

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**ESCOLA POLITÉCNICA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SISTEMA DE AUTOMAÇÃO APLICADO A EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA PREDIAL EM INSTITUIÇÕES DO ENSINO  
SUPERIOR: UM ESTUDO DE CASO NA ESCOLA POLITÉCNICA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

Dissertação submetida à Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia  
como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Elétrica

**Autor : Everton Lopes da Silva**

**Orientador : Prof. Dr. Caiuby Alves da Costa**

Salvador – BA

agosto 2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

## **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Caiuby Alves da Costa - UFBA

---

Prof. Dr. André Valente - UNIFACS

---

Eng. Fernando Pinto Dias Perrone - ELETROBRÁS

---

Prof. Dr. Niraldo Ferreira - UFBA

---

Dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuem de alguma forma com a Eficiência Energética, levando o país a crescer e a ter um futuro promissor.

## AGRADECIMENTOS

Uma vitória significa um incentivo para enfrentar novos desafios. Assim, agradeço:

A Deus que iluminou a minha mente.

Ao Prof. Dr. Caiuby Alves da Costa pela orientação, supervisão, paciência e confiança que concedeu-me para o desenvolvimento deste projeto .

Aos membros da comissão examinadora por suas participações, questionamentos e sugestões.

Ao CNPq ( Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo auxílio-financeiro concedido para a realização deste trabalho.

A meus pais, amigos, colegas de equipe pelo estímulo, apoio e ajuda recebida.

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

## RESUMO

Os sistemas de iluminação, motores, ar condicionado e elevadores são componentes fundamentais no projeto de edifícios inteligentes na área de Eficiência Energética. Neste contexto, este trabalho consiste no desenvolvimento de uma proposta de metodologia para projetar um sistema de automação, de modo a otimizar o uso de energia elétrica e térmica numa instalação predial, realizando-se o estudo de caso na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Para isso, será realizada uma modelagem e simulação do sistema proposto utilizando-se as redes de Petri.

A metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho foi dividida em duas partes, uma para os sistemas de iluminação, motores e ar condicionado e uma específica para o sistema de elevadores, que, por ser um pouco mais complexo e devido a necessidade da adoção de um sistema de prioridades, optou-se por analisá-lo separadamente. Esta metodologia mostrou ser útil e eficiente ao gerar boas alternativas de operação de forma a reduzir tempo e custo e ao facilitar a integração com outros sistemas prediais.

Neste trabalho, os sistemas foram interligados através de um Controlador Lógico Programável (CLP) que recebe informações provenientes do Sistema de Gerenciamento do prédio (SGP) ou de outros equipamentos e, a partir daí, envia uma resposta, permitindo uma integração dos sistemas de forma eficiente, constituindo, assim, num elemento essencial para a otimização dos serviços do edifício.

**Palavras – chave:** Redes de Petri, Edifícios Inteligentes, Eficiência Energética, Metodologia, sistema de automação, sistemas de iluminação, motores, ar condicionado e elevadores.

## ABSTRACT

The illumination, motor, air-conditioned and elevator systems are fundamental components in the project intelligent buildings in the area Efficiency Energetic. Then, this work consists to propose a methodology to project an automation system to optimize the use of thermal and electrical energy in a building installation take place the case study in the Politécnica School of the University Federal da Bahia. To that, will be realized a modelling and simulation of the propose system using petri Nets.

The methodology developed in this work was shared in two parts, a to the illumination, motor, air-conditioned systems and an especific to the elevator system that, due the complexity and the necessity adoption of a priority system, chosed analyze it separately. This methodology showed to be useful and efficient, begetting good alternatives of operation to reduce time and cost and facilitating the integration with others buildings systems.

This work, the systems were interconnected through Program Logic Control (PLC) that receive informations of the building management system (PGS) or others equipments and, then, send a answer permitting a efficient integration between the systems, constituting a essential element to optimize the services of the building.

**Key words:** Petri Nets, Intelligent Buildings, Efficiency Energetic, Methodology, automation system, illumination, motor, air-conditioned and elevator systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Curva característica de desempenho de um motor trifásico de 10 cv 2 pólos “standard”	30
Figura 2.2 - Princípio de funcionamento do sistema de ar condicionado	34
Figura 2.3 - Princípio de funcionamento do sistema de elevador	37
Figura 3.1 - Metodologia proposta para os sistemas de iluminação, motores e ar condicionado	41
Figura 3.2 - Metodologia proposta para o sistema de elevadores	51
Figura 3.3 - Parte operativa X parte de controle do sistema a ser modelado	56
Figura 4.1 - Prédio da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia	59
Figura 4.2 - Percentual do consumo total de energia total da EPUFBA	60
Figura 4.3 - Integração dos sistemas de iluminação, motores, ar condicionado e elevadores	61
Figura 4.4 - Diagrama lógico de operação do sistema de iluminação	66
Figura 4.5 - Modelagem do sistema de iluminação	66
Figura 4.6 - Diagrama Lógico de funcionamento do Sistema de Motores Elétricos	74
Figura 4.7 - Diagrama lógico de funcionamento das bombas d’água	75
Figura 4.8 - Diagrama lógico em caso de falha em uma das bombas d’água	76
Figura 4.9 - Modelagem do acionamento dos elevadores	76
Figura 4.10 - Modelagem para o funcionamento das bombas d’água	77
Figura 4.11 - Modelagem em caso de falha em uma das bombas d’água	78
Figura 4.12 - Diagrama lógico do elevador em operação	88
Figura 4.13 - Diagrama lógico do elevador no caso de incêndio	89
Figura 4.14 - Diagrama lógico do elevador no caso de falta de energia	90
Figura 4.15 - Diagrama lógico do elevador no caso de falha	91
Figura 4.16 - Modelagem estrutural do sistema de elevadores da EPUFBA	92
Figura 4.17 - Diagrama conceitual do sistema de elevadores	93
Figura 4.18 - Modelo conceitual geral para o sistema de elevadores	95

Figura 4.19 - Modelagem conceitual das estratégias	96
Figura 4.20 - Modelagem geral para o elevador localizado no primeiro andar	98
Figura 4.21 - Modelagem geral da estratégia de tráfego de pico de subida e da estratégia de tráfego de pico de descida para o elevador no primeiro andar	98
Figura 4.22 - Modelagem geral para o elevador localizado no sétimo andar	99
Figura 4.23 - Modelagem geral da estratégia de tráfego de pico de subida e da estratégia de tráfego de pico de descida para o elevador no sétimo andar	99
Figura 4.24 - Modelagem geral para o elevador localizado entre os andares extremos	100
Figura 4.25 - Modelagem geral da estratégia de tráfego de pico de subida e da estratégia de tráfego de pico de descida para o elevador entre os andares extremos	101
Figura 4.26 - Modelagem específica para a estratégia de tráfego de pico de subida	102
Figura 4.27 - Modelagem específica para a estratégia de tráfego de pico de descida	104
Figura 4.28 - Representação da modelagem do sistema de prioridades por um sistema aditivo nebuloso	107
Figura 4.29 - Representação da modelagem de grupo por um sistema aditivo nebuloso	111
Figura 4.30 - Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de incêndio	116
Figura 4.31 - Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de falta de energia	117
Figura 4.32 - Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de falha	119
Figura 4.33 - Simulação em Redes de Petri da estratégia do elevador no caso de incêndio	120

Figura A.1. Simulação em Redes de Petri do sistema de iluminação	128
Figura A.2. Simulação em Redes de Petri do sistema de motor em operação	129
Figura A.3. Simulação em redes de Petri do sistema de bombas em operação	130
Figura A.4. Simulação em Redes de Petri do sistema de bombas em caso de falha	130
Figura A.5 . Simulação em Redes de Petri do elevador em operação	132
Figura A.6. Simulação em Redes de Petri do elevador em caso de falta de energia	133
Figura A.7 . Simulação em Redes de Petri do elevador em caso de falha	133

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Refletâncias recomendadas para salas de aula	11
Tabela 2.2 - Relação entre luminâncias para escolas segundo (Iesna, 1995)	12
Tabela 2.3 - Tempo de ocupação de ambiente segundo (Santamouris, 1995)	21
Tabela 4.1 - Tipos de luminárias instaladas na Escola Politécnica	63
Tabela 4.2 - Substituição de lâmpadas na Escola Politécnica	64
Tabela 4.3 – Tipo de andar e controle de cada pavimento	86
Tabela 4.4 – Dispositivos utilizados no controle de sistemas de elevadores	94
Tabela 4.5 – Lugares e transições da Modelagem por Redes de Petri da estratégia do elevador em caso de incêndio	116
Tabela 4.6 - Lugares e transições da Modelagem por Redes de Petri da estratégia do elevador em caso de falta de energia	118
Tabela 4.7 - Lugares e transições da Modelagem por Redes de Petri da estratégia do elevador no caso de falha	119

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

CC – chamadas da cabina

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais SA

CLP – Controlador Lógico Programável

DAC1 - dispositivo de atuação da cabina 1

DAC2 - dispositivo de atuação da cabina 2

DCA - dispositivo de comando de andar

DCC1 - dispositivo de comando da cabina 1

DCC2 - dispositivo de comando da cabina 2

DDC1 - dispositivo de detecção da cabina 1

DDC2 - dispositivo de detecção da cabina 2

DMA - dispositivo de monitoração de andar

DMC1 - dispositivo de monitoração da cabina 1

DMC2 - dispositivo de monitoração da cabina 2

EI – Edifício Inteligente

EIBG – European Intelligent Building Group

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras SA

EPRI – Electrical Power Research Institute

EPUFBA – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia

IBI – Intelligent Building Institute

IBSC – Intelligent Building Study Committee

IBS – Intelligent Building System

IESNA – Illuminating Engineering Society of North America

IRC – Índice de reprodução de cores

LAMI – Laboratório de Automação e Metrologia Industrial da EPUFBA

NBR 5413 - Norma Brasileira 5413

SGE – Sistema de Gerenciamento de Energia

SGP – Sistema de Gerenciamento do Prédio

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

TIR – Taxa Interna de Retorno

TFB<sub>1</sub> – Tempo de funcionamento da bomba 1, em dias

TFB<sub>2</sub> – Tempo de funcionamento da bomba 2, em dias

UFBA – Universidade Federal da Bahia

VLP – Valor Presente Líquido do Projeto

## LISTA DE SÍMBOLOS

A – área aparente da superfície em relação ao ponto de vista do observador

cd – candela

cd / m<sup>2</sup> – candela por metro quadrado

FP – fator de potência

H - Altura total de elevação

I - Iluminância

kVAr – Potência reativa

kVArh – Energia reativa

kW – Potência ativa

kWh – Energia ativa

L – Luminância da superfície

lm / W – Lúmem por watt

Q – Vazão ( m<sup>3</sup>/ s – metro cúbico por segundo)

$\Delta p_t$  - Diferença de pressão total (em Pascal)

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	1
1.2 OBJETIVO	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	3
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1. EDIFÍCIOS INTELIGENTES	4
2.1.1. Introdução	4
2.1.2. Definição	5
2.1.3. Características	7
2.1.4. Objetivos	8
2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	8
2.2.1. Sistemas de iluminação	8
2.2.1.1. Iluminância nos ambientes de trabalho	8
2.2.1.2. Luminância nos ambientes de trabalho	11
2.2.1.3. Iluminação Natural	13
2.2.1.4. Iluminação Artificial	15
2.2.1.4.1. Lâmpadas	15
2.2.1.4.2. Luminárias	17
2.2.1.4.3. Reatores	18
2.2.1.5. Métodos utilizados em projetos de iluminação	19
2.2.1.6. Sistemas de controle de iluminação	20
2.2.1.7. Sensores de iluminação	21

2.2.1.8. Fator de potência	22
2.2.1.9. Integração com outros sistemas prediais	26
2.2.2. Sistemas de motores e bombeamento	27
2.2.2.1. Características	27
2.2.2.2. Rendimento	29
2.2.2.3. Integração com outros sistemas prediais	31
2.2.3. Sistema de ar condicionado	31
2.2.3.1. Introdução	31
2.2.3.2. Conforto térmico	32
2.2.3.3. Princípio de funcionamento	33
2.2.3.4. Integração com outros sistemas prediais	35
2.2.4. Sistemas de elevadores	36
2.2.4.1. Introdução	36
2.2.4.2. Princípio de funcionamento	37
2.2.4.3. Integração com outros sistemas prediais	38
<b>CAPÍTULO 3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA</b>	<b>40</b>
3.1. METODOLOGIA PARA OS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO, MOTORES E AR CONDICIONADO	40
3.2. METODOLOGIA PARA OS SISTEMAS DE ELEVADORES	50
<b>CAPÍTULO 4. ESTUDO DE CASO</b>	<b>58</b>
4.1. PRÉDIO DA ESCOLA POLITÉCNICA	58
4.2. DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA	61
4.3. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	62
4.3.1. Levantamento de dados	62
4.3.2. Descrição do sistema	64
4.3.3. Diagrama lógico	66
4.3.4. Modelagem do sistema	66
4.4. SISTEMA DE AR CONDICIONADO	67
4.4.1. Levantamento de dados	67

4.4.2. Descrição do sistema	68
<b>4.5. SISTEMAS DE MOTORES E BOMBEAMENTO</b>	<b>70</b>
4.5.1. Levantamento de dados	70
4.5.2. Descrição do sistema	71
4.5.3. Diagrama lógico	74
4.5.4. Modelagem para o sistema de motores e bombeamento	76
<b>4.6. SISTEMA DE ELEVADORES</b>	<b>79</b>
4.6.1. Levantamento de dados	79
4.6.2. Descrição do sistema	80
4.6.3. Sistema de prioridade	85
4.6.4. Diagrama lógico	88
4.6.5. Modelagem do sistema de elevadores	92
<b>4.7. SIMULAÇÃO DOS SISTEMAS</b>	<b>119</b>
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO</b>	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE A . SIMULAÇÃO DOS MODELOS OBTIDOS EM REDES DE PETRI</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE B. SIMULADOR RPFHT</b>	<b>134</b>

# Capítulo 1

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. JUSTIFICATIVA

A energia utilizada hoje está intimamente ligada ao padrão de vida da população. Ela faz parte da luta do homem pela sobrevivência e está presente em todas as atividades humanas.

Logo, os projetos de automação na área de energia são de importância fundamental para garantir o aumento da eficiência no uso da eletricidade, proporcionando um grande número de benefícios, pois o acréscimo da eficiência significa diminuir custos, aumentando assim a competitividade dos produtos.

Um bom projeto de Eficiência Energética em prédios inteligentes exige iniciativa e criatividade, visando a racionalizar e otimizar a utilização de energia através de orientações, direcionamento, ações e controle sobre os recursos econômicos, materiais e humanos da instituição, de modo a utilizar a quantidade mínima de energia para se obter o máximo de benefício técnico econômico. Para sua implantação, deve-se estabelecer objetivos claros e apoiá-lo, enfatizando sua necessidade e importância para a instituição, aprovando e estabelecendo metas a serem atingidas.

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

Neste contexto, a diversificação e evolução dos serviços oferecidos e disponibilizados num edifício, a difusão e popularização das tecnologias mecatrônicas (incluindo teleoperação e operação remota) e da informação, e a necessidade de maior flexibilidade e versatilidade dos recursos, envolvem um novo paradigma para a concepção de edifícios, passando a incorporar até mesmo fatores comportamentais que promovem a produtividade nas tarefas que se realizam em seu interior. (Finley , 1991).

Assim, a realização deste trabalho deriva da necessidade existente de uma metodologia que permita modelar um sistema de automação considerando sua integração com outros sistemas prediais em edifícios inteligentes. Assim, torna-se necessário que as técnicas de modelagem apresentadas neste projeto de automação possam gerar boas alternativas de operação de forma a reduzir tempo e custo.

## **1.2. OBJETIVO**

Este trabalho consiste no desenvolvimento de uma proposta de metodologia para projetar um sistema de automação de modo a otimizar o uso da energia elétrica e térmica numa instalação predial.

Para concretizar este objetivo, é desenvolvida a modelagem de um sistema proposto, realizando-se um estudo de caso na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, de modo a obter um resultado desejável para que, futuramente, possa vir a ser aplicado em instituições de ensino superior.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO**

Apresenta-se a seguir, uma descrição resumida desta dissertação.

### **Capítulo 1 Introdução**

### **Capítulo 2 Fundamentação teórica**

Este capítulo apresenta algumas definições para o conceito de edifícios inteligentes, além de abordar suas características e seus objetivos. Além disso, são também abordadas as principais características dos sistemas de iluminação, motores, elevadores e ar condicionado, focalizando a integração com outros sistemas do edifício.

### **Capítulo 3 Metodologia**

Neste capítulo são abordadas duas metodologias desenvolvidas para a modelagem e simulação: uma para os sistemas de iluminação, motores e ar condicionado e outra específica para o sistema de elevadores.

### **Capítulo 4 Estudo de caso**

Este capítulo apresenta um estudo de caso, no qual as metodologias desenvolvidas no capítulo anterior são aplicadas no prédio da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

### **Capítulo 5 Conclusão**

Este capítulo apresenta as observações finais e as conclusões obtidas, bem como as sugestões de novos tópicos a serem pesquisados em trabalhos futuros.

## **Capítulo 2**

### **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1.EDIFÍCIOS INTELIGENTES**

##### **2.1.1. Introdução**

Na atualidade não só os grandes edifícios corporativos de escritório e comércio requerem a introdução de sistemas de automação em suas instalações, pois o objetivo de gerenciar a utilização de energia, o conforto dos ocupantes dentro dos ambientes, o acesso de pessoas, a comunicação, os sistemas prediais e de informática e a prevenção de acidentes e falhas de equipamentos, também são requeridos pelas residências.

Os aumentos constantes nas tarifas e a crescente demanda por energia em edifícios trouxe a preocupação em controlar e tornar inteligente também as residências, quanto à utilização de instalações que se utilizam efetivamente de percentuais maiores de energia, como por exemplo, condicionamento e aquecimento internos, iluminação interna e externa e mesmo os sistemas de bombeamento e outros equipamentos de grande consumo de força.

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

### 2.1.2. Definição

Atualmente não existe uma definição precisa do que se pode 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 (Arkin & Paciuk, 1995).

De acordo com (Arkin & Paciuk,1995), na Europa, o EIBG (European Intelligent Building Group) define um EI como sendo aquele que “ cria um ambiente que permita às empresas alcançarem os seus objetivos nos negócios e maximizar a produtividade de seus ocupantes oferecendo simultaneamente uma utilização eficiente de recursos com um mínimo custo.

Segundo (Maeda,1993), no Japão, o IBSC ( Intelligent Building Study Committee) define que o EI deve possuir :

- (a) Um bom ambiente para as pessoas
- (b) Bom suporte para assegurar uma alta produtividade dos trabalhadores.
- (c) Boa segurança contra incêndio, patrimonial e individual.
- (d) Operação altamente econômica.

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

- Sistemas de Gerenciamento de Energia;
- Sistema de Automação do Edifício;
- Sistema de elevadores;
- Sistema de ar condicionado e ventilação;

- Sistema de iluminação;
- Sistemas de segurança;
- Sistema de controle de acesso;
- Sistema de detecção e combate a incêndio;
- Sistema de Gerenciamento das Comunicações;
- Sistema de Automação de Escritórios;
- Sistemas para gerenciamento de informações;
- Sistemas de manutenção.

Para (Finley,1991) a inteligência de um edifício reside no grau de facilidade que os ocupantes e administradores têm disponível na realização de suas tarefas. Um edifício altamente automatizado não pode ser considerado inteligente se a automação não propiciar um ambiente que favoreça a criatividade, a produtividade e a troca de informações, bem como a saúde física e mental dos usuários. Do mesmo modo, um edifício ergonomicamente projetado, mas com falta de sistemas de telecomunicações e computadores, também não pode ser chamado de “inteligente”.

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

Embora um edifício possa ser projetado ergonomicamente e com a incorporação de sistemas de telecomunicações e computadores, este ainda não é realmente um edifício inteligente, a menos que o sistema ofereça a integração das facilidades e serviços necessários para atingir suas metas. (Finley, 1991).

A implantação de sistemas que visam a integração segue um caminho no qual possa-se atender as necessidades atuais e futuras dos usuários, sem obsolescência antes de se obter o retorno de investimento. (Finley, 1991).

Segundo (Arkin & Paciuk,1995), 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 de 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.

### **2.1.3. Características**

Um agente incentivador de mudanças passou a vigorar a partir da década de 80 com a introdução de um novo conceito relacionado à forma de se projetar e construir edifícios através do surgimento do que podemos conceituar como Edifícios de Alta Tecnologia ou Edifícios Inteligentes. De acordo com (Becker,1995), nos Estados Unidos, O IBI – Intelligent Building Institute - define edifícios inteligentes como aqueles que oferecem um ambiente produtivo e econômico através da otimização de quatro elementos básicos: Estrutura, Sistemas, Serviços e Gerenciamento. Essencialmente os edifícios de alta tecnologia compreendem características como:

- Realização de controle e gerenciamento por meio de um ou vários computadores interligados.
- Integração dos vários serviços oferecidos através de redes de comunicação.
- Disponibilidade de serviços oferecidos pelas novas tecnologias de informação.
- Incorporação de recursos com o objetivo de propiciar segurança em todos os níveis, eficácia, economia de energia e comodidade aos seus moradores.

## **2.1.4. Objetivos**

( 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.

## **2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

### **2.2.1. Sistemas de Iluminação**

#### **2.2.1.1. Iluminância nos ambientes de trabalho**

Iluminância (ou Iluminamento) é uma grandeza de luminosidade que faz a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície e a sua área.

A iluminação eficiente de um ambiente deve ser baseada, entre outros requisitos, no desempenho visual requerido para a realização de uma determinada tarefa. Ele pode crescer com o aumento da iluminância (nível de iluminação) e da luminância (luz refletida pelo objeto observado e seu entorno, na direção dos olhos do observador). (Eletrobrás, 2001).

Os ambientes devem ser iluminados de acordo com os padrões estabelecidos pelas normas para, com isso, proporcionar um menor consumo de energia e um melhor desempenho visual. (Eletrobrás, 2001).

Como o consumo de energia elétrica é muito elevado, a chave da redução dos custos de iluminação é diminuir a quantidade de eletricidade para determinado nível de iluminamento. O custo com eletricidade está diretamente relacionado com a eficiência luminosa da lâmpada utilizada. Reduzir o consumo não significa necessariamente diminuir a iluminação. Basta que se utilize a iluminação mais adequada e bem planejada, a qual deve propiciar conforto visual, despertar a atenção e estimular a eficiência. (Eletrobrás, 2001).

Na elaboração de projetos de iluminação dois fatores devem ser considerados: a quantidade e a qualidade da iluminação.

### **Quantidade de iluminação**

A metodologia para análise do sistema de iluminação consiste em avaliar a quantidade de luz que as pessoas em determinado ambiente necessitam, levando em consideração o tipo de atividade que se desenvolve no mesmo, além do estudo do tipo de lâmpada e luminária.

A quantidade de luz desejada e necessária para qualquer instalação depende, em primeiro lugar, da tarefa a ser executada. O grau de habilidade requerida, a minuciosidade do detalhe a ser observado, a cor e a refletividade, assim como os arredores imediatos, afetam as necessidades de iluminância, que produzirão as condições de visibilidade máxima. (Ghisi, 1997).

As tarefas visuais, apesar de serem em número ilimitado, podem ser classificadas de acordo com certas características comuns conforme a NBR 5413 – Iluminância de interiores (ABNT,1991) que estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores onde se realizam atividades específicas. Esta norma

permite flexibilidade na determinação dos níveis de iluminância, sendo que três variáveis são consideradas:

- A idade do observador: pessoas mais velhas precisam de mais luz para desenvolver a mesma atividade de pessoas jovens;
- Velocidade e precisão do desempenho visual: necessidades críticas exigem mais luz que as casuais, ou seja, quanto maior o grau de precisão requerido para executar a tarefa, maiores serão os níveis de iluminação exigidos;
- Refletância da tarefa em relação ao fundo: grande diferença de refletâncias entre a tarefa e o seu entorno próximo podem reduzir o contraste e a performance visual e/ou causar desconforto visual.

Em relação aos ambientes de sala de aula, estes necessitam de iluminação de excelente qualidade, pois a tarefa visual varia desde a visão à distância, como ler o que se encontra na lousa, até as próximas, como ler e escrever. A NB 57 estabelece a iluminância de 300 lux para salas de aula onde os usuários apresentam idade inferior a 40 anos, onde a velocidade e precisão de execução da tarefa visual sejam importantes e onde a refletância de fundo da tarefa esteja entre 30 e 70%. Além disso, a luz que incide na lousa não deve criar reflexos prejudiciais à leitura em nenhum ponto da sala. Desta forma, deve-se determinar adequadamente o acabamento das superfícies. A colocação de iluminação suplementar na lousa também pode ser uma boa solução para estes casos. (Ghisi, 1997).

As refletâncias das superfícies internas de salas de aula sugeridas por IESNA (1995) são apresentadas na tabela 2.1.

Superfície	Refletância (%)
Piso	30 a 50
Parede	40 a 60
Teto	70 a 90
Lousa	Inferior a 20
Tarefa	35 a 50

Tabela 2.1 - Refletâncias recomendadas para salas de aula.

### Qualidade da iluminação

Além da quantidade de iluminação necessária ao desenvolvimento da atividade, um sistema de iluminação energeticamente eficiente deve proporcionar iluminação de qualidade, ou seja, a visibilidade na superfície de trabalho não deve ser afetada pela distribuição das luminárias, pela sua distribuição relativa à atividade e pelas propriedades específicas da tarefa e da superfície de trabalho. Desta forma, a qualidade da iluminação envolve aspectos que buscam evitar distúrbios na visão de objetos como controle de ofuscamento, difusão, uniformidade de distribuição, sombras e cor. (Ghisi, 1997).

#### 2.2.1.2. Luminância nos ambientes de trabalho

A luminância de uma fonte ou de uma superfície iluminada (numa dada direção ou num ponto na superfície de uma fonte) é definida como a intensidade luminosa por unidade de área aparente da superfície emissora, como mostra a equação 1. Sua unidade no sistema internacional é candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

$$L = I / A$$

equação (1)

Onde:

L é a luminância da superfície ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

I é a intensidade luminosa na direção de interesse (cd).

A é a área aparente da superfície em relação ao ponto de vista do observador ( $\text{m}^2$ )

Segundo (Philips, 1981), a luminância ótima das paredes praticamente independe da tarefa e do nível de iluminação geral da sala. Portanto, recomenda-se que luminâncias de  $100 \text{ cd}/\text{m}^2$  podem ser aceitas como orientação geral para a luminância ótima de paredes desde que a iluminância esteja entre 500 e 2000 lux. Para se conseguir a luminância ótima em paredes, a sua reflexão deve estar entre 0,5 e 0,8 para instalações de 500 lux e entre 0,4 e 0,6 para instalações de 1000 lux.

Para auxiliar o desempenho visual, as luminâncias do entorno próximo da tarefa devem ser menores que a da tarefa, porém não inferiores a  $1/3$  deste valor (Philips, 1981).

A luminância é um dos principais fatores da qualidade da iluminação, pois determina os contrastes, a possibilidade de boa adaptação, a presença ou ausência de ofuscamento e, em geral, a capacidade visual e o bem-estar causado pela iluminação. (Ghisi, 1997).

Segundo (Iesna, 1995), levando-se em consideração as escolas, devem ser respeitadas as taxas de luminâncias propostas na tabela 2.2:

Relação entre superfícies	Relação entre luminâncias
Grandes superfícies próximas e tarefa	5:1
Pequenas superfícies próximas e tarefa	1/3:1
Superfície próxima da tarefa e tarefa	1/3:1

Tabela 2.2 - Relação entre luminâncias para escolas segundo (Iesna,1995).

### **2.2.1.3. Iluminação Natural**

O Sol, que é a fonte primária de iluminação, tem sua radiação filtrada na atmosfera pelas moléculas gasosas e partículas de poeira suspensas no ar, porém, para efeito de iluminação natural, a fonte de luz considerada é a da abóbada celeste (fonte secundária). A luz solar direta não é considerada como fonte primária de iluminação em sistemas naturais, devido à sua enorme carga térmica, por ser uma fonte pontual de grande intensidade luminosa e também devido à sua movimentação. (Eletrobrás, 2001).

Um sistema de iluminação natural eficiente deve possuir uma proteção adequada contra a incidência da radiação solar direta. Nestas condições, o uso da luz e da ventilação natural pode permitir uma redução de até 50% no consumo de energia elétrica com iluminação, com efeitos positivos sobre o consumo dos sistemas de condicionamento ambiental. (Eletrobrás, 2001).

Um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado se a iluminação natural for utilizada como uma fonte de luz para iluminar os ambientes internos. No entanto, a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização. Existem poucas edificações em que a iluminação natural possa suprir o total de iluminação necessária, da mesma forma, existem poucas edificações em que a iluminação natural não possa contribuir significativamente na iluminância do ambiente (Ghisi, 1997).

