develop a trader specification. **Computer Networks and ISDN Systems**, v.29, n.4, p.457-471, 1997.
- SCHÖF, S.; SONNENSCHNEIN, M; WIETING, R. High-Level Modeling with Thor nets. In: 14TH INTERNATIONAL CONGRESS ON CYBERNETICS, 1995, Namur. **Proceedings...** Namur, Belgica, 1995.
- SO, A., WONG, A., WONG, K. A New definition of intelligent buildings for Asi. In: **The Intelligent Building Index Manual**, 2nd edition, Asian Institute of Intelligent Buildings, Hong Kong, 2001.
- STEEN, M.W.A.; DERRICK, J. **Formalising ODP enterprise policies**. In: Enterprise Distributed Object Computing Conference, 1999. EDOC '99. **Proceedings...** Third International 27-30 Sept. 1999 Page(s):84 – 93.
- SUN MICROSYSTEMS. **Jini™ Technology Surrogate Architecture Specification**. Palo Alto, 2001. Disponível em: <<http://www.jini.org/standards/sa.pdf>>. Acesso em: mar. 2003.
- TANAKA, A.; NAGASE, Y.; KIRYU, Y.; NAKAI, K. **Applying ODP Enterprise Viewpoint Language to hospital information systems**. In: Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2001. EDOC '01. **Proceedings...** Fifth IEEE International 4-7 Sept. 2001 Page(s):188 – 192.
- TANOMARU, N; MARTUCCI, M. Definição da arquitetura nível coordenação de um sistema aberto de automação utilizando os conceitos de orientação a objetos (cd-rom). In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL., São Paulo, 1994. **CONAI 1994: Anais...** São Paulo: Sucesu, 1994.
- TAKIUCHI, M.; MELO, E.; TONIDANDEL F. Domótica Inteligente: Automação Baseada em Comportamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, Gramado, 2004. **CBA 2004**. Gramado 2004. 1 CD-ROM.
- 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.
- TOKMAKOFF, A. A. **Modelling, Analysis and Prototyping of teh ODP trader using Coloured Petri Nets and Java**. 1998. 481p. Tese (Doutorado) – University of South Australia. Warrendi Road, 1998.
- TSCHAMMER V.; MAGEDANZ, T.; TSCHICHHOLZ, M.; WOLISZ, A. Cooperative Management in Open Distributed Systems. **Computer Communications**, v.17, n.17, p.7171-728. 1994.
- VALK, R. Petri Nets as Token Objects: An Introduction to Elementary Object Nets. **Lecture Notes in Computer Science: Application and Theory of Petri Nets**. n.1420, p.1-25, 1998.

- VALK, R. **Relating Different Semantics for Object Petri Nets, Formal Proofs and Examples**. Report *FBI-HH-B-226/00*, Universität Hamburg. April 2000. p.1-50.
- VILLANI, E. **Abordagem Híbrida para Modelagem de Sistemas de Ar Condicionado em Edifícios Inteligentes**. 2000. 164p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- VISCONTI, M.G. **Programação de Projetos Hospitalares** 1999. 164p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- WANG, L. Object-oriented Petri Nets for modelling and analysis of automated manufacturing systems. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, v.26, n.2, p.111-125, 1996.
- WANG, S.; XIE, J. Integrating Building Management System and facilities management on the Internet. *Automation in Construction*, Volume 11, Issue 6, Pages 707-715. October, 2002
- WEGMANN, A.; NAUMENKO, A. Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2001. In: EDOC '01. Proceedings... Fifth IEEE International 4-7 Sept. 2001 Page(s):200 – 211.
- WEN-TSUNG, C.; CHIEN-CHAO T.; WEN-KUANG, C. Petri Net Based Analysis on Object Assignment in Distributes Object-Oriented Systems. **Journal of Systems Architecture**. v.44, n.12, p.955-970, 1998.
- WHEELER, T. **O Manual dos Sistemas Abertos**. (Tradução de Open Systems Handbook/ Cristina Bazán). Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.
- WIGGINTON, M., HARRIS, J. **Intelligent Skin**. Oxford, UK: Architectural, 2002.
- WOLISZ, A.; TSCHAMMER, V. Performance aspects of trading in open distributed systems. **Computer Communications**. v.16, n.5, p.277-287, May 1993.
- WONG, J. K. W.; LI, H.; WANG, S. W. **Intelligent building research: a review** • *Automation in Construction*, Volume 14, Issue 1, Pages 143-159. January 2005.
- WRIGHT, P.; SCHOFIELD, S.; WANG, F.C. **Open architecture control for machine tools**. Integrated Manufacturing Laboratory, University of California, Berkeley. Nov. 1996.
- ZAPF, M.; HEINZL, A. **Techniques for Integrating Petri Nets and Object-Oriented Concepts**. Working Papers in Information Systems. Universität Bayreuth. 1999.
- ZHA, X.F. An object-oriented knowledge based Petri net approach to intelligent integration of design and assembly planning. **Artificial Intelligence in Engineering**. v.14, n.1, p.83-112, 2000.
- ZURAWSKI, 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 – Trabalhos Publicados

Development of an Open Distributed Approach for Building Automation.

G. Bastidas, P.E. Miyagi, Benitez Isarel.

Proceedings of 18th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2005), Ouro Preto, Brasil, setembro 2005.

Modelagem de Sistemas Abertos e Distribuídos para Automação Predial.

G. Bastidas, P.E. Miyagi.

Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2004), Gramado, Brasil, 2004.

An Open Distributed Systems Approach for Building Automation.

G. Bastidas, P.E. Miyagi.

Proceedings of IX Mechatronics Forum International Conference. (MECHATRONICS'2004) Ankara, Turquia, agosto 2004.

Open Distributed Supervisory System Design using Petri Nets.

G. Bastidas, E. Villani, F. Junquera. P.E. Miyagi.

Proceedings of International Symposium on Industrial Electronics. (ISIE 2003). Rio de Janeiro, Brasil, junho 2003.

Petri Net Approach for Modelling System Integration in Intelligent Buildings.

G. Bastidas, E. Villani, P.E. Miyagi,

Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences. v. XXIV, p.309 – 318. Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

Modelagem de um sistema aberto para a integração de sistemas em edifícios Inteligentes.

G. Bastidas, P.E. Miyagi.

Anais do II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. (CONEM 2002). João Pessoa, Brasil, agosto 2002.

Modelagem de um Sistema Aberto e Distribuído para Automação Predial.

G. Bastidas, P.E. Miyagi, I. Benitez

Proceedings of II International Conference on Automatic Control (AUT 2002).
Santiago de Cuba, Cuba, julho 2002.

Modeling Integration of Systems in Intelligent Buildings through Mechatronics Approach.

G. Bastidas, P.E. Miyagi.

Proceedings of VIII Mechatronics Forum International Conference
(MECHATRONICS 2002). Enschede, Holanda, junho 2002.

Metodologia para a Modelagem, de Sistemas de Elevadores em Edifícios Inteligentes.

G. Bastidas, P.E. Miyagi.

Anais do I Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2000). Natal,
Brasil, agosto 2000.