Segundo (Epri,1993), a utilização da iluminação natural deve ser avaliada na concepção inicial do projeto e deve levar em consideração a variação diária e sazonal da luz para fornecer iluminação adequada por maior tempo e menor carga térmica possíveis.

Os problemas mais comuns para o correto aproveitamento da luz natural (Eletrobrás,2001) são:

- **A variação da iluminância da abóbada celeste no decorrer do dia:**

Em um edifício é necessário considerar tanto a iluminação natural quanto a artificial. A correta integração entre estes dois sistemas pode solucionar o problema da variação da intensidade de luz proveniente da abóbada e contribuir para a redução do consumo de energia. Sendo assim, a iluminação natural e a artificial são complementares.

- **A realização das tarefas com diferentes exigências visuais no mesmo recinto:**

A iluminação dos edifícios modernos visa atender a um grande número de pessoas realizando várias atividades com exigências diferentes quanto ao nível de Iluminância. Para melhor utilizar a luz natural, a localização das tarefas com maiores exigências visuais devem ser sempre próxima às janelas.

- **A carga térmica que entra nas edificações através das aberturas iluminantes:**

Da radiação proveniente do sol (espectro solar), aproximadamente 50% da energia recebida na Terra é composta pelo espectro visível (luz) e uma parcela de aproximadamente 45% é composta por radiações infravermelhas.

Os Sistemas de Iluminação Natural podem ser subdivididos em iluminação lateral ou iluminação zenital, cada qual atendendo às necessidades específicas dos usuários. A opção entre um e outro ou mesmo a combinação dos dois, se faz em função das características do edifício como forma, orientação das fachadas, a disposição dos ambientes internos e do tipo de tarefa visual a ser desenvolvida.

#### **2.2.1.4. Iluminação Artificial**

A iluminação artificial é responsável por aproximadamente 20% de toda energia elétrica consumida no país, cerca de 20% do consumo no setor residencial e por mais de 40% da energia elétrica consumida pelo setor de comércio e serviços (Eletrobrás, 2001).

Os aspectos eficiência luminosa e vida útil são os que mais contribuem para a eficiência energética de um sistema de iluminação artificial e devem, portanto, merecer grande atenção, seja na elaboração de projetos e reformas, seja na implantação de programas de conservação e uso eficiente de energia (Eletrobrás, 2002).

A eficiência dos sistemas de iluminação artificial está associada, basicamente, às características técnicas, à eficiência e ao rendimento de um conjunto de elementos, dentre os quais destacam-se as lâmpadas, luminárias, reatores, circuitos de distribuição, utilização da luz natural, cores das superfícies internas, mobiliário e necessidades de iluminação do ambiente. A correta integração entre esses elementos resulta em ambientes iluminados adequadamente, com níveis de conforto visual elevados e baixo consumo de energia (Eletrobrás, 2001).

##### **2.2.1.4.1. Lâmpadas**

As lâmpadas elétricas atuais são classificadas, segundo seu mecanismo de produção de luz, em lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga, que incluem as lâmpadas fluorescentes, de luz mista e de vapor.

As lâmpadas que contém filamento emitem luz pela incandescência como a luz gerada pelo sol. As de descarga são as que emitem luz em temperaturas relativamente baixas, como nos relâmpagos. As mistas são chamadas assim por combinarem a incandescência e a

luminescência enquanto as lâmpadas fluorescentes combinam os fenômenos de luminescência e fotoluminescência (Eletrobrás, 2002).

As lâmpadas incandescentes são as de menor eficiência luminosa e substituí-las pelas fluorescentes tornar-se uma boa alternativa. Porém, em situações onde as incandescentes devem ser utilizadas, as halógenas oferecem uma boa alternativa, pois são um tipo de lâmpada incandescente com maior eficiência luminosa. (Ghisi, 1997).

As lâmpadas fluorescentes têm melhorado continuamente desde a sua origem e são as que predominam em edifícios comerciais. Essas lâmpadas apresentam alta eficiência e longa durabilidade quando comparadas às lâmpadas incandescentes. Segundo (Santamouris, 1995), a eficiência luminosa das lâmpadas fluorescentes varia entre 30 e 95 lm/W e a vida média entre 6000 e 8000 horas. Já nas lâmpadas incandescentes a eficiência luminosa varia entre 10 e 25 lm/W e a vida média entre 1000 e 2000 horas.

Segundo (Epri, 1992), as lâmpadas incandescentes têm a vida aumentada quando operam em baixa voltagem ao contrário das fluorescentes, que têm sua vida diminuída quando operam em baixa voltagem.

As lâmpadas de vapor podem ser de três tipos:

- Vapor de Mercúrio: apresentam uma luz de boa reprodução de cores com eficiência luminosa de até 60 lm/W. Para que uma lâmpada de vapor de mercúrio possa funcionar é necessário conectá-la a um reator específico, o qual serve para controlar a corrente e a tensão de operação.
- Vapor de Sódio: são indicadas para iluminação de locais onde a reprodução de cor não é um fator importante. A substituição de uma lâmpada de vapor de mercúrio por uma de vapor de sódio resulta em uma redução média de 10% no consumo de energia

elétrica e um acréscimo médio de 65% no fluxo luminoso. São amplamente utilizadas na iluminação externa, em avenidas, auto-estradas, viadutos, complexos viários, etc.

- Vapor Metálico: tem uma excelente reprodução de cores e é, atualmente, a fonte de luz branca de maior eficiência disponível no mercado. Para o seu funcionamento, é necessário utilizar um reator para controlar a tensão e a corrente de operação, e um ignitor para a partida.

As lâmpadas de luz mista, como o próprio nome já diz, são uma combinação de uma lâmpada de vapor de mercúrio com uma lâmpada incandescente, ou seja, um tubo de descarga de mercúrio ligado em série com um filamento incandescente. Apresentam maior eficiência e vida média oito vezes maior que as incandescentes. (Eletrobrás, 2002).

#### **2.2.1.4.2. Luminárias**

Através da seleção de material e forma apropriada, a luminária pode maximizar o uso da luz emitida pela lâmpada e, desta forma, diminuir a carga total de iluminação. Na escolha de luminárias para uma determinada aplicação é essencial a escolha daquelas que iluminem o espaço com a aparência e o nível desejado. (Ghisi, 1997).

Uma luminária eficiente otimiza o desempenho do sistema de iluminação artificial. Ao avaliar uma luminária, sua eficiência e suas características de emissão são de considerável importância. A eficiência de uma luminária pode ser obtida pela relação entre a luz emitida pela mesma e a luz emitida pela lâmpada. Isto se explica pelo fato de uma parte da luz emitida pela lâmpada ser absorvida pela luminária, enquanto a restante é emitida ao espaço. O valor da fração de emissão de luz da luminária depende dos materiais empregados na sua construção, da refletância das suas superfícies, de sua forma, dos dispositivos usados para proteger as lâmpadas e do seu estado de conservação. Quando se avalia a distribuição da luz a partir da luminária, deve-se considerar como ela controla o brilho, assim como a proporção do fluxo luminoso da lâmpada que chega ao plano de trabalho. A luminária pode modificar

(controlar, distribuir e filtrar) o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas, desviá-lo para certas direções (defletores), ou reduzir a quantidade de luz em certas direções para diminuir o ofuscamento (difusores). (Eletrobrás, 2002).

Segundo (Iesna, 1995), a falta de manutenção em luminárias pode reduzir a iluminância em 25 a 50%, dependendo da aplicação e do equipamento utilizado.

#### **2.2.1.4.3. Reatores**

Reator é um equipamento auxiliar as lâmpadas de descarga, constituído por uma bobina de campo magnético, responsável pela indução, uma bobina para elevação de tensão e outras para aquecimento dos filamentos das lâmpadas. São comuns no mercado dois tipos de reatores: os eletromagnéticos e os eletrônicos. (Eletrobrás, 2002).

Os reatores eletrônicos apresentam inúmeras vantagens em relação aos eletromagnéticos, como por exemplo:

- Consomem menos energia, pelas pequenas perdas do circuito eletrônico;
- Não apresentam efeito estroboscópico, por trabalhar em alta frequência;
- Maior durabilidade das lâmpadas;
- Menor peso e volume, devido ao circuito eletrônico compacto e leve;
- Aquecem menos o ambiente;
- Baixa temperatura de trabalho (baixas perdas).

Para (Santamouris, 1995), os reatores eletrônicos usam apenas 47% da energia que os eletromagnéticos usariam. O consumo de um reator eletromagnético convencional para duas lâmpadas de 40W é de 25% da potência nominal destas.

Para avaliar o potencial de economia através da substituição de reatores eletromagnéticos por eletrônicos, (Santamouris, 1995) avaliou 13 edifícios. A economia verificada foi de 4% do consumo atual com iluminação com um período de retorno variando de 4 a 40 anos, com média aproximada de 10 anos.

#### **2.2.1.5. Métodos utilizados em projetos de iluminação**

Segundo (Ghisi, 1997), a escolha do método de iluminação a ser utilizado é determinada pela análise do ambiente a ser iluminado e da tarefa a ser executada. Com relação à concentração de luz necessária para a realização de determinada tarefa, os métodos de iluminação podem ser divididos em:

- Iluminação geral: propicia uniformidade de iluminância na superfície de trabalho. As luminárias são distribuídas regularmente no teto e a iluminância média deve ser igual à exigida para a tarefa;
- Iluminação localizada: é obtida através de uma concentração maior de luminárias em determinadas posições de trabalho onde se exige uma iluminância suficientemente elevada. É um sistema de uso mais restrito para ambientes de trabalho em fábricas;
- Iluminação suplementar: é aquela colocada nas posições de trabalho de forma a complementar a iluminação geral. É utilizada nos casos em que é necessária uma maior iluminância num campo de trabalho específico devido à precisão requerida para se realizar a tarefa.

Em relação aos métodos de cálculo em projetos de iluminação, os mais utilizados são:

- Método dos lúmens: É um método baseado na iluminância necessária para o desenvolvimento de uma atividade específica em um ambiente com geometria e refletâncias de teto, piso e paredes conhecidas. Consideram-se, ainda, as

características das lâmpadas e luminárias utilizadas, bem como a frequência de manutenção e limpeza dos sistemas de iluminação.

- Método ponto a ponto: baseia-se na quantidade de luz que incidirá diretamente em cada ponto do local a ser iluminado. Considera-se apenas a fonte luminosa; a reflexão (do teto, paredes e piso) não é levada em consideração.

#### **2.2.1.6. Sistemas de controle de iluminação**

Segundo (Ghisi, 1997), para se fazer uso da iluminação natural em um ambiente controlando a iluminação artificial, pode-se utilizar os seguintes métodos:

- Liga e desliga manual: A iluminação artificial é desligada manualmente sempre que a iluminância interior produzida pela luz natural for maior que a do projeto. É um sistema pouco eficiente, pois depende da boa vontade dos usuários.
- Controle manual do fluxo: Através do controle do fluxo luminoso evita-se alterações abruptas no nível de iluminação e permite melhor adaptação visual. No entanto, o controle ainda depende dos usuários.
- Liga e desliga automático: A utilização de fotocélulas constitui um sistema que desliga a iluminação artificial sempre que os níveis de iluminação natural são superiores a iluminância especificada em projeto em função das atividades desenvolvidas.
- Controle gradativo automático: o sistema de iluminação artificial é desligado de forma sucessiva à medida que os níveis de iluminação natural aumentam.
- Controle automático do fluxo: é o sistema mais eficiente, pois altera constantemente o fluxo luminoso das lâmpadas em função dos níveis de luz natural de forma a manter a iluminância do projeto. O controle pode variar de 0 a 100%.

(Epri, 1992) afirma que os sistemas de controle de iluminação podem economizar até 30% da energia consumida com iluminação de edifícios comerciais.

### 2.2.1.7. Sensores de iluminação

Nos sistemas de iluminação existe a possibilidade de se obter grandes reduções no consumo de energia com o uso de sensores de presença, sem grandes intervenções no sistema existente. Estes equipamentos são adaptáveis às luminárias instaladas num determinado compartimento e executam, com alto padrão de qualidade, a tarefa de controlar automaticamente as luminárias de determinados ambientes que apresentam frequência inconstante de pessoas e que permanecem acesas mesmo não havendo qualquer atividade sendo desempenhada.

Para mostrar o desperdício de energia elétrica em ambientes de ocupação intermitente, (Santamouris, 1995) apresenta, na tabela 2.3, a porcentagem média de tempo em que ambientes específicos são ocupados.

Ambiente	Tempo de ocupação (%)	Desperdício (%)
Salas particulares	55	45
Salas de descanso	35	65
Salas de reunião	50	50
Corredores	60	40
Salas de computação	40	60
Salas de aula	60	40
Depósitos	25	75
Salas de refeições	50	50

Tabela 2.3 - Tempo de ocupação de ambiente segundo (Santamouris, 1995).

A presença de pessoas pode ser detectada através de dois tipos de sensores:

- Sensores passivos de infravermelho: estes sensores reagem à energia do calor infravermelho emitido pelas pessoas. São considerados passivos por que apenas detectam radiação, não a emitem.

- Sensores ultra-sônicos: estes sensores ativam um cristal de quartzo que emite ondas ultra-sônicas através do espaço fazendo com que a unidade controlada perceba a frequência das ondas refletidas.

Segundo (Epri, 1993), os sensores passivos de infravermelho são extremamente sensíveis a objetos que emitem radiação em comprimento de onda em torno de  $10\mu\text{m}$ , aproximadamente o mesmo valor do comprimento de onda do calor emitido pelo corpo humano.

Segundo (Epri, 1993), os sensores ultra-sônicos operam em frequências de 25, 30 ou 40 kHz, o que os torna mais sensíveis ao movimento: o movimento de mãos é detectado a 8,5 metros, o de braço e tronco a 10 metros e de todo o corpo a 14 metros. No entanto, maior sensibilidade pode significar maior susceptibilidade a falsas detecções devido a pequenos movimentos no espaço.

#### **2.2.1.8. Fator de potência ( para sistemas com cargas lineares)**

Sistemas elétricos operando com excesso de potência reativa comprometem desnecessariamente a componente ativa. Nesse caso, é possível um melhor aproveitamento do sistema elétrico com a redução da potência reativa, que aumentará o fator de potência, possibilitando um aumento de potência ativa sem a ampliação da capacidade dos equipamentos ou circuitos elétricos, isto é, sem a necessidade de investimentos. (SEBRAE, 2001).

Alguns aparelhos elétricos, como os motores, além de consumir energia ativa, solicitam energia reativa, necessária para criar o fluxo magnético que o seu funcionamento exige. Com a relação entre esses dois valores determina-se o fator de potência médio (FP) num determinado período. (SEBRAE, 2001).

O fator de potência indica qual percentagem de potência total fornecida (kVA) é efetivamente utilizada como potência ativa (kW). Assim, o fator de potência mostra o grau de eficiência do uso da energia. (SEBRAE, 2001).

Valores altos de fator de potência (próximos de 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, além de representar sobrecarga em todo sistema elétrico, tanto do consumidor como da concessionária (SEBRAE, 2001). A cobrança do reativo excedente é um adicional aplicado pela concessionária, justificado pelo fato de que precisa manter o seu sistema elétrico com um dimensionamento maior do que o realmente necessário e investir em equipamentos corretivos apenas para suprir o excesso de energia reativa (baixo fator de potência) proveniente das instalações dos consumidores. As principais causas do baixo fator de potência são:

- Motores operando em vazio ou superdimensionados;
- Transformadores operando em vazio ou com pequenas cargas;
- Nível de tensão acima da nominal;
- Reatores eletromagnéticos de lâmpadas de descarga;
- Grande quantidade de motores de pequena potência.

A legislação pertinente (Resolução 456 da ANEEL) introduziu uma nova forma de abordagem do ajuste pelo baixo fator de potência, com os seguintes aspectos relevantes:

- Limite mínimo do fator de potência de 0,92;
- Faturamento de energia reativa excedente;
- Redução do período de avaliação do fator de potência, de mensal para horário, a partir de 1996.

O faturamento de energia e da demanda reativa excedente, quando o fator de potência verificado na unidade consumidora ficar abaixo de 0,92, será realizado da seguinte forma:

- O excedente pode ser devido ao excesso de energia reativa indutiva ou de energia capacitiva. Dessa forma, para não pagar por esse excedente, a unidade consumidora deve manter o fator de potência, durante todo o tempo, no mínimo, em 0,92, indutivo ou capacitivo.
- A energia reativa capacitiva será medida de 0h às 6h e a energia indutiva de 6h às 24h. Quando não for medida a energia reativa capacitiva, a medição da energia reativa indutiva será feita durante as 24 horas do dia.

Quando o fator de potência é baixo, surge uma série de inconvenientes elétricos para a unidade consumidora e para a concessionária.

A Resolução 456 da ANEEL estabelece que qualquer consumidor que apresente fator de potência inferior a 92% pagará excedentes no seu faturamento de energia, correspondente ao consumo de energia reativa, além do esperado. Para um melhor entendimento dessa questão, segue os seguintes conceitos:

Energia reativa (kVArh) : Energia necessária para criar o fluxo magnético exigido no funcionamento das máquinas girantes e dos transformadores de potência.

Energia ativa (kWh): Energia necessária para produzir trabalho útil. Esta energia é responsável pelo resultado esperado de uma máquina motriz. Exemplo: nos elevadores, suspender a cabine.

Fator de potência (FP): Relação existente entre a energia ativa (útil) e a energia reativa, definida da seguinte forma:

$$FP = \frac{\text{(kWh)}}{\sqrt{(\text{kWh})^2 + (\text{kVArh})^2}} \quad (2)$$

Ainda, algumas medidas podem ser consideradas com o objetivo de melhorar o fator de potência. Uma delas é utilizar equipamentos com fator de potência elevado. A indústria oferece determinados equipamentos (reatores de lâmpadas de descarga, motores, transformadores) com variados valores de fator de potência. Cabe verificar se há possibilidade de substituição dos equipamentos atuais. No caso de instalações recentes, é recomendado iniciar a operação com equipamentos existentes e providenciar as correções necessárias com capacitores. (SEBRAE, 2001).

O correto dimensionamento dos equipamentos pode ser também uma maneira de elevar o fator de potência de uma instalação. Os motores, por exemplo, apresentam um fator de potência mais elevado quando operam próximo à sua capacidade nominal. Motores superdimensionados ou motores operando em vazio provocam a diminuição do fator de potência de uma unidade consumidora. (SEBRAE, 2001).

Outra forma de elevar o fator de potência é instalar banco de capacitores. Enquanto a energia reativa indutiva provoca o atraso da corrente em relação à tensão, a energia reativa capacitiva produz efeito contrário. O fornecimento de reativo capacitivo em instalações predominantemente indutivas (regra geral) tem por consequência a elevação do fator de potência. A quantidade de reativo capacitivo necessário à elevação do fator de potência é facilmente determinada por meio da utilização de tabelas de fabricantes ou de bibliografias técnicas sobre o assunto. O valor encontrado na tabela deve ser multiplicado pela potência ativa da instalação (kW) e o resultado será a potência reativa do capacitor a ser utilizado (kVAr). (SEBRAE, 2001).

A instalação de capacitores em paralelo às cargas irá beneficiar todo o circuito antes do ponto de inserção dos capacitores, ou seja, da cabine de entrada até o ponto de inserção. Assim sendo, uma das localizações mais adequadas para a instalação dos capacitores é junto aos equipamentos consumidores, após a chave. Com essa configuração, garante-se, inclusive, que o reativo capacitivo seja desligado junto com o equipamento, quando este não

estiver em uso. Tal medida tem por finalidade evitar o excesso de capacitivo na rede, cobrado pela concessionária nos períodos do faturamento de capacitivo excessivo do sistema. Face ao elevado número de capacitores necessários, essa alternativa é normalmente pouco atraente do ponto de vista econômico. (SEBRAE, 2001).

Banco de capacitores podem ser instalados junto à cabine de medição. Essa configuração atende aos requisitos da concessionária, mas não proporciona os benefícios do alívio da carga nos circuitos internos de distribuição. Deve-se ressaltar que tal alternativa implica a necessidade de modular a entrada dos capacitores de acordo com a variação da carga, para evitar a ocorrência de excesso de capacitivo. (SEBRAE, 2001).

As alternativas para instalação de capacitores variam entre os dois extremos descritos. A situação ideal para uma determinada instalação deverá ser resultado de estudo específico, comparando-se os benefícios obtidos com os investimentos necessários. (SEBRAE, 2001).

Convém lembrar que, quando grande parte do consumo de uma instalação é devido a equipamentos não-lineares (conversores de frequência, acionadores de velocidade variável em estado sólido, acionadores em corrente contínua, controladores programáveis, fornos de indução e a arco, solda a arco), a instalação de capacitores deve ser precedida de um estudo de harmônicos. Capacitores ligados a equipamentos não-lineares podem agravar problemas de ressonância em harmônicos de ordem ímpar, distorcendo a forma de onda senoidal da alimentação (distorção harmônica) e provocando surtos de corrente nos circuitos. Quando isso acontece, provoca a abertura dos fusíveis de proteção dos capacitores, denunciando a existência de irregularidades na instalação. (SEBRAE, 2001).

#### **2.2.1.9. Integração com outros sistemas prediais**

Os sistemas de iluminação podem interagir com outros sistemas prediais de diversas formas. Algumas delas são listadas a seguir:

- Interação com o sistema de controle de presença: de modo a desligar as lâmpadas em áreas não ocupadas, minimizando o consumo de energia;
- Interação com o sistema de manutenção: gerenciando a manutenção das lâmpadas, luminárias e reatores;
- Interação com o sistema de elevadores: de modo a permitir uma iluminação satisfatória dentro das cabinas;

## **2.2.2. Sistemas de motores e de bombeamento**

### **2.2.2.1. Características**

O conjunto motor-bomba ou motor-ventilador é o último a ser selecionado em uma instalação. O conhecimento da vazão ( $Q$ ) necessária à instalação, diâmetro do tubo e perdas de carga na linha dará subsídios para a determinação da altura total de elevação ( $H$ ) no caso das bombas e para a diferença de pressão total ( $\Delta p_t$ ) no caso de ventiladores. Com esse par de valores,  $Q$  e  $H$  ou  $\Delta p_t$ , acrescido da rotação é possível selecionar o conjunto.

Para que se tenha um menor consumo possível de energia, é de fundamental importância a seleção adequada da bomba ou do ventilador, de seu motor de acionamento e do sistema de controle e acoplamento.

Com a crescente preocupação da Conservação de Energia, principalmente na área industrial, os conversores de frequência vêm alcançando uma maior aceitação no que se refere ao controle de velocidade de motores de indução para acionamentos de bombas, ventiladores, compressores, etc.

Na utilização dos conversores de frequência para o controle da rotação dos ventiladores, esse controle será feito através de um sensor de temperatura, modulando a rotação do motor de

acordo com a temperatura do ambiente (ECOLUZ, 1998). Com isso, algumas vantagens obtidas são:

- Redução do consumo de energia;
- Controle mais preciso da temperatura;
- Melhoria do fator de potência da instalação.

A eficiência do conjunto máquina/motor (acionamento motriz) depende, principalmente, do dimensionamento correto do motor para o tipo de acionamento a que é destinado, ou seja, a potência extraída pela carga deve estar próxima da potência nominal (de placa) do motor. Isto se deve às características do motor, que é projetado para obter o melhor rendimento nas condições nominais de operação, o mesmo ocorrendo com o seu fator de potência. O superdimensionamento de motores é fato comum, principalmente pelo desconhecimento das características da carga, que obriga os projetistas a utilizarem fatores de segurança elevados (SEBRAE, 2001).

Também interferem na eficiência de acionamento as condições de acoplamento entre motor e carga. O desalinhamento, a falta de correias e a má conservação contribuem para uma solicitação maior do motor e, conseqüentemente, para que ele, em alguns casos, opere acima da capacidade nominal (SEBRAE, 2001).

As condições ambientais de temperatura e umidade também influenciam, de forma significativa, o desempenho e a vida útil dos motores. A umidade contribui para acelerar a deterioração do isolamento e a operação em temperaturas elevadas, no pior caso, leva à queima do motor (SEBRAE, 2001).

Quando o regime de funcionamento do motor é muito variável, o ajustamento pode ser obtido, por exemplo, com a instalação de um dispositivo eletrônico de variação de velocidade. Outras possibilidades a explorar são os motores com perdas reduzidas, cuja

utilização pode conduzir a economias significativas. O rendimento de um motor é a relação entre a potência mecânica fornecida no seu eixo e a potência elétrica que consome.

Os motores devem ser instalados em locais que favoreçam a dissipação do calor gerado na sua operação, pois tanto sua vida útil como seu rendimento dependem da temperatura em que funcionam. (SEBRAE, 2001).

#### **2.2.2.2. Rendimento**

Em relação à avaliação da adequação de força motriz deve-se medir ou estimar o rendimento do motor elétrico na condição de carga. A medida direta do rendimento de motores em funcionamento nem sempre é uma tarefa simples, isso se deve à necessidade de equipamentos caros e sofisticados como células de carga e bancadas de teste específicas. Geralmente, a avaliação do rendimento é feita de forma indireta. Dentre os parâmetros que podem ser considerados para a adequação de força motriz citam-se: (i) potência de entrada; (ii) corrente; (iii) escorregamento; e (iv) fator de potência. Nestes casos, a avaliação do índice de carregamento e por consequência do rendimento é feita por meio das curvas características dos motores.

A figura 2.1 mostra a avaliação do rendimento de um motor elétrico feita pelo método indireto. Neste caso, o carregamento dos motores foi estimado pela curva característica de corrente, utilizando-se como dados de entrada as médias aritméticas e geométricas das correntes lidas em cada uma das fases. Já os rendimentos dos motores foram obtidos a partir dos valores de carregamento estimados na curva característica de rendimento.

Inicialmente, calculou-se a curva da potência elétrica útil dos motores em função do índice de carregamento, considerando-se as curvas características de rendimento. Isto se deve ao fato de que a curva característica de rendimento dos motores elétricos é geralmente elaborada considerando-se a relação rendimento versus índice de carregamento. E não rendimento versus potência elétrica útil. Depois, foram calculados, tanto os rendimentos,

quanto os índices de carregamento para os valores de potências máximas, médias e mínimas medidas em cada uma das fases (CEMIG, 1996).

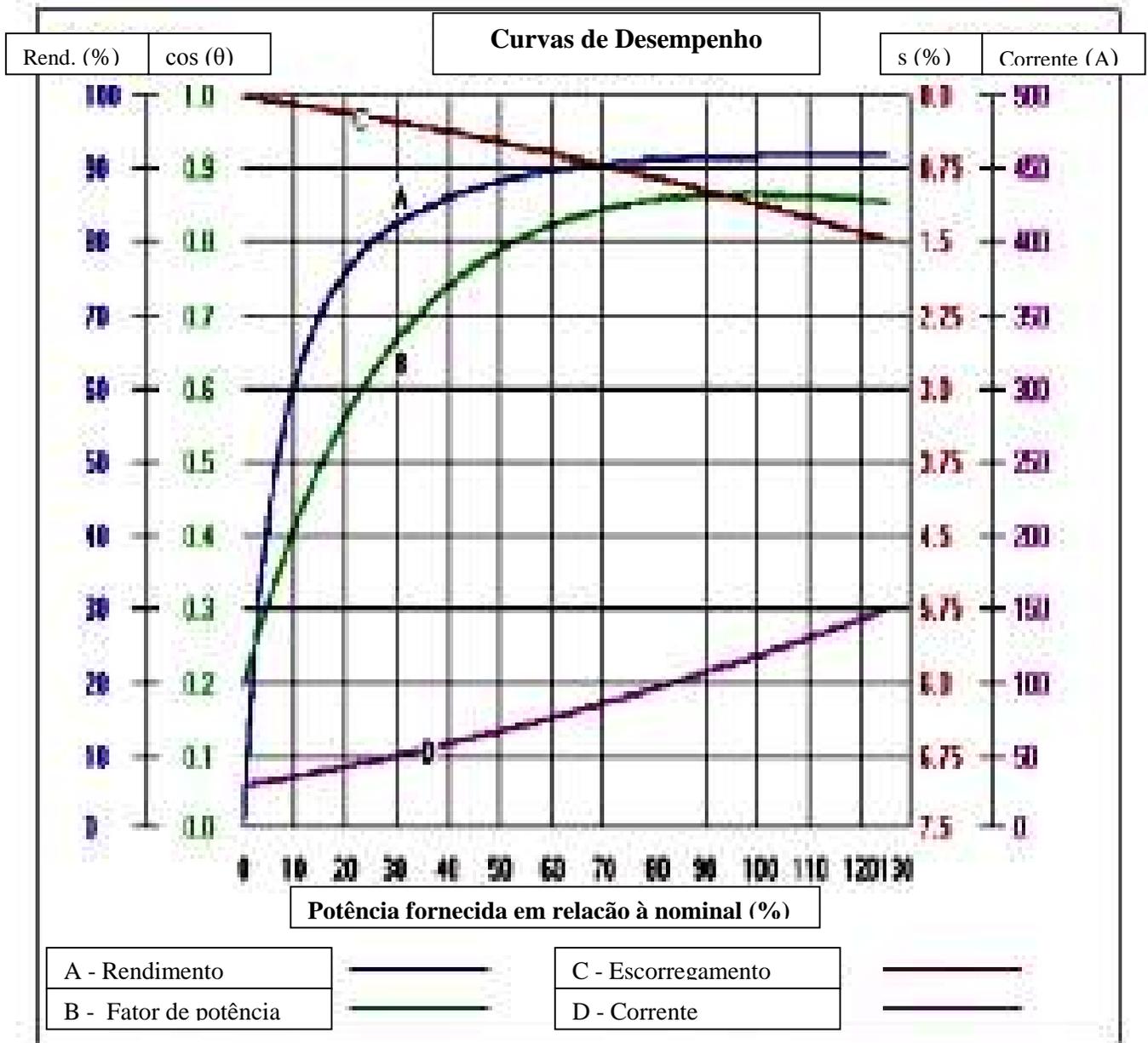


Figura 2.1 - Curva característica de desempenho de um motor trifásico de 10 cv 2 pólos “standard”.

### **2.2.2.3. Integração com outros sistemas prediais**

Os sistemas de motores podem interagir com outros sistemas prediais em edifícios inteligentes, como o sistema de elevadores e o sistema de bombas d'água e condicionadores, de forma a permitir o seu correto funcionamento.

## **2.2.3. Sistema de ar condicionado**

### **2.2.3.1. Introdução**

O sistema de ar condicionado consome parte significativa da energia elétrica das concessionárias, seja no congelamento e conservação de alimentos, na refrigeração de bebidas, ou seja na climatização de edifícios, shopping centers, hospitais, igrejas, residências e outros. Assim, a escolha de sistemas adequados a cada situação, o uso de equipamentos mais eficientes, o uso da termoacumulação para redução da demanda bem como para o deslocamento da carga elétrica para fora do horário de ponta podem contribuir bastante para a conservação de energia.

Uma alternativa viável para esses sistemas, que em alguns casos atravessam todo o horário de ponta em funcionamento, é a utilização de sistema de armazenamento térmico para interromper a produção de água gelada durante o horário de ponta, utilizando água resfriada produzida e armazenada em horário onde a tarifa de energia é reduzida (ECOLUZ, 1998).

O sistema de ar condicionado tem grande participação no consumo de energia elétrica do setor comercial e de serviços e apresenta significativas possibilidades de economia. O potencial de economia deverá ser determinado a partir do tipo de instalação: individual (sistema de aparelhos de janela), semicentralizado (sistema tipo self-contained) e centralizado (sistema central).

### **2.2.3.2. Conforto térmico**

Na maioria das vezes, o objetivo que leva à instalação de ar condicionado é dar ao homem um ambiente mais propício a seu bem-estar. Por outro lado, trata-se de um meio válido de defesa contra infecções e contra a poluição do ar dos grandes aglomerados humanos em recintos fechados. Nas indústrias, é um fator para aumento da produção, através de maior rendimento dos trabalhadores, colocados num meio mais confortável.

O sistema de ar condicionado para edifícios inteligentes tem como finalidade básica atender aos requisitos de conforto térmico dos usuários, propiciando um ambiente que favoreça a criatividade, a produtividade e a troca de informações, bem como a saúde física e mental destes.

Deste modo, o desempenho durante qualquer atividade física ou mental pode ser otimizado, desde que o ambiente propicie condições de conforto, sendo esse o objetivo primeiro dos sistemas de controle ambiental. (Jabardo, 1984).

Devido a crescente urbanização e industrialização da sociedade, as pessoas estão despendendo cada vez mais tempo em ambientes interiores, climatizados artificialmente através de sistemas de ar condicionado. Neste contexto, a principal finalidade do sistema de ar condicionado é o conforto térmico. (Fanger,1986).

De acordo com a norma ASHRAE 55-64, “conforto térmico” para uma pessoa pode ser definido como a “satisfação com o ambiente térmico onde ela se encontra”, que significa que a pessoa em questão não prefere um ambiente mais frio ou mais quente (Fanger, 1972).

No organismo dos animais superiores - e, em particular, no organismo humano - ocorre uma série de transformações químicas mediante as quais o alimento ingerido é convertido em energia térmica e mecânica. Essa produção de calor depende de muitos fatores. Um deles é a

troca constante de calor entre o corpo e o ambiente. Essa troca depende das condições do ar em que o corpo se acha imerso, variando com a diferença de temperatura entre a superfície do corpo e o ambiente, com a ventilação, etc.

O homem experimenta a sensação de conforto térmico quando, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, está em equilíbrio térmico, ou seja, perde para o ambiente a mesma quantidade de calor produzida pelo seu metabolismo. A termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda da potencialidade de trabalho. (Frota & Schiffer, 1988).

Por condicionamento do ar entende-se um conjunto de tratamentos do ar que vai penetrar em determinado local, conferindo-lhe certas condições de temperatura e umidade.

Os fatores que influenciam o estado do ar são a temperatura, a umidade e a ventilação. Os três não são independentes; eles interagem de tal modo que, no condicionamento do ar, a variação de um deve ser compensada com a variação apropriada dos outros dois, para que o organismo esteja sempre em estado de suficiente conforto.

### **2.2.3.3. Princípio de funcionamento**

O princípio de funcionamento dos sistemas de ar condicionado não varia substancialmente de um tipo para outro, desde os pequenos até os grandes. Nos sistemas maiores existem vários estágios. No entanto, as instalações nem sempre incluem todos os componentes que, nas unidades menores, são combinados numa caixa.

Inicialmente, o ar entra numa seção, onde se mistura com o ar reciclado do próprio ambiente, pois é necessária apenas uma certa proporção de ar fresco. Em seguida, o ar misturado passa através de seção de filtragem que poderá ter duas etapas. A primeira retira a poeira grossa, por meio de um material fibroso, geralmente a lã de vidro, na forma de tela, que é substituída

quando suja. A seguir, o filtro do segundo estágio, que é geralmente do tipo eletrostático, remove as partículas mais finas, como as de fumaça de cigarro. Nesse filtro usa-se uma voltagem alta para carregar eletricamente as partículas de poeira, que então são atraídas para uma grelha de chapas carregadas com polaridade oposta. Ao passar através de dois conjuntos de tubulações, o ar tem sua temperatura controlada. Por um deles circula água quente ou vapor, e pelo outro água gelada ou um fluido refrigerante.

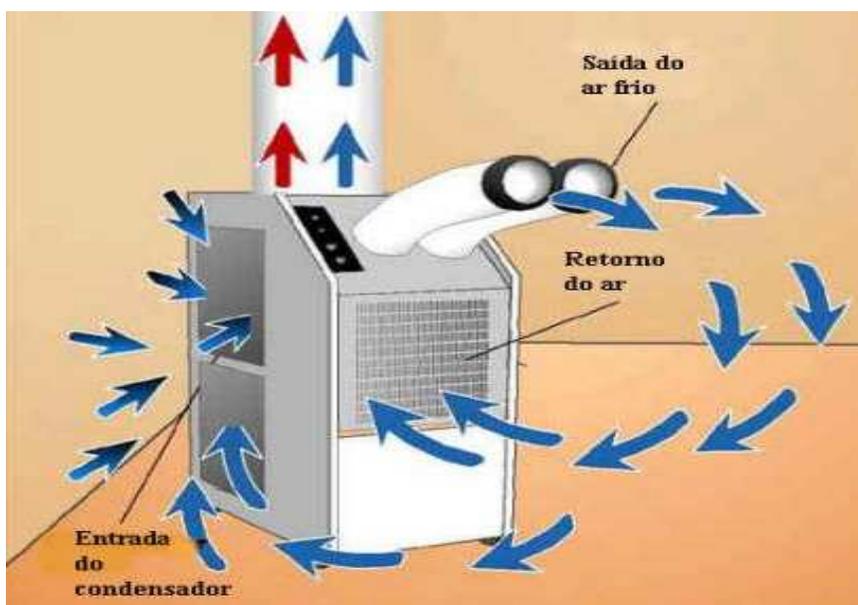


Figura 2.2 - Princípio de funcionamento do sistema de ar condicionado.

Dentro da área que deve ser ventilada existe um sensor de temperatura que é ajustado ao valor desejado. A diferença entre a temperatura pretendida e a do ambiente determina automaticamente se serão usados os tubos de aquecimento ou de refrigeração. O estágio seguinte é o filtro de odor, feito de carvão ativado, uma substância capaz de absorver as moléculas de odor existentes no ar. O carvão tem que ser reativado periodicamente, por meio de aquecimento, para expulsar o material absorvido.

A umidade desejada é produzida pela injeção, no ar, de vapor ou de finíssimas gotículas de água, por um vaporizador. Isso também é controlado por um sensor, situado dentro do ambiente. No caso de umidade excessiva, o método usual é fazer com que o ar seja esfriado e depois reaquecido, se necessário, no estágio de controle de temperatura, para que a umidade se condense nos tubos de refrigeração.

Do menor ao maior sistema, os mesmos princípios são usados. As unidades para um ambiente pequeno contêm um simples filtro lavável, um compressor de refrigeração e um aquecedor elétrico de ar. Nos ambientes maiores, usam-se unidades mais potentes e, freqüentemente, a seção de refrigeração (compressor e condensador) é colocada fora do edifício.

#### **2.2.3.4. Integração com outros sistemas prediais**

Através da integração do sistema de ar condicionado com outros sistemas, variações de carga térmica com entrada de pessoas, início de funcionamento de equipamentos ou acionamento da iluminação, podem ser programadas, previstas e/ou detectadas e adequadamente tratadas pelo sistema de ar condicionado em tempo efetivamente menor, diminuindo o atraso do sistema e aumentando o conforto térmico do usuário. (Villani, 2000).

(Villani, 2000) cita a integração do sistema de ar condicionado com os seguintes sistemas:

- Sistema de controle de presença: de modo a reduzir ou desligar o ar condicionado em áreas não ocupadas, minimizando o consumo de energia.
- Sistema de manutenção: para o gerenciamento da manutenção dos equipamentos do sistema de ar condicionado.
- Sistemas de comunicação: para obtenção de previsões do tempo que possam auxiliar no controle de equipamentos de produção de água gelada ou quente.

## **2.2.4. Sistema de Elevadores**

### **2.2.4.1. Introdução**

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

Vitrúvio, arquiteto romano do século I A.C., fez a primeira descrição desse equipamento - uma cabina suspensa em poço vertical, movida por tração humana, animal ou hidráulica, com o auxílio de um contrapeso para elevar pessoas ou cargas.

Na metade do século XIX, o americano E.G. Otis introduziu no elevador, movido a vapor, o uso do sarilho - cilindro horizontal onde o cabo é enrolado e tracionado.

Os elevadores consistem basicamente num carro fechado, equilibrado por um contrapeso, que se move por meio de um cabo de aço impulsionado por um motor.

Embora a introdução de novos materiais (plásticos e aço inoxidável, por exemplo) tenha modificado a aparência externa dos elevadores, o sistema básico de deslocamento sofreu poucas alterações nas últimas décadas. O sistema de controle, ao contrário, alterou-se profundamente desde os tempos em que uma corda numa polia fazia atuar uma válvula de pressão ou movia uma barra deslizante através dos contatos do painel de controle. Botões no carro e nos andares, aceleração e desaceleração automáticas e a necessidade de maior velocidade de deslocamento conduziram aos sistemas unificados de controle, capazes de prover serviços mais rápidos com um número mínimo de carros.

Neste contexto e considerando a importância que tem os sistemas de elevadores nos edifícios ao contribuir para alcançar seus objetivos, é evidente que seu projeto e operação necessitam de uma análise que permita selecionar alternativas ótimas de projeto e operação de forma a reduzir tempo e custos envolvidos.

#### 2.2.4.2. Princípio de funcionamento

Num sistema de tração, a cabina do elevador é sustentada no poço por vários cabos de aço, usando-se normalmente duas polias e um contrapeso. Os pesos do próprio elevador e do contrapeso fazem com que exista uma tração entre as polias e os cabos de aço. Assim, as polias movem os cabos de aço sem deslizamento excessivo (Eletrobrás, 2002).

Normalmente, o contrapeso é equivalente ao peso do carro vazio mais cerca de 40% de sua carga máxima. O contrapeso reduz a força necessária para elevar o carro, fornecendo também uma certa desaceleração que serve para auxiliar o controle da velocidade na descida.

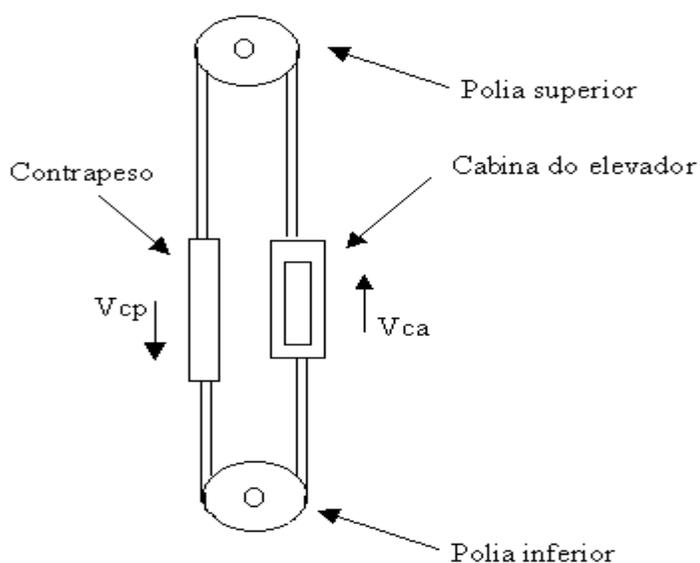


Figura 2.3 – Princípio de funcionamento do sistema de elevador.

Em transportes verticais, podem ser encontrados basicamente três faixas de correntes (Eletrobrás, 2001):

- A mais alta, quando os elevadores estão descendo com a sua cabina vazia, pois terão que arrastar seu contrapeso para cima e este é sempre dimensionado para equilibrar-se com a cabina em sua capacidade máxima.
- A segunda corrente seria uma média dos elevadores descendo e subindo com pessoas na cabina.
- A mais baixa seria quando o elevador sobe sem nenhuma carga no interior da cabina.

Porém, uma das características mais importantes no funcionamento de um elevador é o sistema de segurança. Em circunstâncias normais, a velocidade é controlada por um regulador, através de chaves que atuam sobre o motor e os circuitos de freio. Quando a velocidade de descida de um carro excede o limite predeterminado, os braços de frenagem (ativados por um cabo conectado a uma unidade reguladora na máquina de enrolamento) são postos em contato com os trilhos de orientação, retardando o movimento de maneira segura, até parar o carro. Além disso, em todos os poços de elevador existe um conjunto de amortecedores hidráulicos ou de molas para reduzir os efeitos de uma eventual queda do carro.

Segundo (Gustin,1999), o funcionamento especificado destes sistemas é geralmente determinado pela natureza da demanda de transporte do edifício, a qual pode ser atendida utilizando diferentes métodos visando a otimização do desempenho do sistema tanto quantitativamente como qualitativamente.

#### **2.2.4.3. Integração com outros sistemas prediais**

O sistema de elevadores pode interagir com os sistemas prediais de diversas formas. Segundo (Gustin,1999), as interações mais comuns são :

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

## Capítulo 3

### 3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

Um conjunto bastante amplo de atividades está presente no estudo de sistemas prediais, e varia de acordo com a finalidade e o tipo de projeto a ser desenvolvido. Tal fato implica na existência de diversas metodologias de análise destes sistemas, cada qual com suas peculiaridades necessárias à determinação correta das estratégias de operação a serem realizadas.

Além disso, a metodologia para os sistemas estudados no capítulo anterior deve levar em consideração a sua integração com outros sistemas e será dividida em duas partes, descritas a seguir:

- Metodologia para os sistemas de iluminação, motores e ar condicionado;
- Metodologia para o sistema de elevadores

Como a modelagem a ser desenvolvida para os elevadores é um pouco mais complexa do que os outros sistemas, pois será necessária a definição de um sistema de prioridades, optou-se em analisá-lo separadamente.

#### 3.1. METODOLOGIA PARA OS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO, MOTORES E AR CONDICIONADO

Na figura 3.1, são apresentadas as etapas para a metodologia dos sistemas de iluminação, motores e ar condicionado.

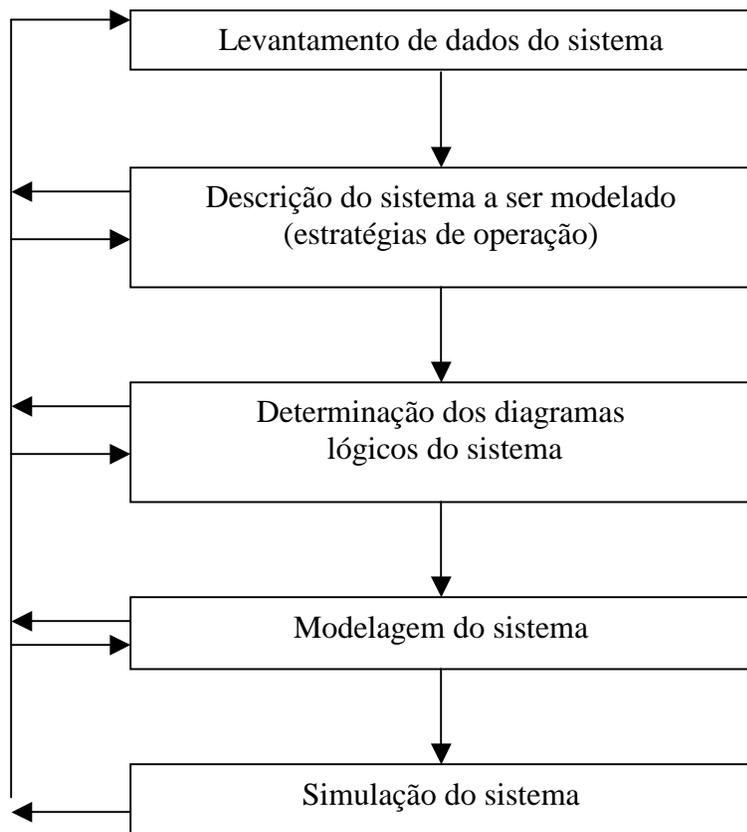


Figura 3.1 - Metodologia proposta para os sistemas de iluminação, motores e ar condicionado.

### **Primeira etapa: Levantamento de dados do sistema**

Para esta fase, é importante manter contato com o pessoal de manutenção ou alguém que conheça bem o sistema a ser modelado, de forma a obter dados que possam contribuir para esta primeira parte do projeto.

Segundo (Gustin,1999), nesta etapa procura-se conhecer o sistema através do levantamento das informações deste, as quais servem também como um meio para realizar uma análise preliminar e identificar os dados relevantes ao sistema, pertinentes para a modelagem do

mesmo e que permitam caracterizar os elementos deste a nível quantitativo, tanto para o caso de um edifício já construído ou em fase de projeto. A consecução das informações pode ser realizada através das visitas ao sistema, além da revisão da documentação existente como relatórios, plantas e manuais técnicos.

Nesta primeira etapa as seguintes informações são importantes para o prédio já construído:

#### 1) INFORMAÇÕES DO PRÉDIO

- Funções desempenhadas em seu interior (hospital, shopping, escolas, universidades, etc.);
- Número de pavimentos;
- Área construída;
- Tipos de usuários;
- Configuração do edifício;
- Existência de gerador elétrico;
- Existência de Sistema de Gerenciamento do Prédio (SGP).

#### 2) INFORMAÇÕES DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

- Tipo de atividade a ser desenvolvida;
- Período de funcionamento;
- Tipo de lâmpadas, luminárias e reatores utilizados;
- Estratégias utilizadas;
- Tipo de controle instalado.

### 3) INFORMAÇÕES DO SISTEMA DE MOTORES E BOMBEAMENTO

- Tipo de motor elétrico instalado;
- Condições ambientais em que os motores atuam (analisar se essas condições, de alguma forma, influenciam no seu rendimento);
- Período de funcionamento dos motores elétricos e das bombas d'água;
- Potência das bombas d'água;
- Estratégias utilizadas para os motores e sistemas de bombeamento;

### 4) INFORMAÇÕES DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

- Tipos de aparelho utilizados;
- Temperatura média do ambiente;
- Potência dos equipamentos;
- Estratégias utilizadas para os aparelhos de ar condicionado;
- Tipo de controle instalado.

## **Segunda etapa: Descrição do sistema a ser modelado**

### 1) DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Na descrição do sistema, é importante analisar a possibilidade de instalar alguns equipamentos que possam contribuir para reduções significativas no consumo de energia, como sensores de iluminação, permitindo que as lâmpadas só permaneçam acesas na presença de pessoas.

Nesta etapa, também é importante verificar se é possível o aproveitamento da iluminação natural nas salas de aula além de analisar se os sistemas de iluminação (lâmpadas, luminárias e reatores) podem ser substituídos por outros mais modernos e eficientes.

## 2) DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MOTORES E BOMBEAMENTO

No caso dos motores, é importante analisar a utilização dos conversores de frequência para controlar a rotação dos ventiladores de forma eficiente, além de observar se os motores são superdimensionados e se operam acima ou abaixo da capacidade nominal.

Além disso, é necessário verificar se os motores, tanto das bombas como dos elevadores, são antigos e de baixo rendimento. Se isso ocorrer, deve-se estudar a possibilidade de utilização de motores modernos e de alto rendimento, para se obter uma elevação do rendimento e uma redução do consumo.

No caso dos sistemas de bombeamento, a primeira providência deve ser a verificação da compatibilidade do conjunto motor-bomba já instalado com as reais necessidades de vazão e da altura manométrica do sistema. Por exemplo, se a vazão estiver muito alta, enchendo rapidamente o reservatório superior, e se este tempo puder ser aumentado, pode-se optar pela substituição da bomba existente por outra de menor potência. Apesar da nova bomba ficar ligada mais tempo devido à redução da vazão, o consumo final e a demanda de energia elétrica sofrerão uma redução significativa. (Eletrobrás, 2002).

Ainda, na descrição do sistema, no caso dos sistemas de bombeamento, deve-se analisar a possibilidade de controlar a vazão e/ou pressão. Tradicionalmente este controle é efetuado através de válvulas de estrangulamento, onde a abertura e o fechamento são responsáveis pelo controle. Isto faz com que as perdas de energia no sistema como um todo aumentem, e serão maiores quanto maior for o percentual de fechamento da válvula. Para esses casos, existem os conversores de frequência, capazes de realizar este controle com uma significativa economia de energia. O conversor de frequência atua na velocidade de rotação do conjunto motor-bomba, promovendo o controle da vazão e/ou pressão sem a necessidade de válvulas de estrangulamento (Eletrobrás, 2002).

### 3) DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

Nesta etapa é importante analisar a possibilidade de instalar alguns equipamentos que possam controlar a temperatura e a umidade de forma satisfatória, além de definir algumas estratégias de operação que visem tornar o sistema inteligente.

Na definição das estratégias, é interessante que ocorra uma integração do sistema de ar condicionado com outros sistemas, como, por exemplo, no caso de incêndio. Nesta hipótese, quando fosse acionado o detector de fumaça, o sistema de ar condicionado evitaria que a fumaça fosse levada para outras zonas mostrando, assim, sua perfeita integração com o sistema de gerenciamento contra incêndio.

Segundo (Villani, 2000), após a definição das estratégias deve-se definir quais dos seguintes aspectos desejam-se analisar:

- Influência da estratégia sobre o ambiente, ou seja, como evoluem as propriedades relacionadas ao conforto térmico, como temperatura, umidade, etc., uma vez que a estratégia é inserida no sistema de gerenciamento do ar condicionado.
- Influência da estratégia sobre o ar condicionado, ou seja, como evoluem as propriedades dos fluxos de ar e/ou água, como vazão, temperatura, etc. e/ou como evoluem os estados dos equipamentos uma vez que a estratégia é inserida no sistema de gerenciamento do ar condicionado.
- Influência da estratégia sobre o sistema de gerenciamento, ou seja, como evolui o sistema de gerenciamento do ar condicionado quando a estratégia é inserida.
- Influência da estratégia sobre outros sistemas do edifício, ou seja, qual o efeito sobre outros sistemas das modificações do ambiente e do sistema de ar condicionado gerada pela estratégia no sistema de gerenciamento do ar condicionado.

### **Terceira etapa: Determinação dos diagramas lógicos do sistema**

Existem várias definições de diagrama lógico e algumas são listadas a seguir:

- Esquema que mostra as conexões entre os circuitos lógicos do computador, especificando as saídas esperadas para cada conjunto específico de sinais de entrada.
- Descrição formal de uma função, fluxograma de programas ou diagrama de blocos.
- Maneira alternativa de representar algoritmos, muito utilizada em palestras e reuniões. O fluxograma é formado por figuras geométricas, ligadas por setas, sendo que cada estrutura corresponde a um tipo de figura.
- Coleção de blocos interligados por setas, na qual as setas são formadas por sinais e onde cada bloco representa um sistema com um sinal de entrada e um sinal de saída.
- Esquema de funcionamento através do qual se representam as condições do sistema de uma forma mais compacta, em que o mesmo é dividido em eventos ou passos. A concatenação desses passos ocorre na seqüência definida pelo processo. ( Moraes & Castrucci , 2001).

De uma forma geral, os diagramas lógicos ilustram como cada ajuste, parâmetro de entrada e lógica interna são usados numa característica para obter uma saída.

Quando se desenvolve um projeto de automação, um conjunto de fluxogramas padronizados deve ser mantido atualizado, para facilitar a compreensão do sistema proposto. Esses gráficos podem ser úteis no entendimento dos ciclos operacionais a fim de tomada de decisões, como por exemplo, a implantação de novos sistemas informatizados.

Segundo (Martinelli, 2002), um método padronizado de fluxograma é a maneira mais concisa de registrarmos a nossa revisão do sistema. Não só permite uma visão geral, como também uma documentação eficiente e detalhada do exame desse sistema. Além disso, o fluxograma é o instrumento mais eficiente para fazer a própria análise. Os fluxogramas

mostram claramente o que está acontecendo e oferecem um método fácil de localização de fraquezas no sistema ou áreas onde poderiam ser introduzidas melhorias.

Algumas recomendações são importantes na preparação dos fluxogramas e são listadas a seguir:

- Os fluxogramas devem ser claros, concisos, logicamente dispostos e sem ambigüidades;
- O sistema pode ser, se necessário, dividido entre vários fluxogramas de maneira mais lógica possível para facilitar o entendimento;
- O fluxograma deve ser o mais simples e o mais direto possível, evitando disposições que levem o leitor através de uma floresta de traços e setas;
- Procurar não utilizar símbolos especiais ou gostos pessoais, que destruirão as vantagens de uma linguagem padrão;
- Devem-se evitar detalhes excessivos, mas assegurar-se de cobrir todos os pontos importantes de controle.

#### **Quarta etapa: Modelagem do sistema**

A modelagem a ser desenvolvida para os sistemas em questão será baseada nas Redes de Petri. Este modelo foi introduzido por Carl Adam Petri em sua tese de doutorado (1962) e pode ser descrito como uma ferramenta gráfica e algébrica que apresenta um bom nível de abstração em comparação com outros modelos gráficos.

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. Desta forma, 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 (Zuruwaski & Zhou, 1994).

A aplicação das Redes de Petri tem se estendido a uma grande quantidade e variedade de sistemas. Os principais sistemas onde é aplicada esta técnica são: sistemas de comunicações, sistemas de software, sistemas de processamento de informação, além das aplicações em modelagem, simulação e seqüenciação de sistemas flexíveis de manufatura. Mais recentemente tem sido aplicada também nos sistemas prediais. (Gomez, 1997).

Em (Hasegawa, 1996), destacam-se as seguintes características e vantagens deste modelo:

- 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 Sistemas a Eventos Discretos (sincronização, assincronismo, concorrência, causalidade, conflito, compartilhamento de recursos, etc.);
- Associa elementos de diferentes significados numa mesma representação, ou segundo o propósito do modelo (avaliação de desempenho, implementação do controle, etc.);
- Oferece um formalismo gráfico que permite a documentação e monitoração do sistema, facilitando assim o diálogo entre o projetista e as pessoas que participam no processo de projeto ou de análise do comportamento do sistema (projetista, operador, gerente, etc.);
- Constitui-se como uma teoria muito bem fundamentada para a verificação de propriedades qualitativas;
- Possui uma semântica formal e precisa que permita que o mesmo modelo possa ser utilizado tanto para a análise de propriedades comportamentais (análise quantitativa e/ou qualitativa) e avaliação do desempenho, assim como para a construção de simuladores a eventos discretos e controladores (para implementar ou gerar códigos
-

para controle de sistemas). Além de servir para verificar comportamentos indesejáveis como bloqueio, limitação, etc.

- Incorpora conceitos de modelagem do tipo refinamento (“top down”) e do tipo composição modular (“bottom up”) através de técnicas como: modularização, reutilização, refinamento, etc.

Assim, a Rede de Petri constitui-se como uma poderosa ferramenta para a modelagem e análise de sistemas a eventos discretos. Entretanto, na modelagem de sistemas complexos e com diferentes níveis de abstração se evidencia um ponto fraco em uma de suas principais características: sua visualização gráfica. Desta maneira, verifica-se que é adequado que a modelagem inicial seja realizada utilizando interpretações não formais e, a partir deste modelo, seja conduzido um detalhamento gradativo e com interpretações formais. (Gustin, 1999).

### **Quinta etapa: Simulação do sistema**

Os sistemas de iluminação, motores e ar condicionado funcionarão à base de um Controlador Lógico Programável (CLP), que receberá as informações provenientes do Sistema de Gerenciamento do Prédio (SGP) e, a partir daí, irá executar as estratégias necessárias para controlar estes sistemas de forma eficiente.

As linguagens de programação mais utilizadas em CLP's são:

- Linguagem de Diagrama Seqüencial;
- Linguagem de Diagrama de Blocos;
- Linguagem de Diagrama de Contatos;

Na Linguagem de Diagrama Seqüencial, representam-se, em seqüência, graficamente, as etapas do programa. Permite uma visualização objetiva e rápida da operação e do desenvolvimento da automação implementada. É uma linguagem gráfica que se originou das Redes de Petri (Castrucci & Moraes, 2001).

A Linguagem de Diagrama de Blocos é uma linguagem de programação gráfica, também bastante conveniente para programar controladores programáveis. Pelo fato de ser de alto nível e de ser bastante familiar para os engenheiros de indústrias de controle de processos, sua utilização é muito difundida. (Castrucci & Moraes, 2001).

A Linguagem de Diagrama de Contatos é também conhecida como diagrama de relés, diagrama escada ou diagrama ladder. Esta forma gráfica de apresentação está muito próxima a normalmente usada em diagramas elétricos.

Para que a metodologia proposta seja confiável e apresente resultados satisfatórios, a modelagem de Redes de Petri construída deverá ser simulada para todas as possíveis situações em diagrama ladder (ou do simulador da própria Rede de Petri em questão), ou seja, para todas as possíveis seqüências de eventos discretos.

### **3.2. METODOLOGIA PARA OS SISTEMAS DE ELEVADORES**

Segundo (Gustin, 1999), a metodologia a ser considerada deve auxiliar e orientar adequadamente o projeto de sistema de elevadores na medida que deve fornecer o suporte necessário para o desenvolvimento dos modelos deste sistema, considerando uma eficiente integração entre este e outros sistemas prediais em edifícios inteligentes (sejam edifícios a serem construídos, onde já se têm definidos os parâmetros iniciais necessários para a instalação do sistema de elevadores ou para tornar inteligente um prédio convencional). Portanto, esta metodologia deve organizar e estruturar as etapas de trabalho

em forma sistemática com a finalidade de auxiliar no projeto destes sistemas, outorgando suporte adequado à flexibilidade do sistema que esta classe de edifícios deve apresentar.

Na figura 3.2., são apresentadas as etapas da metodologia para o sistema de elevadores.

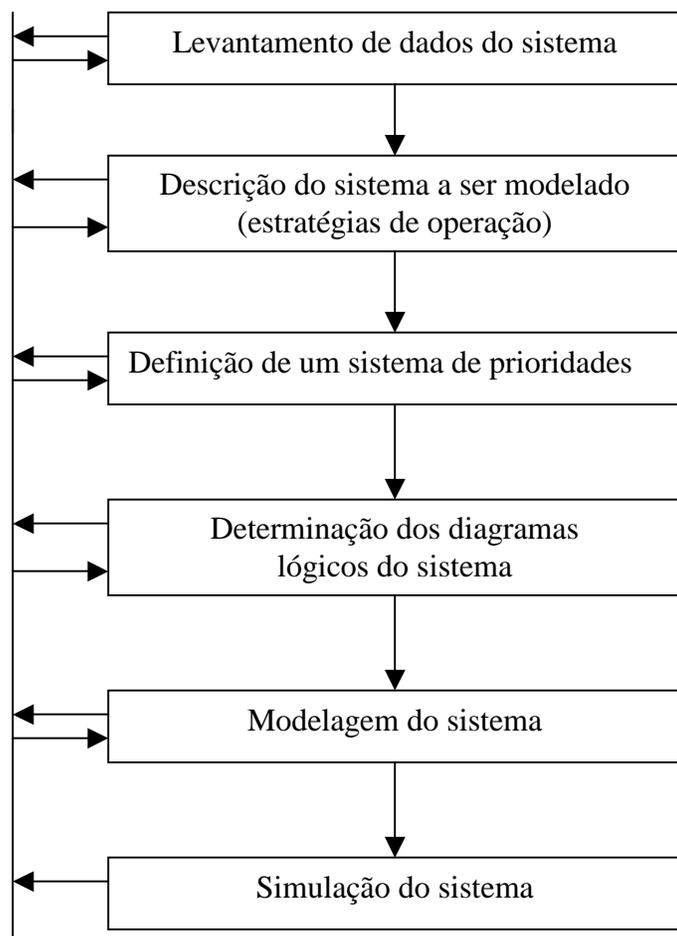


Figura 3.2 - Metodologia proposta para o sistema de elevadores.

### **Primeira etapa: Levantamento de dados do sistema**

Nesta primeira etapa, o principal objetivo é conhecer as principais características do sistema do prédio em estudo e, além disso, verificar se os elevadores atuam em grupo ou

independente uns dos outros. Ainda, é interessante analisar se este sistema atende aos usuários de forma satisfatória, sem ocasionar transtornos nos horários de pico.

As informações mais importantes são:

- Número de elevadores e tipo de usuário que os utiliza;
- Tipo de serviço prestado por cada elevador (uso geral, serviço, manutenção);
- Distribuição dos elevadores;
- Capacidade de cada elevador;
- Estratégias utilizadas para os elevadores;
- Tipo de controle instalado;
- Tipo de acionamento principal do elevador (hidráulico, elétrico).

### **Segunda etapa: Descrição do sistema**

Segundo (Gustin, 1999), é nesta etapa que as informações levantadas são analisadas e é avaliada a validade e viabilidade técnica do atendimento das necessidades do pessoal envolvido com o sistema, considerando as normas relacionadas com os sistemas de elevadores e o tipo e função do prédio onde são instalados, além da tecnologia disponível, para se obter uma definição mais precisa do que é requerido para este.

Existe a possibilidade de eliminar alguns dados obtidos na etapa anterior, isso no caso de algumas informações serem duvidosas e apresentarem algum tipo de contradição.

Ao descrever o sistema, é importante analisar a possibilidade de instalar alguns equipamentos que possam tornar o elevador inteligente, como, por exemplo, verificar se é necessária a instalação de um conversor de frequência para controlar a velocidade do elevador ou de um sensor para controlar a abertura e o fechamento das portas.

Nos prédios que possuem dois ou mais elevadores, é importante verificar a possibilidade de desligar um dos elevadores em um horário onde o fluxo de cargas ou de passageiros seja pequeno, de forma a permitir um menor consumo de energia.

Em alguns casos, os elevadores transportam, em muitos percursos, além da sua capacidade máxima admitida. Portanto, uma medida importante a ser considerada seria estudar a possibilidade de instalar alguns equipamentos (detector de carga ou alarme de emergência) para acusar o excesso de carga no elevador, pois a sobrecarga do sistema causa fadiga no motor elétrico, podendo reduzir a sua vida útil, além de provocar aumento no consumo de energia.

Ainda, nesta fase, pode-se também delinear algumas estratégias de operação, como, por exemplo, definir qual o procedimento mais adequado no caso de incêndio ou na possibilidade de falta de energia do prédio.

Num prédio que tenha mais de um elevador, pode-se fazer um estudo dos horários de funcionamento do equipamento, com o objetivo de verificar em quais intervalos de tempo o elevador é menos acionado pelos passageiros. Com isso, poderá ser ou não viável a possibilidade de desligar um dos elevadores.

Essa etapa é, com certeza, a mais importante do projeto, pois é a partir da descrição que serão desenvolvidos os modelos que representam a dinâmica do sistema.

Segundo (Gustin,1999), uma vez que o sistema de elevadores tenha sido definido, a concepção de modelos como técnica de descrição formal permite a organização do conhecimento, facilita a comunicação entre diferentes pessoas, detecta erros e permite determinar a validade dos requerimentos levantados, tornando mais fácil e objetiva a especificação do comportamento do sistema.

### **Terceira etapa: Definição de um sistema de prioridades**

É muito comum em prédios que possuem um ou mais elevadores reclamações constantes de usuários que se mostram insatisfeitos com o tempo que esperam pela chegada do elevador.

Neste caso, a definição de um sistema de prioridades poderá influenciar de forma significativa no atendimento dos passageiros.

Num sistema de prioridades, a principal característica a ser levada em consideração não é o premido do botão de pavimento ou do botão da cabina, e sim o sentido de movimento do elevador. Por isso, antes deste sistema ser definido é recomendável que sejam delineadas estratégias de pico de subida e descida.

O principal objetivo do sistema de prioridades é solucionar possíveis transtornos que ocorrem nos casos em que o elevador recebe mais de uma chamada simultaneamente. Então, a melhor alternativa seria atender as chamadas que estão no mesmo sentido de movimento do elevador. Assim, por exemplo, considere num prédio de dez andares um elevador situado no quinto andar que está se deslocando até o nono. Ao mesmo tempo, os botões de pavimento do sexto e do quarto andar são acionados. Desta forma, o passageiro localizado no sexto andar teria prioridade pelo fato do elevador estar no sentido ascendente.

### **Quarta etapa: Determinação dos diagramas lógicos do sistema**

Para mostrar as principais funções lógicas no sistema de elevadores é necessário utilizar a representação de diagramas lógicos, com o objetivo de visualizar os dispositivos que constituem este sistema e o modo como estes dispositivos estão relacionados.

### **Quinta Etapa: Modelagem do Sistema**

Para (Gustin, 1999), considerando que o sistema de elevadores para edifícios inteligentes tem como finalidade básica fornecer ao usuário um eficaz transporte vertical com rapidez, conforto e segurança, procurando sua integração eficiente com outros sistemas prediais, é importante que sua modelagem deva representar o sistema de forma adequada com respeito a aspectos que possam afetar seu serviço (dinâmica de funcionamento, estratégias de controle que permitam a sua integração com outros sistemas do edifício, etc.) com a finalidade de permitir uma posterior análise do mesmo.

A modelagem do sistema de elevadores será baseada nas Redes de Petri e pode ser dividida em três partes:

- Modelagem estrutural
- Modelagem conceitual
- Modelagem funcional

Na modelagem estrutural, o sistema é abordado de forma bipartida, dado que este pode ser representado mediante a interconexão de dois subsistemas fundamentais que se comunicam cooperativamente, estes subsistemas representam a parte operativa relacionada ao objeto de controle (cabins dos elevadores) e a parte de controle relacionada ao sistema de controle (Silva, 1985).

Segundo (Gustin, 1999), esta decomposição do sistema consiste em estabelecer uma distinção entre o subsistema de execução (parte operativa) e o subsistema de coordenação (parte de controle). Assim, a parte operativa envia para a parte de controle informações sobre seu estado (que possibilitam a realização do controle) e a parte de controle, de acordo com estas informações, retorna às primeiras ordens de operação por intermédio dos atuadores.

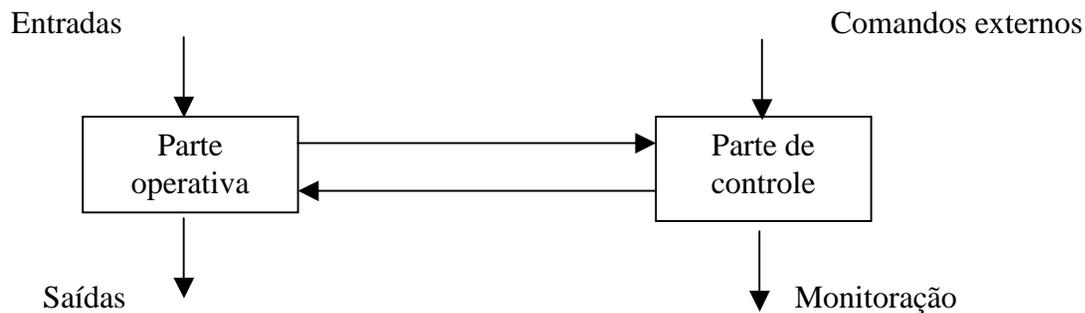


Figura 3.3 - Parte operativa X parte de controle do sistema a ser modelado.

Na modelagem conceitual, cada um dos elementos estruturais do sistema é analisado de forma sistemática e hierárquica, sendo sua característica abordar a modelagem do sistema a nível conceitual para seguidamente fazer um refinamento do mesmo e obter seu modelo funcional. Assim, inicialmente, manipula-se o sistema num nível de abstração que não considera o seu comportamento dinâmico e, posteriormente, realiza-se o detalhamento progressivo e estruturado deste até derivar o modelo funcional do sistema. (Gustin, 1999).

O modelo conceitual do sistema tem as seguintes vantagens:

- Analisa as interações entre os diferentes componentes do sistema;
- Permite uma melhor visualização do sistema a ser modelado;
- Detecta possíveis dúvidas de interpretação das informações (que muitas vezes não são claras e objetivas) obtidas na etapa de levantamento de dados;
- Permite conhecer as principais características do sistema a ser modelado.

O modelo funcional é obtido através de um refinamento do modelo conceitual. Então, a modelagem funcional leva em consideração o comportamento dinâmico do sistema e, para a execução desse modelo, será feita uma análise através das Redes de Petri.

É importante salientar que, antes de partir para o modelo funcional, é necessário fazer uma avaliação do modelo conceitual do sistema, com o objetivo de encontrar possíveis falhas na construção dos modelos, que poderá afetar de forma significativa a modelagem funcional do sistema. Neste caso, poderá ser necessário reestruturar o sistema.

### **Sexta Etapa: Simulação do Sistema**

Assim como nos sistemas de iluminação, motores e ar condicionado, os elevadores funcionarão à base de um Controlador Lógico Programável (CLP), que receberá as informações provenientes do Sistema de Gerenciamento do Prédio (SGP) e, a partir daí, irá executar as estratégias necessárias para controlar os elevadores de forma eficiente.

Para esta fase, pretende-se testar todas as possibilidades da modelagem em Redes de Petri através do uso de ferramentas computacionais que permitam simular os modelos a serem desenvolvidos. Neste caso, poderá ser realizada uma simulação através de Diagrama Ladder ou da própria Rede de Petri.

## **Capítulo 4**

### **4. ESTUDO DE CASO**

#### **4.1. PRÉDIO DA ESCOLA POLITÉCNICA**

Para realizar o estudo de caso foi escolhido o prédio da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (EPUFBA). Percebe-se que este prédio não é um edifício inteligente devido à ausência de um sistema de controle que interaja com os demais sistemas do edifício. Em virtude de suas características, entretanto, é considerado, neste trabalho, um importante instrumento de estudo para a investigação da implantação do conceito de Edifícios Inteligentes.

Com mais de cem anos de história, a Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia é uma das mais antigas do Brasil. Foi fundada em 1897, quarenta e nove anos antes da própria UFBA.

Em uma área construída de 22.000 m<sup>2</sup>, a Escola Politécnica possui um edifício de 8 andares. Possui dois elevadores e duas escadas de acesso, sendo uma lateral. O conjunto Politécnico foi projetado com capacidade para uma população escolar de 1600 alunos. Apesar disso, este prédio, ao longo de sua existência, aumentou não só o número de seus cursos e de suas atividades, como também o número de vagas. Com isso, pode-se afirmar que por ele circulam cerca de 2500 pessoas, sendo 2300 alunos e 200 professores, funcionários e visitantes.



Figura 4.1- Prédio da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia

A Escola Politécnica possui cursos de graduação em Engenharia Civil, Elétrica, Mecânica, Química, de Minas e Sanitária e Ambiental, além de cursos de Especialização e Mestrado nas diversas áreas da Engenharia.

Resumidamente, as informações mais importantes do prédio são:

- Função desempenhada em seu interior: Ensino superior, pesquisa, desenvolvimento e outras atividades.
- Número de pavimentos: oito, sendo que no último andar fica localizado a casa de máquinas, além de salas de aula, escritórios, etc. e nos outros andares localizam-se salas de aula, laboratórios (de informática, energia, circuitos elétricos, sistemas inteligentes, etc.), auditório, reprografia, restaurante, biblioteca, etc.
- Área construída: 22000m<sup>2</sup>.
- Tipos de usuários: alunos, professores e funcionários dos cursos de Graduação, Especialização e Mestrado, além de visitantes de outras instituições.
- Existência de gerador elétrico: atualmente não existe nenhum gerador elétrico instalado.

- Existência de Sistema de Gerenciamento do Prédio (SGP): atualmente não existe nenhum tipo de SGP instalado.

É importante acrescentar também que o prédio possui cinco entradas, sendo que as duas principais ficam localizadas no quinto andar (que é o andar que dá acesso ao estacionamento de alunos e professores) e a outras três localizadas no primeiro, quarto e sexto andares, sendo estas bem menos utilizadas que as outras duas.

Ainda, cabe ressaltar que a escada localizada no primeiro andar estabelece uma ligação da Escola Politécnica com o Campus de Ondina, o que torna o uso dos elevadores mais frequentes devido a sua utilização por alunos de outras unidades ou pessoas das redondezas.

Dentre os sistemas existentes no prédio, o de ar condicionado é o que mais consome energia, representando cerca de 40% do consumo total da EPUFBA, conforme pode ser observado na figura 4.2, obtido através de um projeto de efficientização da Escola Politécnica realizado em 2004. (FAPEX, FINEP, INFRA, UFBA, 2004).

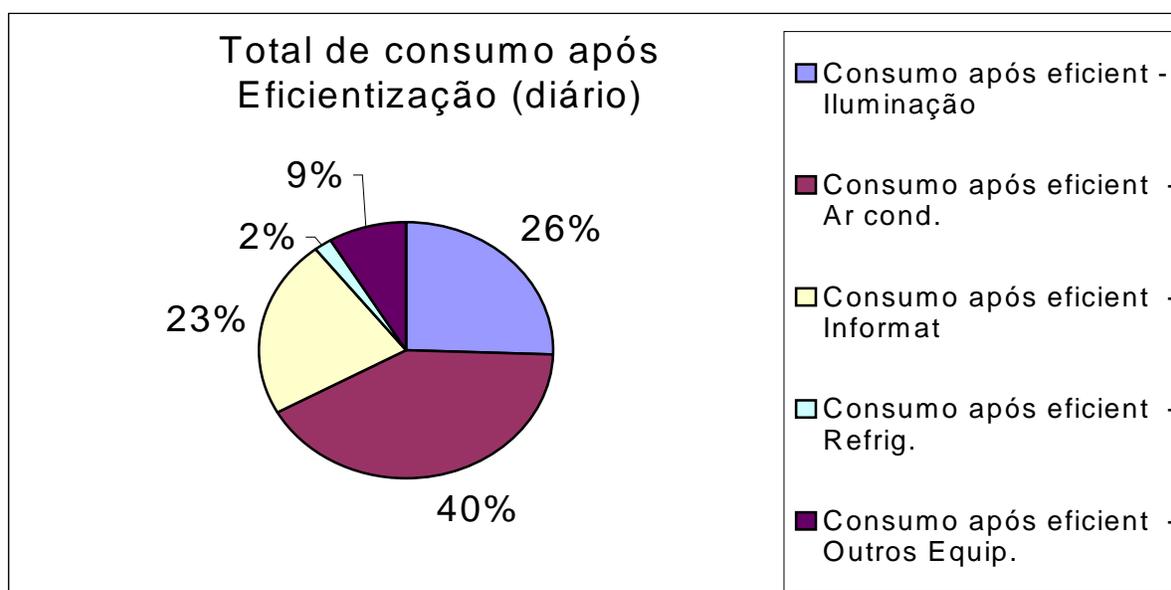


Figura 4.2 - Percentual do consumo total de energia da EPUFBA.

## 4.2. DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

Os sistemas que serão abordados no prédio da Escola Politécnica são: iluminação, motores, ar condicionados e elevadores. Eles irão funcionar através de um Controlador Lógico Programável (CLP), que receberá informações provenientes destes sistemas através do SGP ou de alguns equipamentos (sensores, botoeiras) e, a partir daí, enviará uma resposta, executando algumas atividades ou ativando outros equipamentos de forma a tornar o sistema predial mais inteligente, permitindo a integração dos sistemas citados de forma eficiente.

No sistema proposto, um computador é utilizado para processar o software de programação do CLP. O computador é também usado para a emissão de telas e para a geração de relatórios impressos.

A figura 4.3. expressa melhor a integração do sistema predial através do CLP.

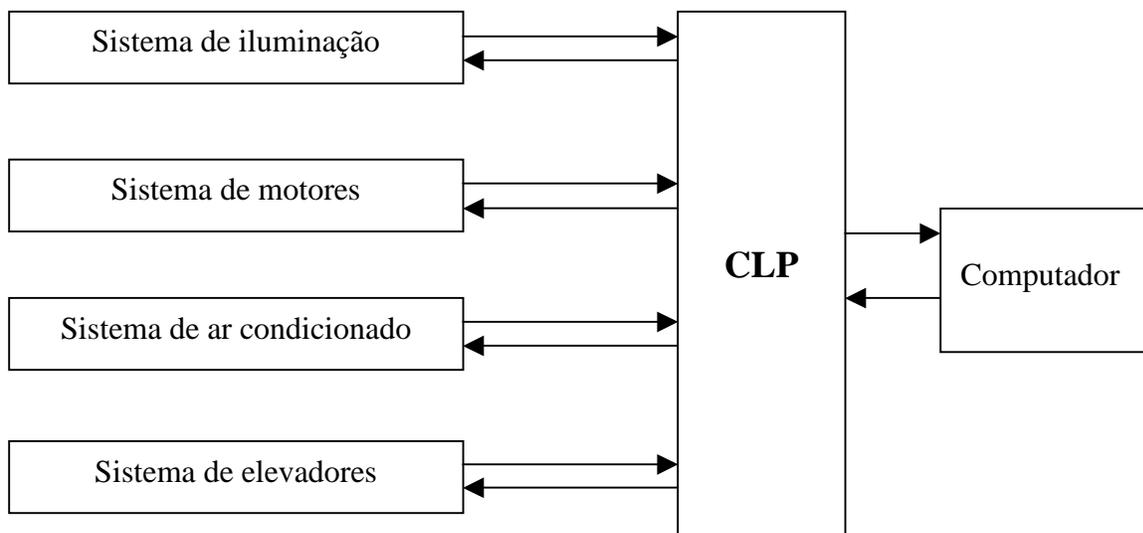


Figura 4.3 - Integração dos sistemas de iluminação, motores, ar condicionados e elevadores.

## 4.3. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

### 4.3.1 Levantamento de dados

Em relação ao sistema de iluminação, as informações mais importantes são:

- Período de funcionamento: As salas de professores, secretarias funcionam em tempo integral das 7 às 19 horas e as salas de aula e laboratório das 7 às 21 horas.
- Tipo de lâmpadas, luminárias e reatores: as lâmpadas são dos tipos fluorescente tubular (16W, 32W, 35W, 45W e 55W), fluorescente compacta (15W, 20W e 22W), vapor metálico (70W), incandescente (60W), mista (80W e 160W), vapor de sódio (150W e 250W) e halógenas (150W). Os reatores são do tipo eletrônico, com exceção as das lâmpadas de vapor metálico que, neste caso, utilizam reatores eletromagnéticos. Já as luminárias são de seis tipos, conforme pode ser observado na tabela 4.1.
- Estratégia utilizada: Em alguns corredores utilizam-se sensores de presença para controlar a iluminação de acordo com o movimento de pessoas.
- Tipo de controle instalado: controle liga e desliga manual.

Ainda, cabe ressaltar que as lâmpadas fluorescentes tubulares são utilizadas com índice de reprodução de cores (IRC) maior que 80%, que são as indicadas para utilização em salas de aula e ambientes de trabalho contínuo, e são também as mais eficientes encontradas no mercado. Lâmpadas com IRC entre 60 e 70% são mais baratas, porém menos eficientes, e somente são recomendadas para circulações, depósitos e ambientes similares.

Tipo	Descrição	Utilização
Calha tipo 1	Luminária tipo calha aberta de sobrepor, corpo em chapa de aço tratada e pintada de branco, refletor em alumínio anodizado de alta pureza, para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W	Salas de aula, laboratórios
Calha tipo 2	Luminária tipo calha aberta de sobrepor, corpo e refletor em chapa de aço tratada e pintada de branco, para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W	Corredores, hall's, áreas de circulação
Calha tipo 3	Luminária tipo calha aberta de sobrepor, corpo em chapa de aço tratada e pintada de branco, refletor e aletas parabólicas em alumínio anodizado de alta pureza, para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W	Escritórios, salas de professores, secretarias
Calha tipo 4	Luminária tipo calha fechada, grau de proteção IP 65, corpo em policarbonato cinza, difusor em policarbonato texturizado, refletor em chapa de aço tratada e pintada de branco para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W	Sala de preparação de amostra, câmara úmida
Plafon tipo 5	Luminária tipo plafonier, corpo em chapa de alumínio pintada de branco, difusor em vidro prismático transparente, para lâmpada fluorescente compacta eletrônica de 15W	Varandas, pequenas circulações
Plafon tipo 6	Luminaria tipo arandela, corpo em chapa de alumínio pintada de branco, difusor em vidro prismático transparente, para lâmpada fluorescente compacta eletrônica de 15W	Varandas, pequenas circulações

Tabela 4.1- Tipos de luminárias instaladas na Escola Politécnica

### 4.3.2 Descrição do sistema

No prédio da Escola Politécnica, grande parte das salas de aula, de professores e laboratórios não apresentam um bom aproveitamento da iluminação natural, por isso não é viável adotar um controle automático através de fotocélulas, visto que esse controle seria utilizado numa quantidade mínima de ambientes.

Ainda, na EPUFBA, foi realizada em 2004 uma efficientização do sistema de iluminação, no qual alguns equipamentos foram substituídos por outros mais modernos e eficientes, possibilitando grandes reduções no consumo de energia do prédio. Na tabela 4.2 pode-se observar a substituição das lâmpadas na Escola Politécnica.

Lâmpada existente	Potência (W)	Rendimento (lm/W)	Lâmpada proposta	Potência (W)	Rendimento (lm/W)
Fluorescente Tubular	20	53,0	Fluorescente Tubular	16	75,0
Fluorescente Tubular	40	67,5	Fluorescente Tubular	32	84,4
Fluorescente Tubular	110	85,0	Fluorescente Tubular	32	84,4
Incandescente	60	16,2	Fluorescente Compacta Elet.	15	60,0
Mista	160	19,4	Vapor Metálico	70	133,3

Tabela 4.2 - Substituição de lâmpadas na Escola Politécnica

A partir do levantamento das informações do sistema de iluminação, observou-se que em alguns corredores do prédio existe um sensor de presença para controlar o acendimento das lâmpadas de acordo com a movimentação de pessoas pelo local. Porém, nos outros ambientes, não existe nenhum tipo de estratégia para um controle eficiente da iluminação. Então, para estes casos, são descritas a seguir a estratégia utilizada e as modificações propostas.

## **Sistema de controle da iluminação nas salas de aula, de professores, laboratórios e secretarias**

### **Estratégia utilizada**

Atualmente, é utilizado um controle liga e desliga manual permitindo ligar a iluminação artificial através de um interruptor.

### **Estratégia proposta**

Ocorrendo a entrada de pessoas no ambiente, o sistema de gerenciamento de energia (SGE) deve enviar um sinal para o SGP, o qual interpreta e envia a informação pertinente para o CLP. Para o caso do sistema de iluminação a informação recebida permite ligar automaticamente a iluminação artificial através de um contador.

### 4.3.3 Diagrama lógico

#### Diagrama lógico de operação do sistema de iluminação

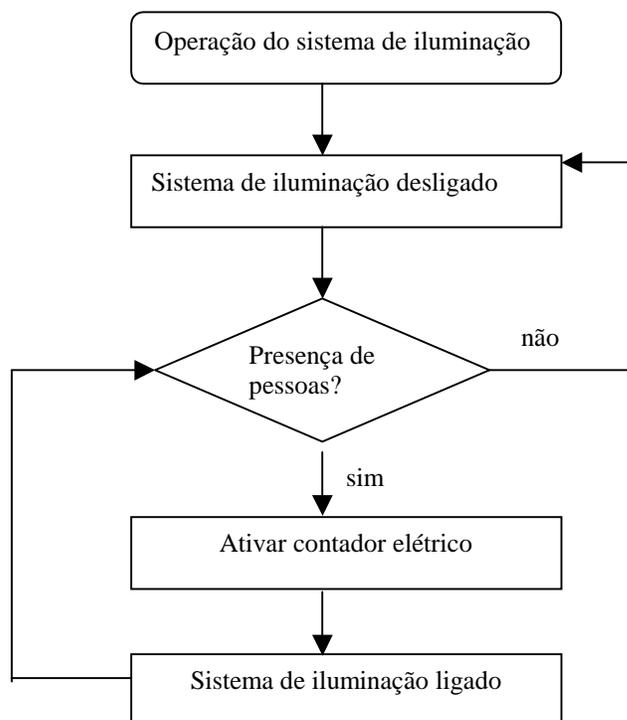


Figura 4.4 - Diagrama lógico de operação do sistema de iluminação

### 4.3.4 Modelagem do sistema

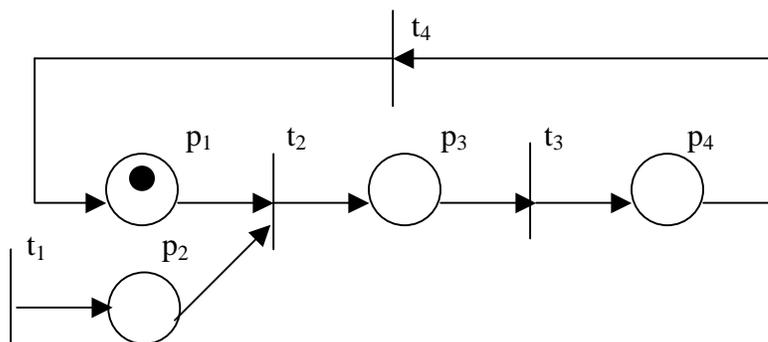


Figura 4.5 - Modelagem do sistema de iluminação.

### Posição

- $p_1$  = sistema de iluminação desligado
- $p_2$  = sistema de gerenciamento de energia ativado
- $p_3$  = contador elétrico ativado
- $p_4$  = sistema de iluminação ligado

### Transição

- $t_1$  =ativar sistema de gerenciamento de energia
- $t_2$  =ativar contador elétrico
- $t_3$  = ligar sistema de iluminação
- $t_4$  = desligar sistema de iluminação

## 4.4. SISTEMA DE AR CONDICIONADO

### 4.4.1. Levantamento de dados

Em relação ao sistema de ar condicionado, as informações mais importantes são:

- Tipos de aparelho utilizados: A maioria é do tipo Janela, mas também existem aparelhos Split e Self-contained. Este último está localizado apenas no LAMI (Laboratório de Automação e Metrologia Industrial).
- Temperatura média do ambiente: Os equipamentos operam numa temperatura média de  $23^{\circ}\text{C}$ , com limites inferior e superior de  $21^{\circ}\text{C}$  e  $25^{\circ}\text{C}$  respectivamente, definidos pelo fabricante, com exceção dos aparelhos do tipo Self-contained, onde a temperatura média é de  $20^{\circ}\text{C}$  com limites inferior e superior de  $19,4^{\circ}\text{C}$  e  $20,6^{\circ}\text{C}$  respectivamente.
- Potência dos equipamentos: Os aparelhos Split e Self-Contained apresentam potência de 38000 BTU/hW e 48000 BTU/hW respectivamente. Já os aparelhos do tipo Janela apresentam potências variadas de 7000, 7500, 8300, 9000, 10000, 10500, 12000, 12300, 12500, 15000, 18000, 21000, 24000 e 30000 BTU/hW.
- Estratégias utilizadas: Existe um sistema de controle de temperatura através de um termostato para permitir que os aparelhos atuem dentro dos limites pré-estabelecidos.

- Tipo de controle instalado: Existe um sistema de controle “ON-OFF”, onde o dispositivo de atuação pode assumir somente duas posições, ou seja, ligado e desligado.

#### **4.4.2. Descrição do sistema**

Na EPUFBA existem áreas que são bastante freqüentadas e, por isso, precisam ser condicionadas constantemente, como as salas de aula e os departamentos dos cursos de Graduação e Pós-graduação. Por outro lado, existem algumas áreas que são utilizadas com menos freqüência, como os laboratórios de Informática e os laboratórios relacionados aos diversos ramos da Engenharia, que são somente usados nas aulas práticas, além dos auditórios onde são realizadas reuniões e palestras.

De todos os sistemas existentes, o de ar condicionado é o que mais consome energia na EPUFBA. Atualmente, existe em cada aparelho de ar condicionado um termostato para efetuar o controle da temperatura, além de limites mínimos e máximos pré-estabelecidos pelo fabricante em que a temperatura pode variar, mas esse controle é feito isoladamente para cada aparelho, ou seja, eles não estão interligados através do CLP.

Um controle eficiente da temperatura é importante, pois, se a temperatura do ambiente está muito abaixo do valor recomendado, acarreta um maior consumo de energia. O ideal seria estabelecer outras estratégias de controle, porém, como somente no LAMI os aparelhos são do tipo Self-contained (nos outros ambientes os aparelhos de ar condicionado são do tipo Split e Janela), não haveria um sistema central para interligar esses sistemas ao CLP, ou seja, o CLP teria que se comunicar com cada sistema de ar condicionado isoladamente, o que aumentaria consideravelmente os custos de fiação e mão-de-obra.

Apesar disso, é importante que se faça uma programação periódica para a manutenção dos aparelhos (limpeza, regulagem do termostato, verificação da vedação das portas, etc...). A seguir, é descrita uma manutenção preventiva dos aparelhos de ar condicionado que, apesar de não representar investimento em patrimônio, é importante para reduzir o consumo de energia pelo sistema de ar condicionado e melhorar as condições de conforto nos ambientes. Como ações propostas, têm-se as seguintes:

- Limpezas do(s) evaporador (es) e condensador (es): É necessário realizar a limpeza periódica no(s) evaporador (es) e condensador (es), pois a sujeira acumulada sobre as superfícies trocadoras de calor reduz a eficiência térmica da troca de calor, resultando em um aumento do consumo de energia.
- Limpeza de ventiladores dos condicionadores: Os ventiladores, à medida que acumulam poeira, perdem o balanceamento, acelerando o desgaste de mancais, e demandam maior potência dos motores para seu funcionamento. Mantê-los limpo significará reduzir o consumo de energia.
- Manutenção de filtros de ar: Os filtros de ar dos condicionadores, à medida que acumulam poeira, aumentam a perda de carga do fluxo de ar que os atravessa. Logo, a falta deste componente, além de comprometer a qualidade do ar que circula pelo ambiente, reduz a eficiência do(s) equipamento(s), pois permite o acúmulo de sujeira sobre as superfícies trocadoras de calor do(s) evaporador (es). A implantação desta medida, considerando o equipamento operando por um longo período sem uso desse componente, implicará numa redução do consumo de energia elétrica, além de permitir um melhor desempenho do equipamento.

## **4.5. SISTEMAS DE MOTORES E BOMBEAMENTO**

### **4.5.1. Levantamento de dados**

Em relação ao sistema de motores e bombeamento, as informações mais importantes são:

- Tipo de motor elétrico instalado: São dois motores de indução, trifásico, 220V – 60Hz, um para cada elevador.
- Condições ambientais e de operação em que os motores atuam: Os motores atuam, em média, numa temperatura de 30<sup>0</sup>C que sai do compressor e entra no exaustor, sendo que esta temperatura não influencia o seu rendimento. Os motores estão superdimensionados.
- Período de funcionamento dos motores elétricos: Os motores operam diariamente e não são desligados em nenhum momento.
- Período de funcionamento das bombas d' água: Varia de acordo com a quantidade de água no reservatório ficando em média 10 minutos ligada e 20 minutos desligada.
- Potência das bombas d'água: São duas bombas de 5 CV, sendo que enquanto uma está ligada a outra está desligada.
- Estratégias utilizadas para os motores e sistemas de bombeamento: a única estratégia existente é para os sistemas de bombeamento onde, por um período de 8 dias, fica ligada a bomba 1 e desligada a bomba 2, depois desse período, fecha-se o registro da bomba 1 e liga o da bomba 2, e assim sucessivamente.
- Tipo de controle instalado: Existe atualmente um controle de vazão que é feito através de uma válvula de retenção (superior) e uma de poço (inferior).

## **4.5.2. Descrição do sistema**

### **Descrição do funcionamento do sistema de motores elétricos**

No prédio da Escola Politécnica existem dois motores elétricos de indução, um para cada elevador. A função dos motores é permitir a movimentação dos elevadores, controlando a velocidade destes através de inversores de frequência. A seguir, são descritas as estratégias e as modificações propostas.

### **Estratégia para controle da velocidade dos elevadores**

#### **Estratégia utilizada:**

Para cada motor há um inversor de frequência do tipo VVVF (tensão e frequência variável), que provoca uma aceleração no elevador no momento de partida e uma desaceleração quando ele está perto de nivelar.

#### **Estratégia proposta:**

Um sensor de peso seria utilizado no elevador para detectar uma carga igual ou maior a 80% da capacidade permitida para este (a capacidade de um elevador é de 750 Kg e de outro 840Kg). Neste caso, o inversor de frequência iria aumentar a velocidade do elevador para 1,5 m/s. Caso contrário, o elevador permaneceria com sua velocidade de 1,0 m/s. Esta estratégia será bastante útil no Controle Coletivo Seletivo na Subida e Descida dos elevadores, conforme será visto adiante.

## **Estratégia em caso de falha dos motores elétricos**

### **Estratégia utilizada:**

No caso de ser detectada uma falha no motor, soa um alarme de emergência para que o técnico responsável venha solucionar o problema.

### **Estratégia proposta:**

No caso de o motor parar devido a uma temperatura muito alta ou alguma sobrecarga no sistema irá comprometer o funcionamento do elevador. Logo, esse problema será tratado como um caso específico de falha no sistema de elevadores.

Então, no caso de ser detectado alguma falha no motor, pelo sistema de diagnóstico de falhas, este enviará um sinal ao SGP acusando uma falha no elevador. O sistema de gerenciamento do prédio, por sua vez, transmitirá a informação ao CLP que, em seguida, realizará atividades referentes ao sistema de elevadores, como será visto adiante.

## **Descrição do sistema de bombeamento**

A função do sistema de bombeamento é controlar a quantidade de água no reservatório. Conforme descrito anteriormente, essas bombas ficam em média 10 minutos ligadas e 20 minutos desligadas, sendo que há um revezamento entre elas, ou seja, enquanto uma fica operando, a outra fica na reserva. A seguir, são descritas as estratégias para o controle da vazão e as modificações propostas.

## **Estratégia para o controle das bombas d'água**

### **Estratégia utilizada:**

Uma das bombas fica ligada durante 8 dias. Depois, fecha-se o seu registro e liga-se o registro da outra bomba, que permanecerá ligada durante 8 dias, quando o seu registro é fechado, momento em que a primeira bomba volta a operar, e assim sucessivamente. Esse controle é feito através de uma válvula de retenção e uma de poço.

### **Estratégia proposta**

O ideal é continuar havendo o revezamento entre as bombas, porém esse controle será realizado por um inversor de frequência, com o objetivo de reduzir possíveis perdas de energia ocasionadas pelo uso de válvulas, e por um horímetro, para permitir que o sistema de bombeamento faça a troca do conjunto motor-bomba depois de transcorridos os oito dias. Ainda, um sistema de detecção de falhas irá atuar para garantir o perfeito funcionamento das bombas.

## **Estratégia em caso de falha em uma das bombas d'água**

### **Estratégia utilizada**

Não há nenhum tipo de estratégia em caso de falha em uma das bombas d'água.

### **Estratégia proposta**

Ocorrendo falha em uma das bombas, o sistema de detecção de falhas deve enviar um sinal para o SGP, o qual interpreta e envia a informação pertinente para o CLP. Para o caso do sistema de bombeamento a informação recebida permite ativar o horímetro para a execução das seguintes atividades:

- Colocar a bomba com falha em estado de manutenção/conserto
- Colocar imediatamente a bomba reserva em operação

### 4.5.3. Diagrama lógico

#### Diagrama Lógico de funcionamento do Sistema de Motores Elétricos

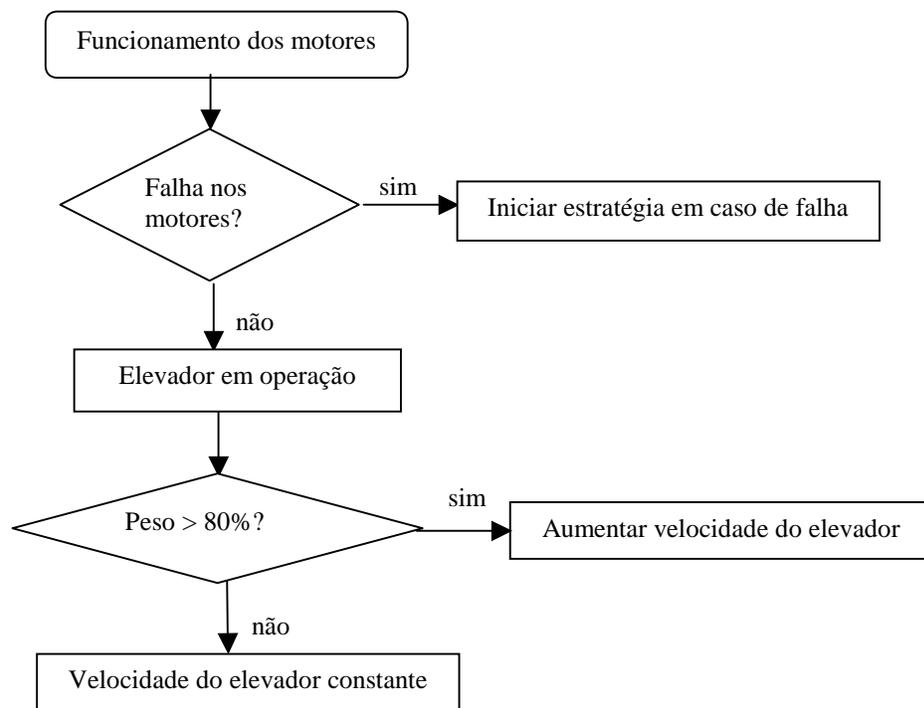


Figura 4.6 - Diagrama Lógico de funcionamento do Sistema de Motores Elétricos.

## Diagrama Lógico do Sistema de Bombeamento

Para a representação do funcionamento das bombas d'água através de diagrama lógico, serão consideradas as seguintes variáveis:

- $TFB_1$  = tempo de funcionamento da bomba 1
- $TFB_2$  = tempo de funcionamento da bomba 2

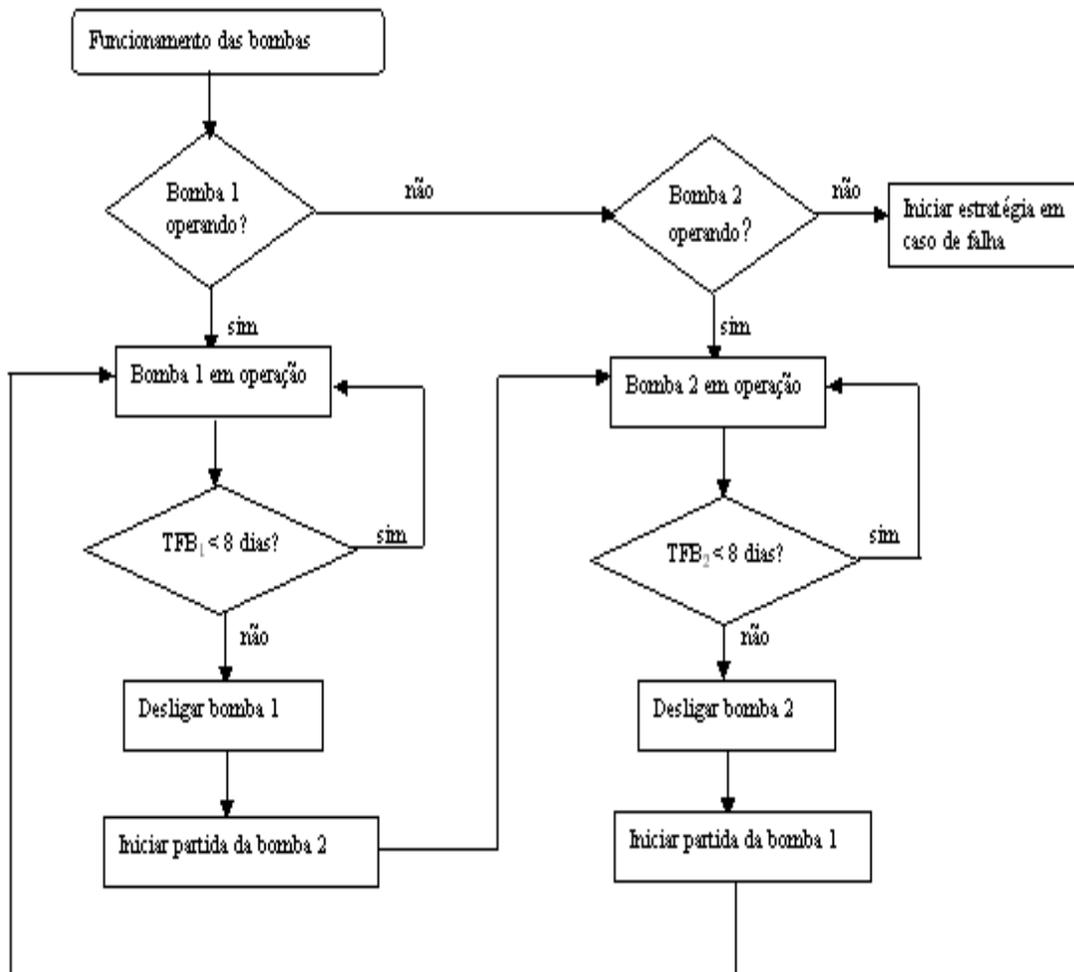


Figura 4.7 - Diagrama lógico de funcionamento das bombas d'água.

### Diagrama lógico em caso de falha em uma das bombas d'água

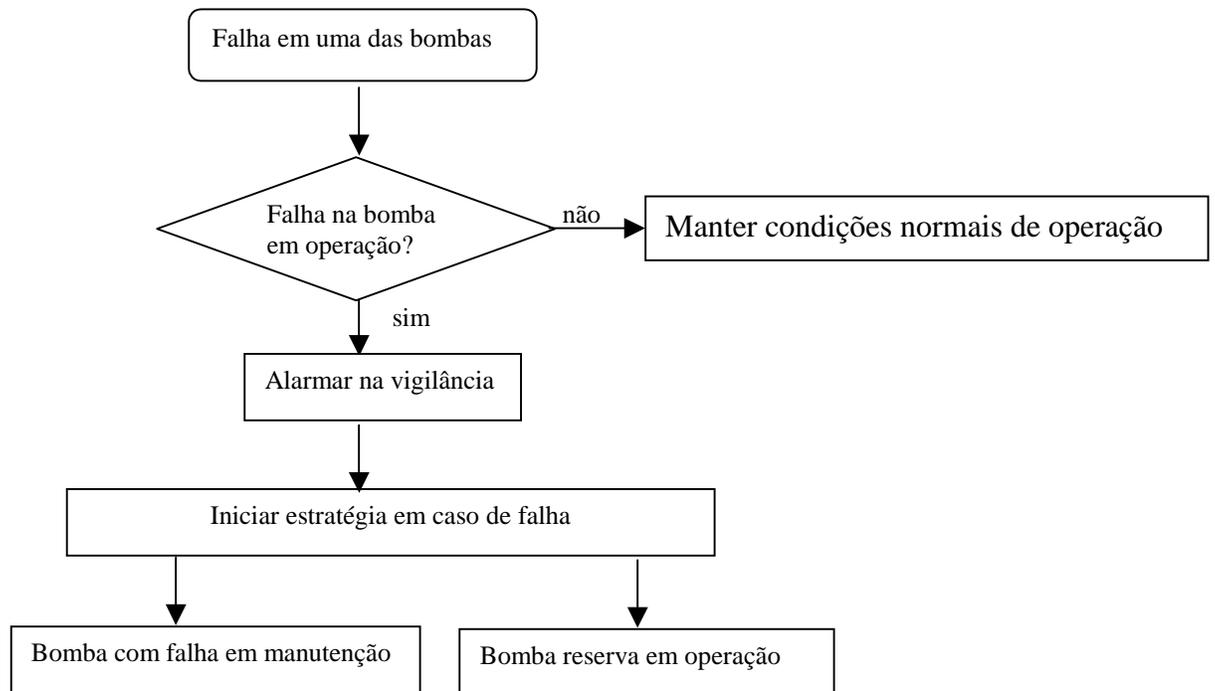


Figura 4.8 - Diagrama lógico em caso de falha em uma das bombas d'água.

### 4.5.4. Modelagem para o sistema de motores e bombeamento

#### Modelagem do acionamento dos elevadores

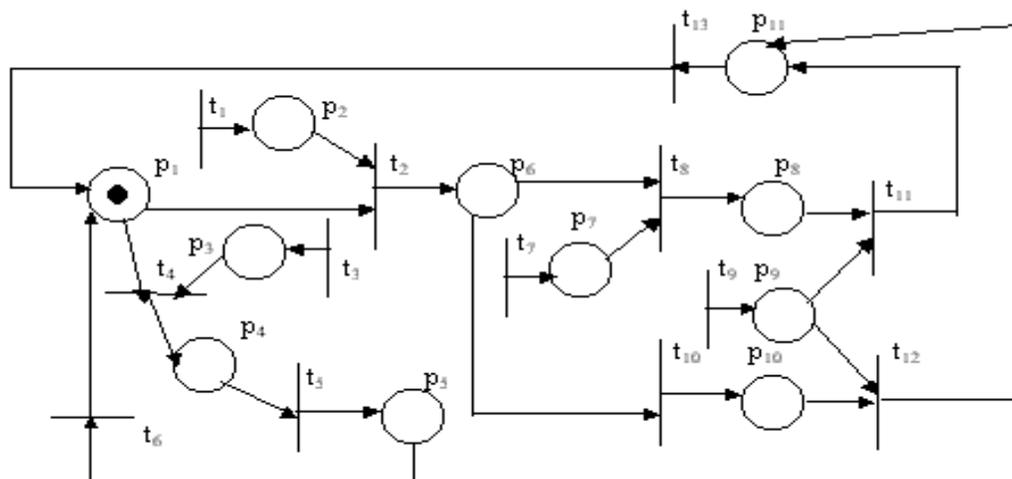


Figura 4.9 - Modelagem do acionamento dos elevadores.

### Lugares

- $p_1$  = motor elétrico pronto para partir
- $p_2$  = detector de carga
- $p_3$  = motor elétrico com falha
- $p_4$  = sistema de diagnóstico de falha
- $p_5$  = estratégia de falha iniciada
- $p_6$  = elevador em operação
- $p_7$  = conversor de frequência regulado pra aumentar a velocidade do elevador
- $p_8$  = velocidade do elevador aumentada para 1,5 m/s
- $p_9$  = motor parado
- $p_{10}$  = velocidade do elevador constante em 1,0 m/s
- $p_{11}$  = alimentação do elevador em corrente contínua

### Transições

- $t_1$  = ativar detector de carga
- $t_2$  = ligar motor
- $t_3$  = ocorrência de falha no motor elétrico
- $t_4$  = ativar sistema de diagnóstico de falhas
- $t_5$  = iniciar estratégia de falha
- $t_6$  = colocar motor em fase de partida após solucionada a falha
- $t_7$  = regular conversor de frequência
- $t_8$  = aumentar a velocidade do elevador
- $t_9$  = desligar motor elétrico
- $t_{10}$  = manter a velocidade do elevador constante
- $t_{11}$  = reduzir a frequência do elevador com velocidade aumentada
- $t_{12}$  = reduzir a frequência do elevador com velocidade constante
- $t_{13}$  = parar o funcionamento do elevador

### Modelagem para o funcionamento das bombas d'água

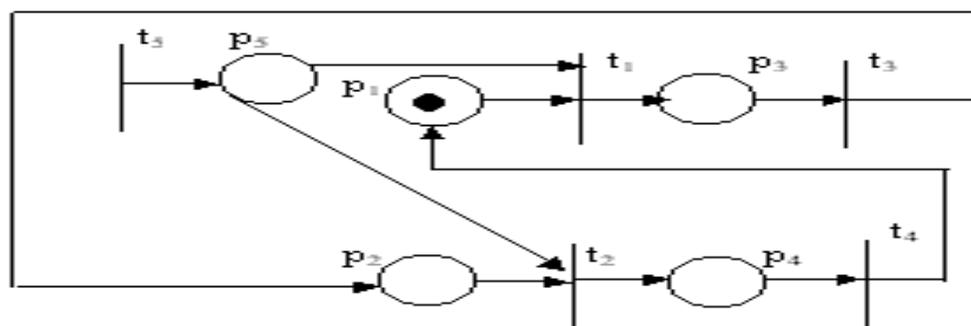


Figura 4.10 - Modelagem para o funcionamento das bombas d'água.

Lugares

Transições

$p_1$  = bomba 1 em operação  
 $p_2$  = bomba 2 em operação  
 $p_3$  = bomba 1 desligada  
 $p_4$  = bomba 2 desligada  
 $p_5$  = horímetro ativado

$t_1$  = desligar bomba 1 quando  $T= 8$  dias  
 $t_2$  = desligar bomba 2 quando  $T= 8$  dias  
 $t_3$  = iniciar partida da bomba 1  
 $t_4$  = iniciar partida da bomba 2  
 $t_5$  = ativar horímetro

### Modelagem em caso de falha em uma das bombas d'água

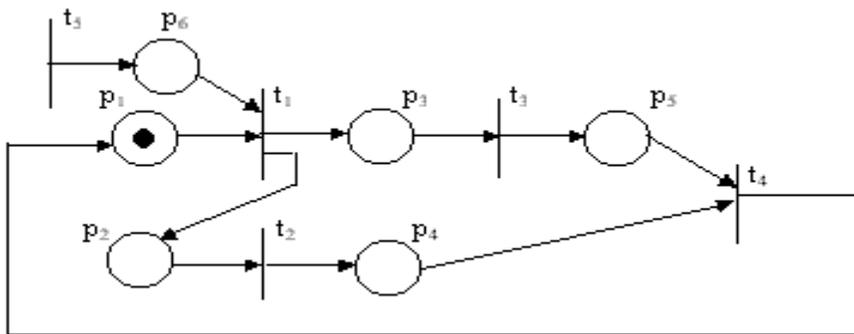


Figura 4.11 - Modelagem em caso de falha em uma das bombas d'água.

Lugares

Transições

$p_1$  = bomba 1 em operação  
 $p_2$  = bomba 2 (reserva) em operação  
 $p_3$  = bomba com falha em manutenção  
 $p_4$  = bomba 2 desligada quando  $T= 8$  dias  
 $p_5$  = bomba 1 em fase de espera  
 $p_6$  = sistema de detecção de falhas ativado

$t_1$  = iniciar estratégia de falha  
 $t_2$  = desligar bomba 2 (reserva)  
 $t_3$  = colocar bomba 1 em fase de espera  
 $t_4$  = colocar bomba 1 operação  
 $t_5$  = ativar sistema de detecção de falhas

## **4.6. SISTEMA DE ELEVADORES**

### **4.6.1. Levantamento de dados**

Em relação ao sistema de elevadores, as informações mais importantes são:

- Número de elevadores: 2 elevadores
- Tipo de usuários que os utiliza: alunos, professores, funcionários e visitantes de outras instituições.
- Distribuição dos elevadores: não há nenhum tipo de distribuição específica para os elevadores, ou seja, eles estão localizados em um mesmo bloco de circulação.
- Capacidade dos elevadores: um elevador possui capacidade de 750Kg e outro 840 Kg , o que comporta, em média, 10 pessoas.
- Estratégia utilizada para os elevadores: No caso de incêndio, os elevadores deverão ser desligados imediatamente e os usuários não deverão utilizá-los; No caso de falta de energia, o fabricante (Engeltech) recomenda a utilização de geradores, o que não há no edifício da Escola Politécnica; No caso de falha no intertravamento das portas ou quando o elevador pára entre dois andares, soa um alarme de emergência para que o técnico responsável venha solucionar o problema.
- Tipo de controle instalado: Cada elevador possui um controle com placas microprocessadas e chaves elétricas (contadoras) para acionamento do equipamento.Em ambos, são Coletivos Seletivos na Subida e Descida.
- Tipo de acionamento principal do elevador: Elétrico.

Além disso, existem sensores de presença, conhecidos como “barreiras infravermelhas”, com o objetivo de parar o elevador para abrir as portas quando acionado garantindo a segurança das pessoas dentro do mesmo. Neste caso, são consideradas duas variáveis de entrada, uma proveniente de um feixe de infravermelhos para detectar a presença de alguém na porta e outra para detectar sobrecarga do motor responsável pelo fecho da porta. Este sistema é

composto por uma Central de Processamento e duas Antenas que produzem um campo de luz infravermelha em toda sua extensão.

Ainda, em cada elevador há um inversor de frequência do tipo VVVF (tensão e frequência variável), que provoca uma aceleração no elevador no momento de partida e uma desaceleração quando ele está perto de nivelar. Esses inversores possibilitam uma economia de 35% no consumo de energia do prédio, mas geram harmônicas.

Não há nenhum tipo de monitoração específica para os elevadores, embora em ambos exista a previsão deste opcional, porém, no edifício da Escola Politécnica, este dispositivo não foi adquirido no ato da compra dos elevadores.

#### **4.6.2. Descrição do sistema de elevadores**

A partir do levantamento das informações do sistema de elevadores, observou-se que não existe uma preocupação quanto ao excesso de pessoas que o elevador pode transportar nos horários de pico da Universidade. Para este caso, seria instalado um alarme de emergência dentro do elevador que iria tocar se houvesse ultrapassado o limite máximo de peso dentro do mesmo e, desta forma, o elevador iria continuar parado no andar onde estava e só iria prosseguir no seu percurso quando estivesse, no mínimo, no seu limite máximo de peso. Assim, um detector de carga seria utilizado para acusar um excesso de peso no elevador.

Uma outra medida importante para a segurança dos alunos, professores, funcionários e visitantes que circulam pela Instituição seria utilizar na cabina um detector de posição que evitaria que o elevador fosse fechado enquanto pessoas estivessem usufruindo da passagem.

No levantamento de dados pode-se notar que foram adotadas estratégias para o sistema de elevadores, de forma a propiciar um maior conforto e segurança para os seus usuários, porém algumas delas não são muito satisfatórias e, com isso, cabe aqui fazer alterações a fim de obter um resultado mais desejável. A seguir, são descritas as estratégias e as modificações propostas.

### **Estratégia de pico de subida e descida**

Esta estratégia é baseada no controle automático coletivo na subida e na descida. Este tipo de controle é usado em elevadores que possuem apenas um botão nos andares extremos e dois botões (um de subida e outro de descida) nos andares intermediários. Neste sistema de controle as chamadas de andar para subir são selecionadas separadamente das chamadas de andar para descer, sendo atendidas primeiramente todas as chamadas registradas em um dos sentidos para depois serem atendidas as de sentido contrário.

Segundo (Yuan, 1990), esta estratégia opera pelo princípio direcional, segundo o qual só quando nenhum serviço na atual direção do movimento é requerido, o elevador pode servir a direção oposta. Assim, o elevador responde suas chamadas de andar e de cabina de forma seqüencial desde sua posição atual e na sua direção de viagem.

Nesta estratégia é selecionado o elevador considerado como o “melhor posicionado” para responder uma determinada chamada de andar, segundo a menor diferença entre a posição do elevador e o andar onde foi realizada a chamada. A chamada é cancelada quando um elevador com a direção solicitada pára no andar correspondente. Esta estratégia é adequada para atender o tráfego inter-andares (Barney & Dos Santos).

**Estratégia utilizada:**

A estratégia de pico de subida e descida já é adotada no prédio da Escola Politécnica, portanto ela será mantida, pois se aplica a edifícios de poucos andares que possuem dois ou três elevadores, porém não há interligação da seleção entre os dois elevadores, ou seja, eles são independentes entre si.

**Estratégia proposta:**

Neste caso, os dois elevadores atuariam em grupo. Com isso, quando ocorresse uma determinada chamada de andar, seria selecionado o elevador “melhor posicionado”. Ainda, será adotada uma estratégia para tráfego de pico de subida e descida, onde a velocidade do elevador seria aumentada para 1,5 m/s nos horários de pico de subida (das 7:00 hs às 9:00 hs, o qual corresponde ao período de chegada dos alunos para assistirem às aulas do turno matutino e dos funcionários; e das 12:30 hs às 13:30 hs, período que corresponde à chegada dos alunos para assistirem às aulas do turno vespertino e a volta dos funcionários do almoço) e nos horários de pico de descida (das 18:00 hs às 19:00 hs, período de saída dos funcionários e de grande parte dos alunos). Nos outros horários, não haveria aumento de velocidade, que permaneceria em 1,0 m/s.

Essa estratégia será ativada pelo CLP (Controlador Lógico Programável) que deverá acionar o inversor de frequência, nestes períodos em que é detectada no elevador, mediante o uso de um detector de peso, uma carga igual ou maior a 80% da capacidade permitida para este.

**Estratégia em caso de incêndio**

A operação dos elevadores em caso de incêndio tem por objetivo parar rapidamente suas funções, e não considera o transporte de passageiros como prioridade, pois o sistema não

tem capacidade suficiente de transporte para atender um rush de passageiros em pânico, e o transporte nestes casos poderia agravar o desastre (Elevator World,1990).

### **Estratégia utilizada:**

No caso de ser detectado fogo no prédio, os elevadores deverão ser desligados imediatamente e os usuários não deverão utilizá-los.

### **Estratégia proposta:**

No caso de ser detectado fogo no prédio, o sistema de detecção de incêndio deve enviar um sinal para o SGP (Sistema de Gerenciamento do Prédio), o qual interpreta e envia a informação pertinente para o CLP. Para o caso do sistema do elevador, a informação recebida permite a execução das seguintes atividades:

- Desabilitar o botão de chamada de cabina do elevador, para evitar movimentações não autorizadas durante a execução da estratégia.
- Desabilitar o botão de cada pavimento, com a finalidade de evitar que o elevador se desloque até algum andar.
- Parar o elevador no andar mais próximo no sentido do seu movimento, no caso de não estar parado em algum deles, para realizar a evacuação de passageiros.
- Desligar o elevador.

### **Estratégia em caso de falta de energia**

Esta estratégia opera os elevadores mais eficientemente com um mínimo de dispêndio de energia e realiza as atividades de emergência pertinentes imediatamente (Gustin, 1999).

Como não existe gerador elétrico na Escola Politécnica, não há nenhuma estratégia para este caso. Então, seria instalado um gerador elétrico no prédio e, na falta de fornecimento de energia pela concessionária, o sistema de gerenciamento de energia deverá acionar os geradores. Neste caso, o CLP é informado desta situação pelo SGP. A partir do recebimento desta informação a estratégia é ativada e as atividades a serem realizadas são:

- Desabilitar o botão de cada pavimento.
- Desabilitar o botão de chamada de cabina do elevador.
- Parar o elevador no andar mais próximo no sentido do seu movimento, no caso de não estar parado em algum deles e quando sua movimentação atual os afaste do quinto andar. O objetivo é permitir a evacuação de passageiros que assim o desejem e evitar o consumo excessivo de energia.
- Movimentar o elevador até o quinto andar, evitando sobrecarga de energia.

### **Estratégia em caso de falha**

#### **Estratégia utilizada:**

No caso de ser detectado uma falha no elevador, soa um alarme de emergência para que o técnico responsável venha solucionar o problema.

#### **Estratégia proposta:**

No caso de ser detectado uma falha no elevador, pelo sistema de diagnóstico de falhas, este enviará um sinal ao SGP, que, em seguida, transmitirá a informação ao CLP que, por sua vez, permitirá a realização das seguintes atividades:

- Desabilitar o botão de chamada da cabina do elevador.
- Desabilitar o botão de cada pavimento.
- Movimentar o elevador até o primeiro andar.
- Desligar o elevador.
- Colocar o elevador em estado de manutenção/conserto.

Segundo (Gustin, 1999), as falhas que podem acontecer geralmente no sistema de elevadores são:

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

#### **4.6.3. Sistema de prioridade**

Para um melhor entendimento da análise do sistema do elevador composto de oito andares através do diagrama lógico e das Redes de Petri, é importante salientar que foi adotado um sistema de prioridades para cada andar com o objetivo de solucionar possíveis transtornos nos casos em que o elevador recebe mais de uma chamada simultaneamente. Então, para o caso dos elevadores da Escola Politécnica, deve-se considerar dois tipos de andares: os extremos e os intermediários, no qual cada um deles deve ser analisado separadamente. Porém, cabe lembrar que os elevadores só se deslocam até o sétimo andar, pois no último andar fica localizado a casa de máquinas. Assim, foram consideradas as seguintes chamadas:

- Chamadas que são prioritárias no caso em que o elevador estiver nos andares extremos:
  - Atendimento das pessoas que são identificadas pelo detector de presença.
  - Acionamento do botão de chamada de algum outro pavimento ou do botão da cabina. No caso de ser acionado dois andares simultaneamente, a prioridade é o andar mais próximo.
  
- Chamadas que são prioritárias no caso em que o elevador estiver nos andares intermediários:
  - Atendimento das pessoas que são identificadas pelo detector de presença.
  - Acionamento do botão de chamada de algum outro pavimento ou do botão da cabina. No caso de ser acionado dois andares simultaneamente deve-se respeitar o sentido de movimento do elevador.

Pavimento	Tipo de andar	Tipo de controle
Primeiro	Extremo	Controle automático coletivo de subida
Segundo	Intermediário	Controle automático coletivo de subida/descida
Terceiro	Intermediário	Controle automático coletivo de subida/descida
Quarto	Intermediário	Controle automático coletivo de subida/descida
Quinto	Intermediário	Controle automático coletivo de subida/descida
Sexto	Intermediário	Controle automático coletivo de subida/descida
Sétimo	Extremo	Controle automático coletivo de descida

Tabela 4.3 - Tipo de andar e controle de cada pavimento.

Sendo  $n$  e  $x$  pavimentos tal que  $1 < n < 7$  e  $0 < x < 6$ , duas situações devem ser levadas em consideração:

- 1) O elevador está em movimento ascendente: Se o elevador está no pavimento  $n$ , a prioridade deve ser o andar mais próximo no sentido de seu movimento, quando sua movimentação atual os afaste do primeiro andar. Nesta situação, só serão considerados prioritários os andares  $n+x$ .
- 2) O elevador está em movimento descendente: Se o elevador está no pavimento  $n$ , a prioridade deve ser o andar mais próximo no sentido de seu movimento, quando sua movimentação atual os aproxime do primeiro andar. Nesta situação, só serão considerados prioritários os andares  $n-x$ .

#### 4.6.4. Diagrama Lógico

##### Diagrama lógico do elevador em operação

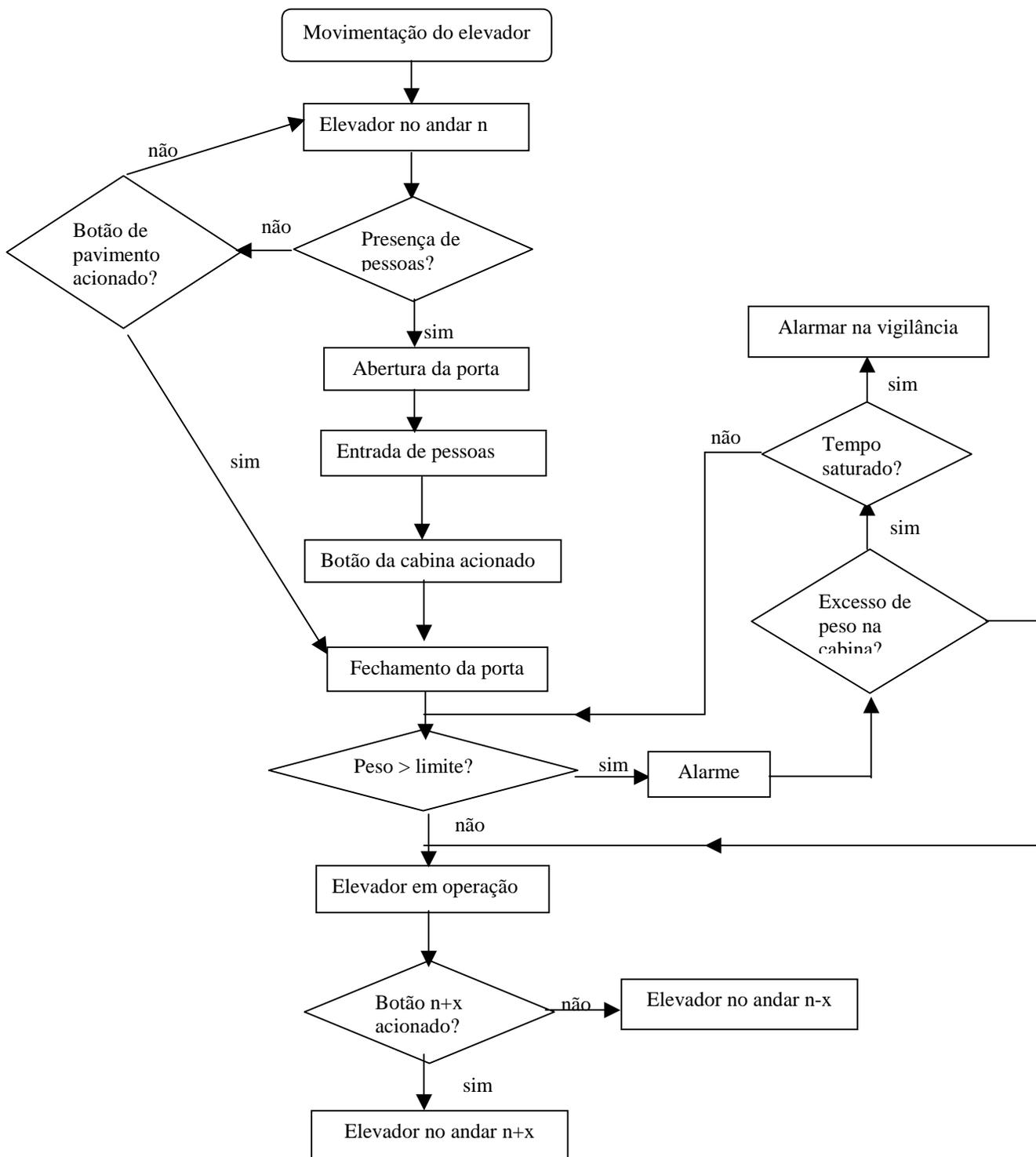


Figura 4.12 - Diagrama lógico do elevador em operação.

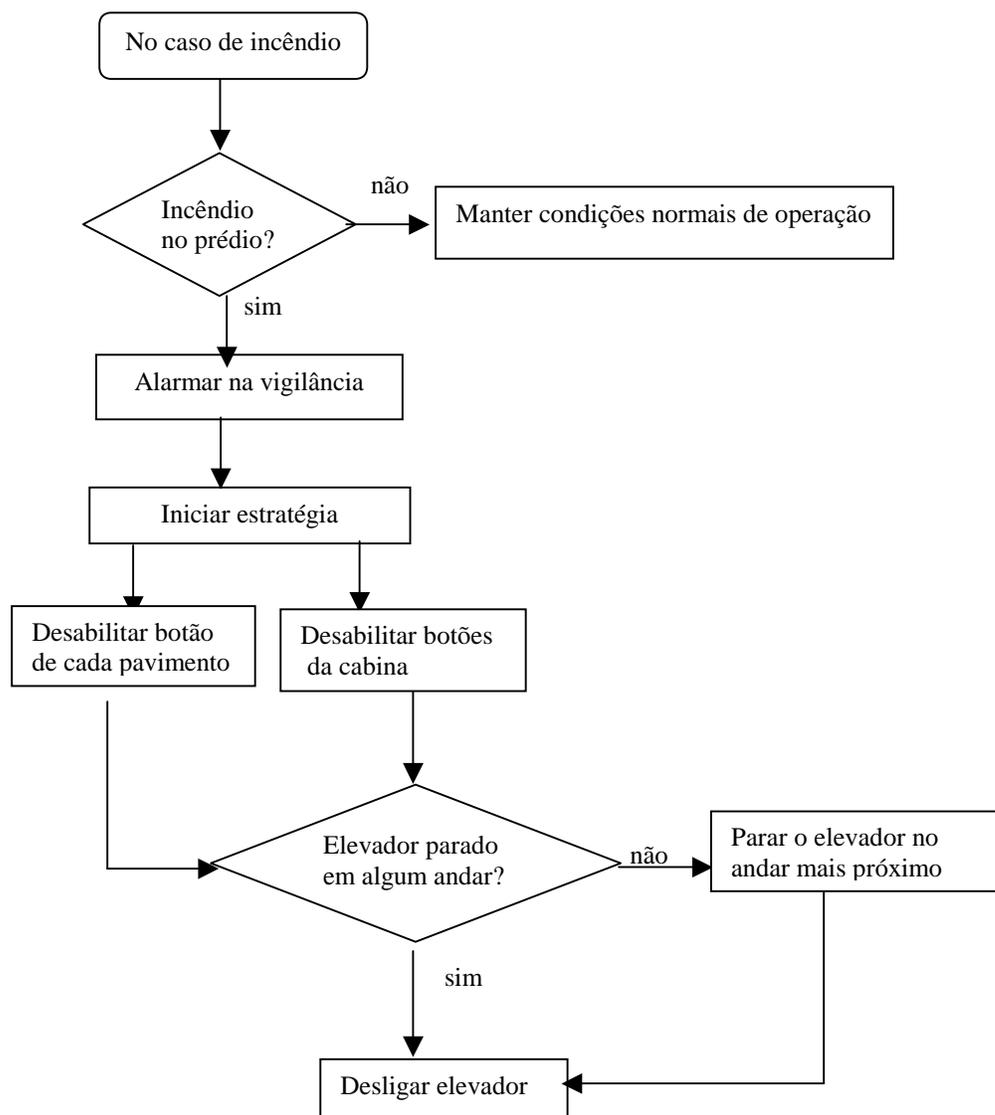
**Diagrama lógico do elevador no caso de incêndio**

Figura 4.13 - Diagrama lógico do elevador no caso de incêndio.

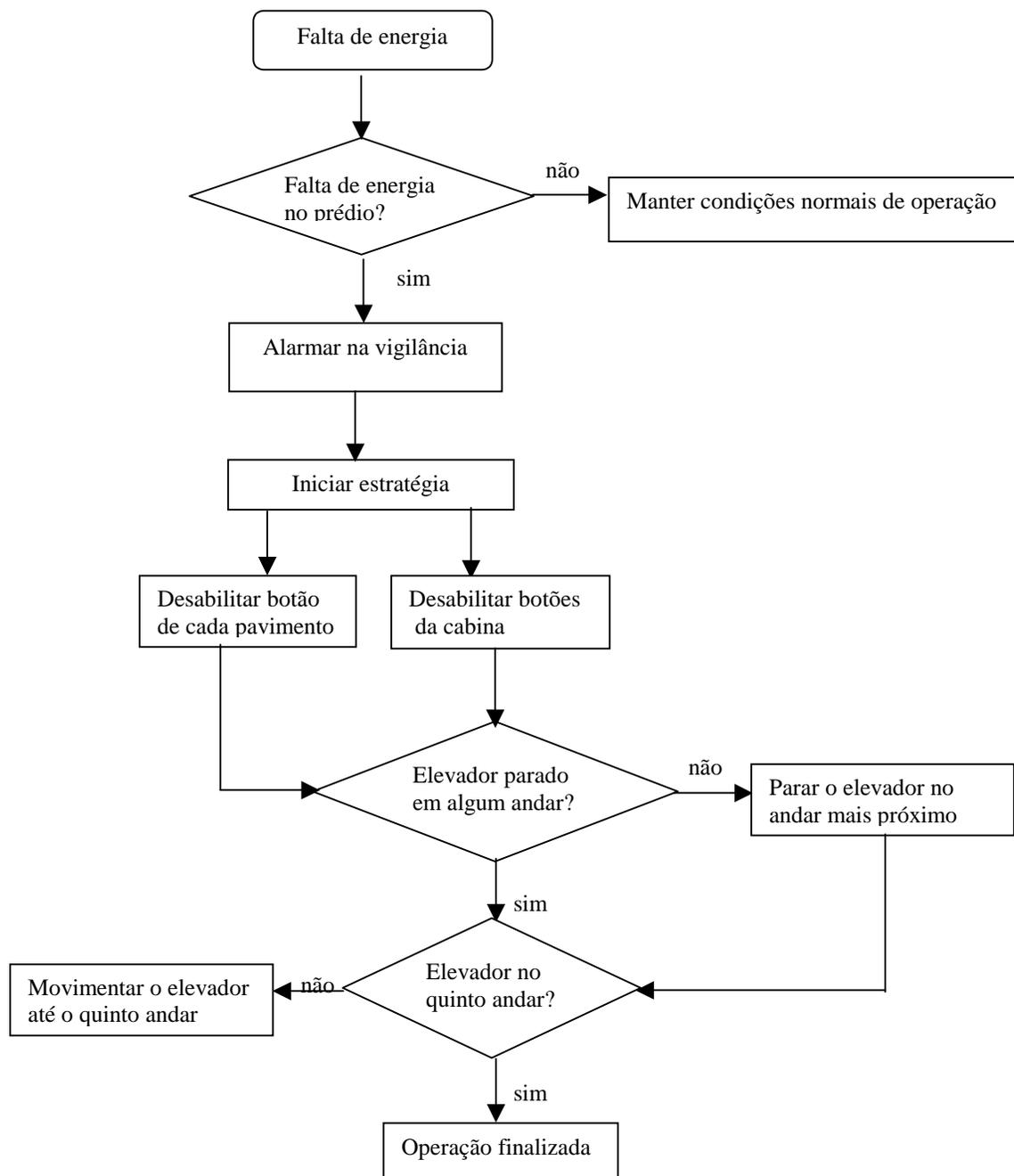
**Diagrama lógico do elevador no caso de falta de energia**

Figura 4.14 - Diagrama lógico do elevador no caso de falta de energia.

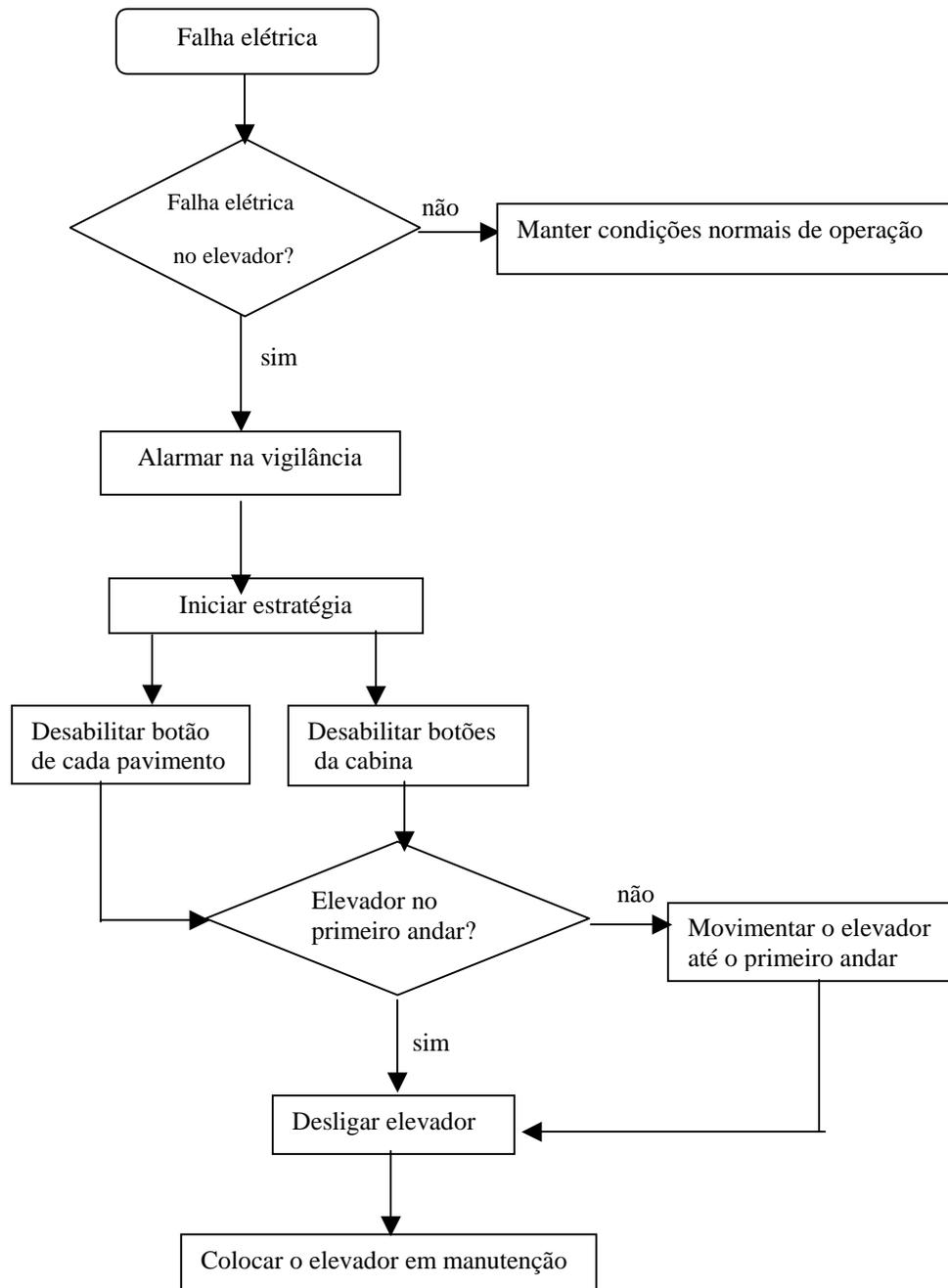
**Diagrama lógico do elevador no caso de falha**

Figura 4.15 - Diagrama lógico do elevador no caso de falha.

### 4.6.5. Modelagem do Sistema de Elevadores

#### Modelagem estrutural do sistema de elevadores

Na modelagem estrutural são identificadas as partes que compõem o sistema de elevadores, conforme pertençam ao dispositivo de controle ou ao objeto de controle. Na figura 4.16, observa-se a modelagem estrutural obtida para o sistema de elevadores da EPUFBA.

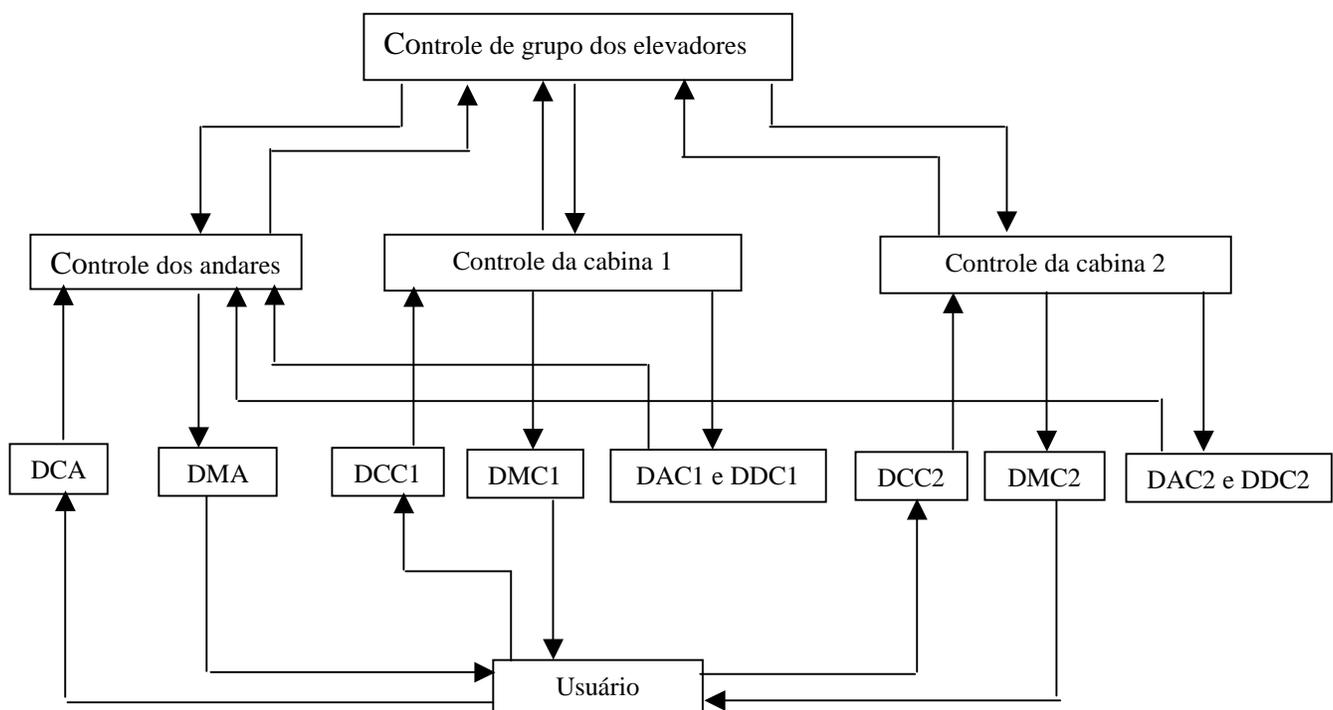


Figura 4.16 - Modelagem estrutural do sistema de elevadores da EPUFBA.

DCA = dispositivo de comando de andar

DMA = dispositivo de monitoração de andar

DCC1 = dispositivo de comando da cabina 1

DMC1 = dispositivo de monitoração da cabina 1

DAC1 = dispositivo de atuação da cabina 1

DDC1 = dispositivo de detecção da cabina 1

DCC2 = dispositivo de comando da cabina 2

DMC2 = dispositivo de monitoração da cabina 2

DAC2 = dispositivo de atuação da cabina 2

DDC2 = dispositivo de detecção da cabina 2

### Modelagem conceitual e funcional do sistema de elevadores

Os modelos conceitual e funcional do sistema de elevadores da EPUFBA são desenvolvidos de acordo com as informações obtidas no levantamento de dados e conforme a modelagem estrutural.

### Modelagem geral do controle do sistema de elevadores

Considerando como um sistema a eventos discretos, o sistema de elevadores pode ser decomposto para seu estudo conforme o esquema apresentado na figura 4.17 (Miyagi, 1996).

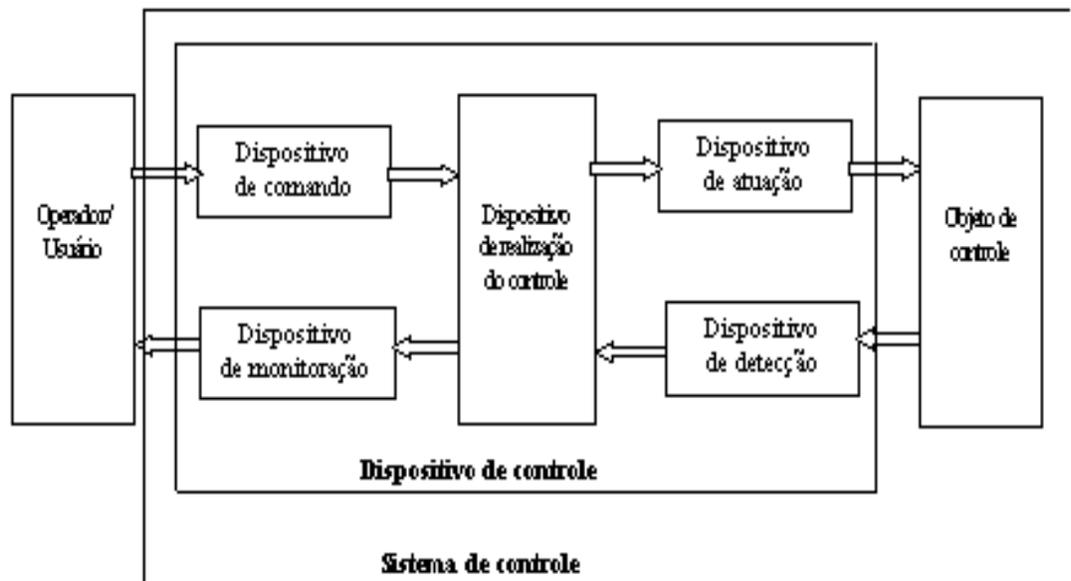


Figura 4.17 - Diagrama conceitual do sistema de elevadores.

Segundo este diagrama, os principais dispositivos utilizados no controle de sistema de elevadores podem ser classificados da seguinte forma:

Dispositivo	Equipamentos
Comando	Botoeiras (no andar e na cabina).
Monitoração	Sinalizadores de registro de comando (de cabina e de andar), alarmes de emergência.
Atuação	Motores das cabinas, inversores de frequência.
Detecção	Detectores de peso, de presença e de posição.
Realização	Controlador lógico programável, computador.

Tabela 4.4. Dispositivos utilizados no controle de sistemas de elevadores.

O sistema de controle dos elevadores envia comandos e informações ao CLP, que processa esses dados e permite realizar as seguintes ações: ligar ou desligar elevadores, colocar elevador em operação e executar algum tipo de estratégia. Para esta modelagem serão considerados os seguintes atributos:

- Ordem: define os diferentes comandos que são enviados aos elevadores pelo CLP a qualquer momento, como, por exemplo, executar estratégias, colocar elevador em movimento, ligar elevadores, desligar elevadores.
- Complemento da ordem: especifica a ordem, que, para este caso, se refere à ordem de executar estratégias. Em relação às estratégias podem-se adotar os seguintes valores: estratégia de pico de subida e descida, estratégia em caso de falta de energia, estratégia em caso de incêndio e estratégia em caso de falha no elevador.
- Elevador: Define qual o elevador para o qual é enviada a respectiva ordem.

O modelo geral para o controle do sistema de elevadores é apresentado na figura 4.18:

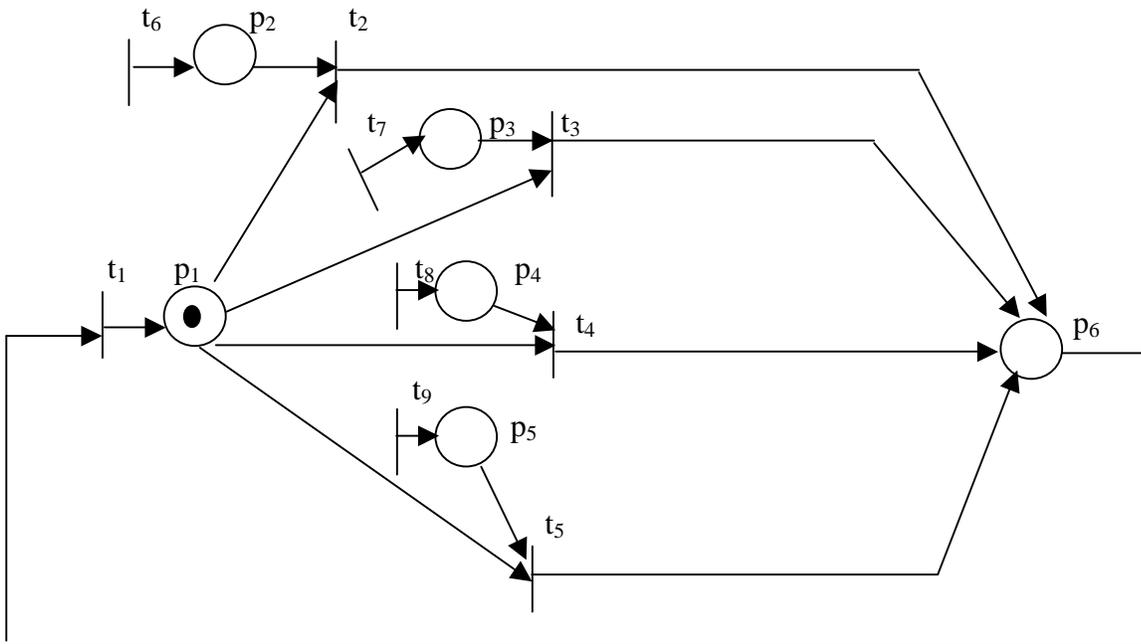


Figura 4.18 - Modelo conceitual geral para o sistema de elevadores.

#### Lugares

- $p_1$  = CLP ativado
- $p_2$  = sistema ativado ou botão de chamada habilitado para determinada estratégia
- $p_3$  = conversor de frequência ativado
- $p_4$  = motor elétrico ligado
- $p_5$  = motor elétrico desligado
- $p_6$  = processamento de informações no CLP

#### Transições

- $t_1$  = ativar CLP
- $t_2$  = executar estratégia
- $t_3$  = colocar elevador em movimento
- $t_4$  = ligar elevador
- $t_5$  = desligar elevador
- $t_6$  = ativar sistema ou habilitar botão de chamada para determinada estratégia
- $t_7$  = ativar conversor de frequência
- $t_8$  = ligar motor elétrico
- $t_9$  = desligar motor elétrico

## Modelagem das estratégias

Além das estratégias que permitem a seleção do elevador melhor posicionado para atender a uma determinada chamada, existem estratégias que proporcionam uma maior segurança para os usuários, possibilitando ao sistema de elevadores interagir com os outros sistemas do edifício. A modelagem conceitual das estratégias é descrita na figura 4.19.

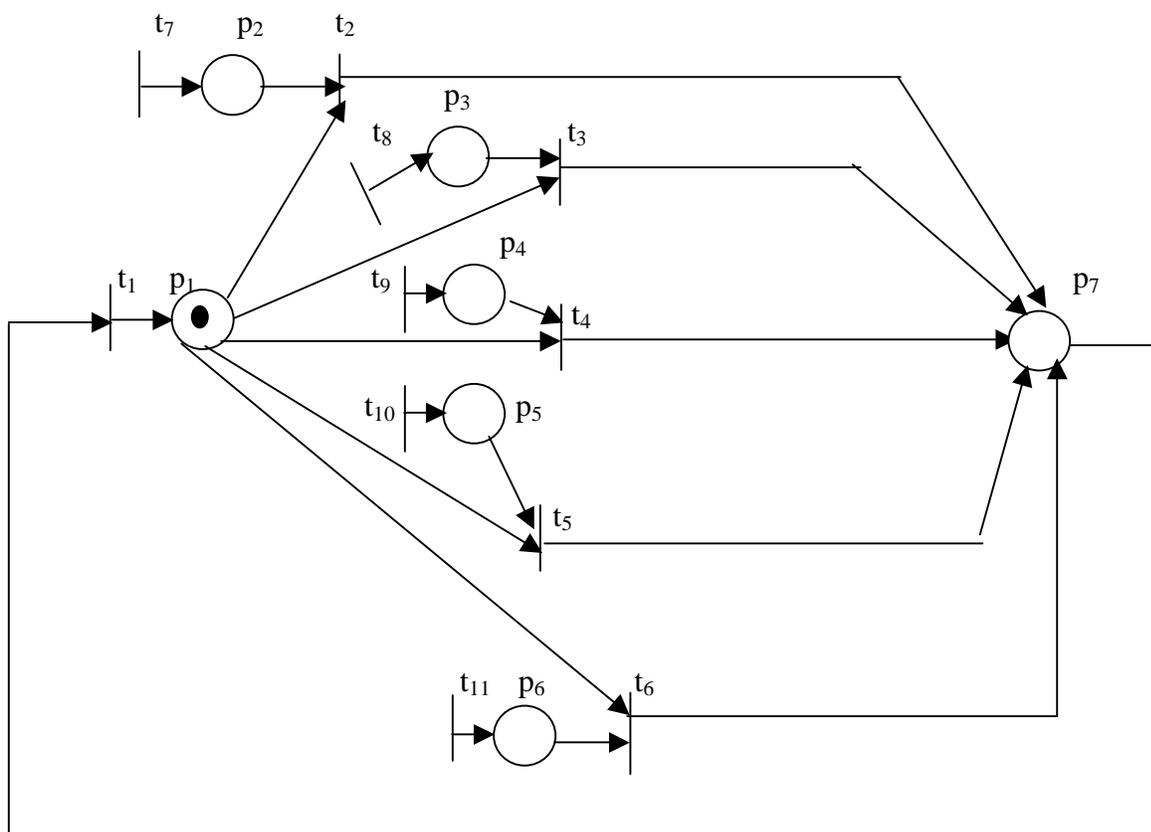


Figura 4.19 - Modelagem conceitual das estratégias.

### Lugares

- $p_1$  = CLP ativado
- $p_2$  = botão de chamada de andar superior habilitado
- $p_3$  = botão de chamada de andar inferior habilitado
- $p_4$  = sistema de detecção de incêndio ativado
- $p_5$  = sistema de gerenciamento de energia ativado

$p_6$  = sistema de diagnóstico de falha ativado  
 $p_7$  = processamento de informações no CLP

### Transições

$t_1$  = ativar CLP  
 $t_2$  = ativar estratégia de tráfego de pico de subida  
 $t_3$  = ativar estratégia de tráfego de pico de descida  
 $t_4$  = ativar estratégia de incêndio  
 $t_5$  = ativar estratégia de falta de energia  
 $t_6$  = ativar estratégia de falha  
 $t_7$  = habilitar chamada de andar superior  
 $t_8$  = habilitar chamada de andar inferior  
 $t_9$  = ativar sistema de detecção de incêndio  
 $t_{10}$  = ativar sistema de gerenciamento de energia  
 $t_{11}$  = ativar sistema de diagnóstico de falha

### Modelagem das estratégias de tráfego de pico de subida e descida

Sejam  $n$  e  $x$  pavimentos tal que  $1 \leq n \leq 7$  e  $0 < x \leq 6$ , consideremos os andares específicos  $n-x$ ,  $n$  e  $n+x$ , e os possíveis movimentos da cabina do elevador em relação ao andar  $n$ . Então, pode-se ter três possibilidades:

- O elevador está localizado no primeiro andar:  $n=1$  e  $0 < x \leq 6$ .
- O elevador está localizado no sétimo andar:  $n=7$  e  $0 < x \leq 6$ .
- O elevador está localizado entre os andares extremos:  $1 < n < 7$  e  $0 < x < 6$ .

A seguir serão analisadas detalhadamente cada uma dessas possibilidades.

#### Elevador localizado no primeiro andar

Então, o elevador poderá se deslocar entre os andares  $n$  e  $n+x$ , com  $0 < x \leq 6$ . Neste caso, considerando os movimentos da cabina relativos ao andar  $n$ , existem duas possibilidades para o seu deslocamento, conforme pode ser observado na figura 4.20.

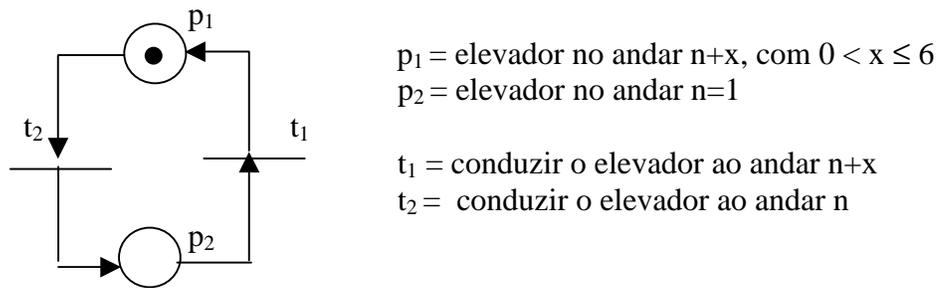


Figura 4.20 - Modelagem geral para o elevador localizado no primeiro andar

Das duas possibilidades existentes para o deslocamento do elevador no primeiro andar, uma é específica da estratégia de tráfego de pico de subida e a outra é específica da estratégia de pico de descida, conforme pode ser visto na figura 4.21.

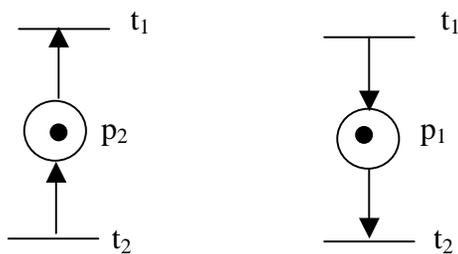
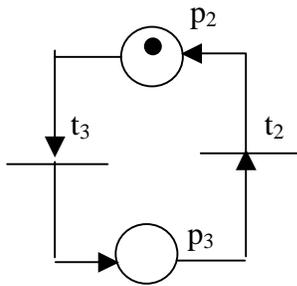


Figura 4.21 - Modelagem geral da estratégia de tráfego de pico de subida e da estratégia de tráfego de pico de descida para o elevador no primeiro andar.

### **Elevador localizado no sétimo andar**

Então, o elevador poderá se deslocar entre os andares  $n$  e  $n-x$ , com  $0 < x \leq 6$ . Neste caso, considerando os movimentos da cabina relativos ao andar  $n$ , existem duas possibilidades para o seu deslocamento, conforme pode ser observado na figura 4.22.



$p_2$  = elevador no andar  $n=7$

$p_3$  = elevador no andar  $n-x$ , com  $0 < x \leq 6$

$t_2$  = conduzir o elevador ao andar  $n$

$t_3$  = conduzir o elevador ao andar  $n-x$

Figura 4.22 - Modelagem geral para o elevador localizado no sétimo andar.

Das duas possibilidades existentes para o deslocamento do elevador no sétimo andar, uma é específica da estratégia de tráfego de pico de subida e a outra é específica da estratégia de pico de descida, conforme pode ser visto na figura 4.23.

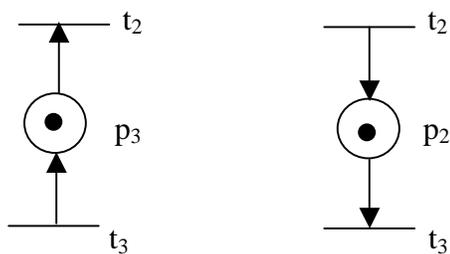


Figura 4.23 - Modelagem geral da estratégia de tráfego de pico de subida e da estratégia de tráfego de pico de descida para o elevador no sétimo andar.

### **Elevador localizado entre os andares extremos**

Então, o elevador poderá se deslocar entre os andares  $n$ ,  $n-x$  e  $n+x$ , com  $0 < x < 6$ . Neste caso, considerando os movimentos da cabina relativos ao andar  $n$ , existem seis possibilidades para o seu deslocamento, conforme pode ser observado na figura 4.24.

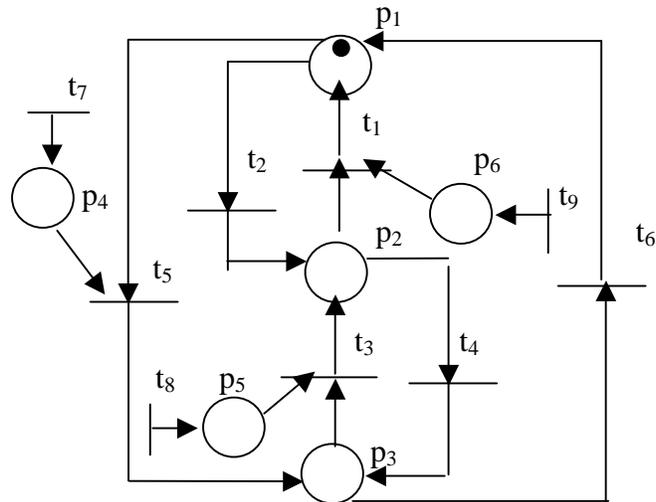


Figura 4.24 - Modelagem geral para o elevador localizado entre os andares extremos.

#### Lugares

- $p_1$  = elevador no andar  $n+x$ , com  $0 < x < 7$
- $p_2$  = elevador no andar  $n$ , com  $1 < n < 7$  e  $0 < x < 6$
- $p_3$  = elevador no andar  $n-x$ , com  $0 < x < 7$
- $p_4$  = botão de andar  $n-x$  habilitado
- $p_5$  = botão de andar  $n$  habilitado
- $p_6$  = botão de andar  $n+x$  habilitado

#### Transições

- $t_1$  = conduzir o elevador do andar  $n$  ao andar  $n+x$
- $t_2$  = conduzir o elevador do andar  $n+x$  ao andar  $n$
- $t_3$  = conduzir o elevador do andar  $n-x$  ao andar  $n$
- $t_4$  = conduzir o elevador do andar  $n$  ao andar  $n-x$
- $t_5$  = conduzir o elevador do andar  $n+x$  ao andar  $n-x$
- $t_6$  = conduzir o elevador do andar  $n-x$  ao andar  $n+x$
- $t_7$  = habilitar chamada de andar  $n-x$
- $t_8$  = habilitar chamada de andar  $n$
- $t_9$  = habilitar chamada de andar  $n+x$

Das seis possibilidades existentes para o deslocamento do elevador, três são específicas da estratégia de tráfego de pico de subida e as outras três são específicas da estratégia de pico de descida, conforme pode ser visto na figura 4.25.

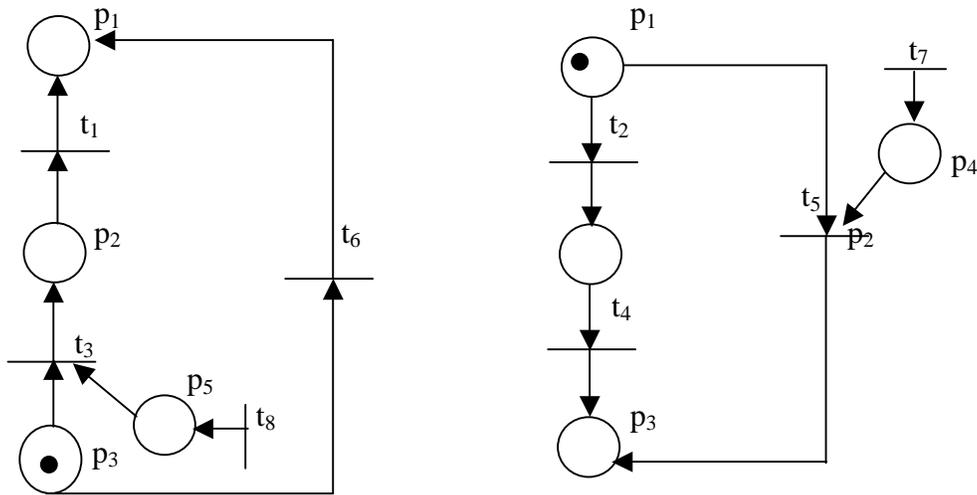


Figura 4.25 - Modelagem geral da estratégia de tráfego de pico de subida e da estratégia de tráfego de pico de descida para o elevador entre os andares extremos.

### Modelagem específica para o elevador localizado em um determinado andar

Para o elevador se deslocar de um determinado andar para outro, outras variáveis devem estar envolvidas, como, por exemplo, ativar alarme de emergência, abrir a porta do elevador, etc. Dessa forma, considerando a interferência dessas variáveis no processo de movimentação da cabina, pode-se determinar uma modelagem específica para as seguintes situações:

- O elevador no andar  $n$ , com  $1 \leq n \leq 7$ , onde serão consideradas todas as movimentações da cabina relativas ao andar  $n$ .
- O elevador no andar  $n+x$ , com  $1 < n \leq 7$  e  $1 \leq x \leq 6$ , onde serão consideradas todas as movimentações da cabina relativas ao andar  $n+x$ .
- O elevador no andar  $n-x$ , com  $1 \leq n < 7$  e  $1 \leq x \leq 6$ , onde serão consideradas todas as movimentações da cabina relativas ao andar  $n-x$ .

A partir destas situações, os modelos propostos são delineados nas figuras seguintes.

### Modelagem específica para a estratégia de tráfego de pico de subida

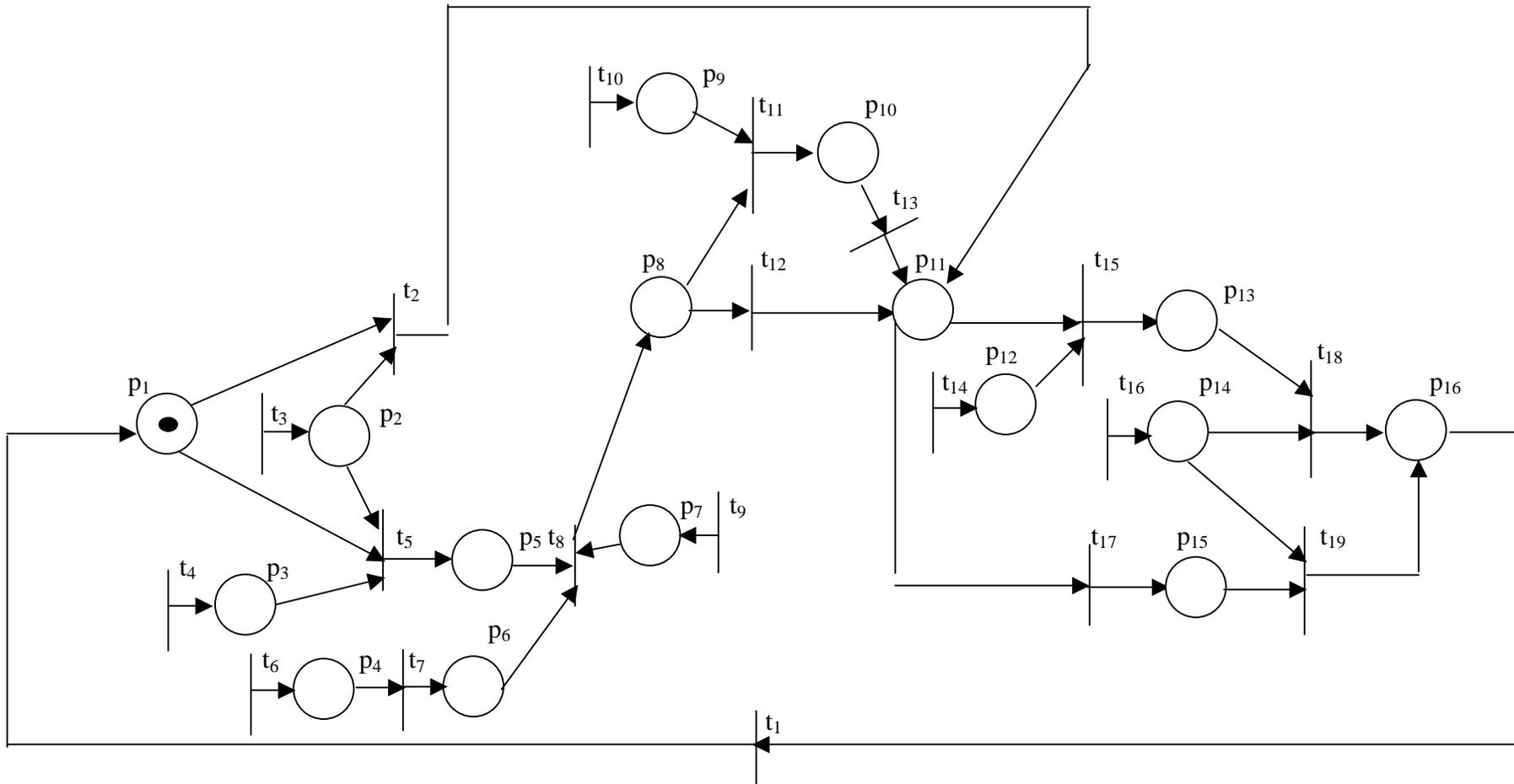


Figura 4.26 - Modelagem específica para a estratégia de tráfego de pico de subida.

## Lugares

- $p_1$  = elevador no andar  $n$
- $p_2$  = botões de chamada dos outros pavimentos
- $p_3$  = detector de presença
- $p_4$  = detector de posição
- $p_5$  = elevador com a porta aberta
- $p_6$  = pessoas dentro do elevador
- $p_7$  = botões de chamada da cabina
- $p_8$  = elevador com a porta fechada
- $p_9$  = detector de carga
- $p_{10}$  = alarme de emergência
- $p_{11}$  = elevador em operação
- $p_{12}$  = conversor de frequência ativado para aumentar a velocidade do elevador
- $p_{13}$  = elevador com velocidade de 1,5 m/s
- $p_{14}$  = chamada de andar  $n+x$  habilitado
- $p_{15}$  = elevador com velocidade de 1,0 m/s
- $p_{16}$  = elevador no andar  $n+x$

## Transições

- $t_1$  = conduzir o elevador ao andar  $n$
- $t_2$  = colocar elevador em operação se o sensor de presença não estiver ativado
- $t_3$  = habilitar botão de chamada dos outros pavimentos
- $t_4$  = ativar sensor de presença
- $t_5$  = abrir a porta do elevador
- $t_6$  = ativar sensor de posição
- $t_7$  = detectar presença de pessoas dentro do elevador
- $t_8$  = fechar porta do elevador
- $t_9$  = habilitar botão de chamada da cabina
- $t_{10}$  = ativar detector de carga
- $t_{11}$  = ativar alarme de emergência
- $t_{12}$  = colocar o elevador em operação após o fechamento da porta
- $t_{13}$  = colocar elevador em operação após a desativação do detector de carga
- $t_{14}$  = ativar conversor de frequência para aumentar a velocidade do elevador
- $t_{15}$  = aumentar a velocidade do elevador
- $t_{16}$  = habilitar chamada de andar  $n+x$
- $t_{17}$  = manter a velocidade do elevador constante
- $t_{18}$  = conduzir o elevador com velocidade aumentada ao andar  $n+x$
- $t_{19}$  = conduzir o elevador com velocidade constante ao andar  $n+x$

**Modelagem específica para a estratégia de tráfego de pico de descida**

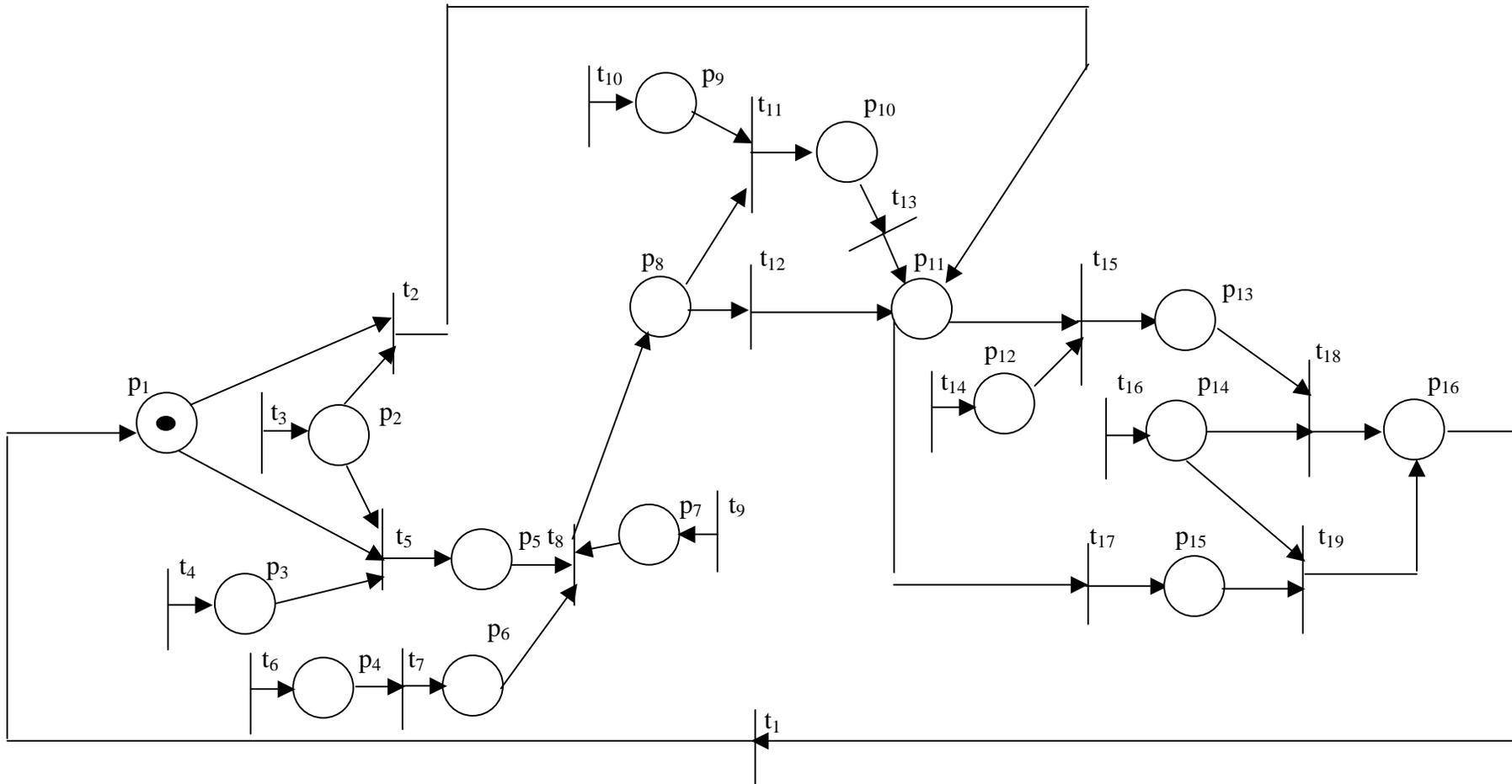


Figura 4.27 - Modelagem específica para a estratégia de tráfego de pico de descida.



## Lugares

- $p_1$  = elevador no andar n
- $p_2$  = botões de chamada dos outros pavimentos
- $p_3$  = detector de presença
- $p_4$  = detector de posição
- $p_5$  = elevador com a porta aberta
- $p_6$  = pessoas dentro do elevador
- $p_7$  = botões de chamada da cabina
- $p_8$  = elevador com a porta fechada
- $p_9$  = detector de carga
- $p_{10}$  = alarme de emergência
- $p_{11}$  = elevador em operação
- $p_{12}$  = conversor de frequência ativado para aumentar a velocidade do elevador
- $p_{13}$  = elevador com velocidade de 1,5 m/s
- $p_{14}$  = chamada de andar n-x habilitado
- $p_{15}$  = elevador com velocidade de 1,0 m/s
- $p_{16}$  = elevador no andar n-x

## Transições

- $t_1$  = conduzir o elevador ao andar n
- $t_2$  = colocar elevador em operação se o sensor de presença não estiver ativado
- $t_3$  = habilitar botão de chamada dos outros pavimentos
- $t_4$  = ativar sensor de presença
- $t_5$  = abrir a porta do elevador
- $t_6$  = ativar sensor de posição
- $t_7$  = detectar presença de pessoas dentro do elevador
- $t_8$  = fechar porta do elevador
- $t_9$  = habilitar botão de chamada da cabina
- $t_{10}$  = ativar detector de carga
- $t_{11}$  = ativar alarme de emergência
- $t_{12}$  = colocar o elevador em operação após o fechamento da porta
- $t_{13}$  = colocar elevador em operação após a desativação do detector de carga
- $t_{14}$  = ativar conversor de frequência para aumentar a velocidade do elevador
- $t_{15}$  = aumentar a velocidade do elevador
- $t_{16}$  = habilitar chamada de andar n-x
- $t_{17}$  = manter a velocidade do elevador constante
- $t_{18}$  = conduzir o elevador com velocidade aumentada ao andar n-x
- $t_{19}$  = conduzir o elevador com velocidade constante ao andar n-x

## Modelagem para o sistema de prioridades

No caso de ocorrerem várias chamadas simultâneas, para não ocorrer conflito, é necessário a seleção de uma única chamada que seja prioritária. Nesta situação, devem ser levados em consideração, além das chamadas de andar e da cabina, o sentido de movimento do elevador.

Além disso, na hipótese de ocorrerem chamadas simultâneas de todos os andares, é necessário observar que se o elevador está parado em um determinado andar, a prioridade é atender as chamadas daquele andar, para depois atender as chamadas subsequentes, e é esta hipótese que foi considerada para a construção deste modelo. A partir desta informação, as seguintes variáveis serão consideradas:

- $X \rightarrow$  chamadas de andar
- $A \rightarrow$  posições relativas do elevador
- $B \rightarrow$  chamada prioritária

Neste modelo, cada chamada de andar vai interagir com as possíveis posições relativas do elevador, o que vai resultar numa única chamada que será prioritária.

Considerando todas as interações possíveis, vale ressaltar que sempre existirá uma situação em que um determinado andar terá prioridade sobre os demais, ou seja, todos os andares serão atendidos em um determinado momento.

A seguir, é apresentado o modelo proposto com a descrição de todas as variáveis envolvidas no processo.

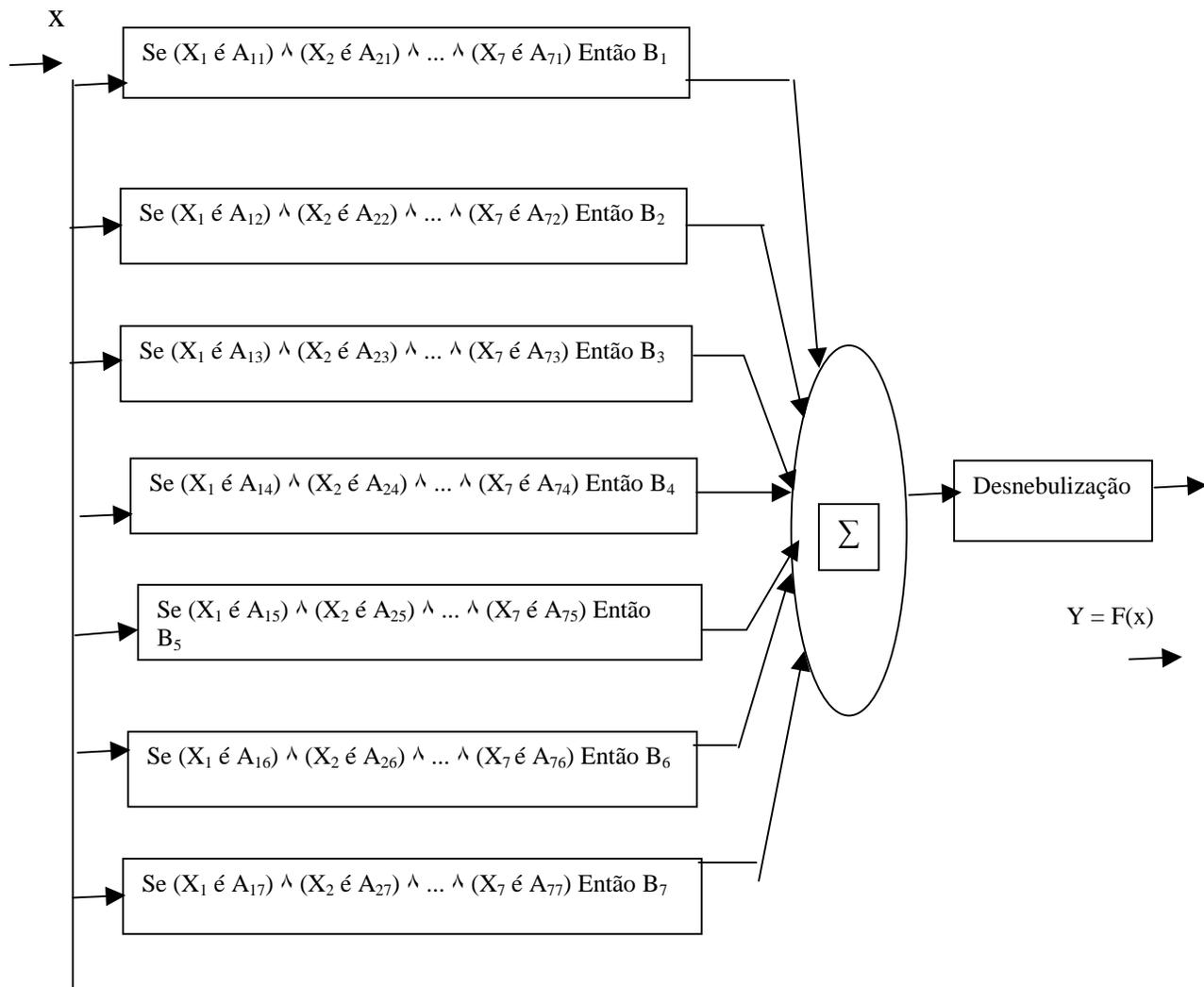


Figura 4.28 - Representação da modelagem do sistema de prioridades por um sistema aditivo nebuloso.

$X_1$ = chamada de primeiro andar	$B_1$ = priorizar a chamada de primeiro andar
$X_2$ = chamada de segundo andar	$B_2$ = priorizar a chamada de segundo andar
$X_3$ = chamada de terceiro andar	$B_3$ = priorizar a chamada de terceiro andar
$X_4$ = chamada de quarto andar	$B_4$ = priorizar a chamada de quarto andar
$X_5$ = chamada de quinto andar	$B_5$ = priorizar a chamada de quinto andar
$X_6$ = chamada de sexto andar	$B_6$ = priorizar a chamada de sexto andar
$X_7$ = chamada de sétimo andar	$B_7$ = priorizar a chamada de sétimo andar

CC = chamadas da cabina

$A_{11}$  = elevador parado no primeiro andar  
 $A_{21}$  = elevador no segundo andar em movimento descendente  
 $A_{31}$  = elevador no terceiro andar, movimento descendente, CC  $\neq$  2  
 $A_{41}$  = elevador no quarto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  2,3  
 $A_{51}$  = elevador no quinto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  2,3,4  
 $A_{61}$  = elevador no sexto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  2,3,4,5  
 $A_{71}$  = elevador no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  2,3,4,5,6

$A_{12}$  = elevador no primeiro andar em movimento ascendente  
 $A_{22}$  = elevador parado no segundo andar  
 $A_{32}$  = elevador no terceiro andar em movimento descendente  
 $A_{42}$  = elevador no quarto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  3  
 $A_{52}$  = elevador no quinto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  3,4  
 $A_{62}$  = elevador no sexto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  3,4,5  
 $A_{72}$  = elevador no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  3,4,5,6

$A_{13}$  = elevador no primeiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  2  
 $A_{23}$  = elevador no segundo andar em movimento ascendente  
 $A_{33}$  = elevador parado no terceiro andar  
 $A_{43}$  = elevador no quarto andar em movimento descendente  
 $A_{53}$  = elevador no quinto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  4  
 $A_{63}$  = elevador no sexto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  4,5  
 $A_{73}$  = elevador no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  4,5,6

$A_{14}$  = elevador no primeiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  2,3  
 $A_{24}$  = elevador no segundo andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  3  
 $A_{34}$  = elevador no terceiro andar em movimento ascendente  
 $A_{44}$  = elevador parado no quarto andar  
 $A_{54}$  = elevador no quinto andar em movimento descendente  
 $A_{64}$  = elevador no sexto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  5  
 $A_{74}$  = elevador no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  5,6

$A_{15}$  = elevador no primeiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  2,3,4  
 $A_{25}$  = elevador no segundo andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  3,4  
 $A_{35}$  = elevador no terceiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  4  
 $A_{45}$  = elevador no quarto andar em movimento ascendente  
 $A_{55}$  = elevador parado no quinto andar  
 $A_{65}$  = elevador no sexto andar em movimento descendente  
 $A_{75}$  = elevador no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  6

$A_{16}$  = elevador no primeiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  2,3,4,5  
 $A_{26}$  = elevador no segundo andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  3,4,5  
 $A_{36}$  = elevador no terceiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  4,5  
 $A_{46}$  = elevador no quarto andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  5  
 $A_{56}$  = elevador no quinto andar em movimento ascendente  
 $A_{66}$  = elevador parado no sexto andar  
 $A_{76}$  = elevador no sétimo andar em movimento descendente

$A_{17}$  = elevador no primeiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  2,3,4,5,6  
 $A_{27}$  = elevador no segundo andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  3,4,5,6  
 $A_{37}$  = elevador no terceiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  4,5,6  
 $A_{47}$  = elevador no quarto andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  5,6  
 $A_{57}$  = elevador no quinto andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  6  
 $A_{67}$  = elevador no sexto andar em movimento ascendente  
 $A_{77}$  = elevador parado no sétimo andar

### **Modelagem para o controle de grupo**

Quando ocorrem duas chamadas simultâneas num mesmo andar (uma em cada elevador), os dois elevadores se deslocam para o andar desejado a fim de atender a chamada solicitada. Através da estratégia de pico de subida e descida, será realizado um controle de grupo, que irá selecionar apenas um elevador para atender a esta chamada. A seleção será baseada na escolha do elevador “melhor posicionado” levando-se em consideração o andar em que ele se encontra e o sentido de seu movimento. Essa estratégia possibilita grandes possibilidades de redução no consumo de energia do prédio, pois apenas um dos elevadores se deslocará no caso de duas chamadas simultâneas de mesmo andar. Para a construção deste modelo, consideraram-se as seguintes variáveis:

- $X \rightarrow$  chamadas simultâneas de andar
- $A \rightarrow$  posições relativas do elevador 1
- $B \rightarrow$  posições relativas do elevador 2
- $C \rightarrow$  posições relativas do elevador 1  $\times$  posições relativas do elevador 2
- $D \rightarrow$  chamadas prioritárias para o elevador “melhor posicionado”

Para este modelo, a variável  $X$  representa as chamadas simultâneas de andar dos dois elevadores, que irá interagir com todas as posições relativas dos dois elevadores em conjunto, resultando numa única chamada prioritária para o elevador “melhor posicionado”.

Então, foram consideradas duas variáveis  $A$  e  $B$  representando todas as posições relativas do primeiro elevador (denominado elevador 1) e todas as posições relativas do segundo elevador (denominado elevador 2) respectivamente, e a interação entre essas duas variáveis, resultando numa outra variável, que representará todas as possibilidades de interação das posições relativas dos elevadores 1 e 2.

A seguir, é apresentado o modelo proposto com a descrição de todas as variáveis envolvidas no processo.

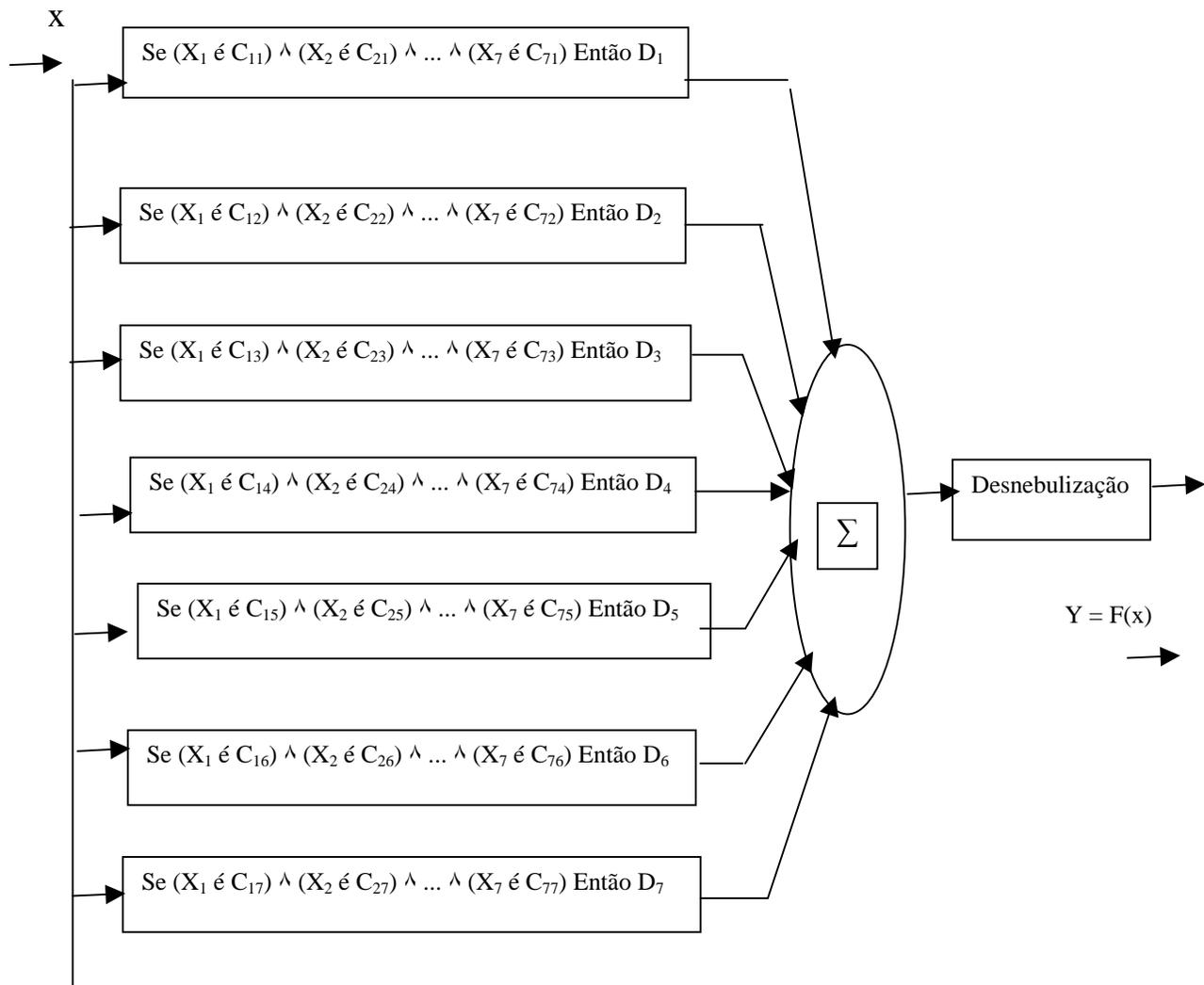


Figura 4.29 - Representação da modelagem de grupo por um sistema aditivo nebuloso.

$X_1$  = chamadas simultâneas de primeiro andar  
 $X_2$  = chamadas simultâneas de segundo andar  
 $X_3$  = chamadas simultâneas de terceiro andar  
 $X_4$  = chamadas simultâneas de quarto andar  
 $X_5$  = chamadas simultâneas de quinto andar  
 $X_6$  = chamadas simultâneas de sexto andar  
 $X_7$  = chamadas simultâneas de sétimo andar

CC = chamadas da cabina

$A_{11}$  = elevador 1 parado no primeiro andar  
 $A_{21}$  = elevador 1 no segundo andar em movimento descendente  
 $A_{31}$  = elevador 1 no terceiro andar, movimento descendente, CC  $\neq$  2  
 $A_{41}$  = elevador 1 no quarto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  2,3  
 $A_{51}$  = elevador 1 no quinto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  2,3,4  
 $A_{61}$  = elevador 1 no sexto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  2,3,4,5  
 $A_{71}$  = elevador 1 no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  2,3,4,5,6

$A_{12}$  = elevador 1 no primeiro andar em movimento ascendente  
 $A_{22}$  = elevador 1 parado no segundo andar  
 $A_{32}$  = elevador 1 no terceiro andar em movimento descendente  
 $A_{42}$  = elevador 1 no quarto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  3  
 $A_{52}$  = elevador 1 no quinto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  3,4  
 $A_{62}$  = elevador 1 no sexto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  3,4,5  
 $A_{72}$  = elevador 1 no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  3,4,5,6

$A_{13}$  = elevador 1 no primeiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  2  
 $A_{23}$  = elevador 1 no segundo andar em movimento ascendente  
 $A_{33}$  = elevador 1 parado no terceiro andar  
 $A_{43}$  = elevador 1 no quarto andar em movimento descendente  
 $A_{53}$  = elevador 1 no quinto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  4  
 $A_{63}$  = elevador 1 no sexto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  4,5  
 $A_{73}$  = elevador 1 no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  4,5,6

$A_{14}$  = elevador 1 no primeiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  2,3  
 $A_{24}$  = elevador 1 no segundo andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  3  
 $A_{34}$  = elevador 1 no terceiro andar em movimento ascendente  
 $A_{44}$  = elevador 1 parado no quarto andar  
 $A_{54}$  = elevador 1 no quinto andar em movimento descendente  
 $A_{64}$  = elevador 1 no sexto andar em movimento descendente, CC  $\neq$  5  
 $A_{74}$  = elevador 1 no sétimo andar em movimento descendente, CC  $\neq$  5,6

$A_{15}$  = elevador 1 no primeiro andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  2,3,4  
 $A_{25}$  = elevador 1 no segundo andar em movimento ascendente, CC  $\neq$  3,4

A<sub>35</sub> = elevador 1 no terceiro andar em movimento ascendente, CC ≠ 4  
 A<sub>45</sub> = elevador 1 no quarto andar em movimento ascendente  
 A<sub>55</sub> = elevador 1 parado no quinto andar  
 A<sub>65</sub> = elevador 1 no sexto andar em movimento descendente  
 A<sub>75</sub> = elevador 1 no sétimo andar em movimento descendente, CC ≠ 6

A<sub>16</sub> = elevador 1 no primeiro andar em movimento ascendente, CC ≠ 2,3,4,5  
 A<sub>26</sub> = elevador 1 no segundo andar em movimento ascendente, CC ≠ 3,4,5  
 A<sub>36</sub> = elevador 1 no terceiro andar em movimento ascendente, CC ≠ 4,5  
 A<sub>46</sub> = elevador 1 no quarto andar em movimento ascendente, CC ≠ 5  
 A<sub>56</sub> = elevador 1 no quinto andar em movimento ascendente  
 A<sub>66</sub> = elevador 1 parado no sexto andar  
 A<sub>76</sub> = elevador 1 no sétimo andar em movimento descendente

A<sub>17</sub> = elevador 1 no primeiro andar em movimento ascendente, CC ≠ 2,3,4,5,6  
 A<sub>27</sub> = elevador 1 no segundo andar em movimento ascendente, CC ≠ 3,4,5,6  
 A<sub>37</sub> = elevador 1 no terceiro andar em movimento ascendente, CC ≠ 4,5,6  
 A<sub>47</sub> = elevador 1 no quarto andar em movimento ascendente, CC ≠ 5,6  
 A<sub>57</sub> = elevador 1 no quinto andar em movimento ascendente, CC ≠ 6  
 A<sub>67</sub> = elevador 1 no sexto andar em movimento ascendente  
 A<sub>77</sub> = elevador 1 parado no sétimo andar

B<sub>11</sub> = elevador 2 parado no primeiro andar  
 B<sub>21</sub> = elevador 2 no segundo andar em movimento descendente  
 B<sub>31</sub> = elevador 2 no terceiro andar, movimento descendente, CC ≠ 2  
 B<sub>41</sub> = elevador 2 no quarto andar em movimento descendente, CC ≠ 2,3  
 B<sub>51</sub> = elevador 2 no quinto andar em movimento descendente, CC ≠ 2,3,4  
 B<sub>61</sub> = elevador 2 no sexto andar em movimento descendente, CC ≠ 2,3,4,5  
 B<sub>71</sub> = elevador 2 no sétimo andar em movimento descendente, CC ≠ 2,3,4,5,6

B<sub>12</sub> = elevador 2 no primeiro andar em movimento ascendente  
 B<sub>22</sub> = elevador 2 parado no segundo andar  
 B<sub>32</sub> = elevador 2 no terceiro andar em movimento descendente  
 B<sub>42</sub> = elevador 2 no quarto andar em movimento descendente, CC ≠ 3  
 B<sub>52</sub> = elevador 2 no quinto andar em movimento descendente, CC ≠ 3,4  
 B<sub>62</sub> = elevador 2 no sexto andar em movimento descendente, CC ≠ 3,4,5  
 B<sub>72</sub> = elevador 2 no sétimo andar em movimento descendente, CC ≠ 3,4,5,6

B<sub>13</sub> = elevador 2 no primeiro andar em movimento ascendente, CC ≠ 2  
 B<sub>23</sub> = elevador 2 no segundo andar em movimento ascendente  
 B<sub>33</sub> = elevador 2 parado no terceiro andar  
 B<sub>43</sub> = elevador 2 no quarto andar em movimento descendente  
 B<sub>53</sub> = elevador 2 no quinto andar em movimento descendente, CC ≠ 4  
 B<sub>63</sub> = elevador 2 no sexto andar em movimento descendente, CC ≠ 4,5  
 B<sub>73</sub> = elevador 2 no sétimo andar em movimento descendente, CC ≠ 4,5,6

$B_{14}$  = elevador 2 no primeiro andar em movimento ascendente,  $CC \neq 2,3$   
 $B_{24}$  = elevador 2 no segundo andar em movimento ascendente,  $CC \neq 3$   
 $B_{34}$  = elevador 2 no terceiro andar em movimento ascendente  
 $B_{44}$  = elevador 2 parado no quarto andar  
 $B_{54}$  = elevador 2 no quinto andar em movimento descendente  
 $B_{64}$  = elevador 2 no sexto andar em movimento descendente,  $CC \neq 5$   
 $B_{74}$  = elevador 2 no sétimo andar em movimento descendente,  $CC \neq 5,6$

$B_{15}$  = elevador 2 no primeiro andar em movimento ascendente,  $CC \neq 2,3,4$   
 $B_{25}$  = elevador 2 no segundo andar em movimento ascendente,  $CC \neq 3,4$   
 $B_{35}$  = elevador 2 no terceiro andar em movimento ascendente,  $CC \neq 4$   
 $B_{45}$  = elevador 2 no quarto andar em movimento ascendente  
 $B_{55}$  = elevador 2 parado no quinto andar  
 $B_{65}$  = elevador 2 no sexto andar em movimento descendente  
 $B_{75}$  = elevador 2 no sétimo andar em movimento descendente,  $CC \neq 6$

$B_{16}$  = elevador 2 no primeiro andar em movimento ascendente,  $CC \neq 2,3,4,5$   
 $B_{26}$  = elevador 2 no segundo andar em movimento ascendente,  $CC \neq 3,4,5$   
 $B_{36}$  = elevador 2 no terceiro andar em movimento ascendente,  $CC \neq 4,5$   
 $B_{46}$  = elevador 2 no quarto andar em movimento ascendente,  $CC \neq 5$   
 $B_{56}$  = elevador 2 no quinto andar em movimento ascendente  
 $B_{66}$  = elevador 2 parado no sexto andar  
 $B_{76}$  = elevador 2 no sétimo andar em movimento descendente

$B_{17}$  = elevador 2 no primeiro andar em movimento ascendente,  $CC \neq 2,3,4,5,6$   
 $B_{27}$  = elevador 2 no segundo andar em movimento ascendente,  $CC \neq 3,4,5,6$   
 $B_{37}$  = elevador 2 no terceiro andar em movimento ascendente,  $CC \neq 4,5,6$   
 $B_{47}$  = elevador 2 no quarto andar em movimento ascendente,  $CC \neq 5,6$   
 $B_{57}$  = elevador 2 no quinto andar em movimento ascendente,  $CC \neq 6$   
 $B_{67}$  = elevador 2 no sexto andar em movimento ascendente  
 $B_{77}$  = elevador 2 parado no sétimo andar

$C_{11} = A_{11}B_{11} + A_{12}B_{21} + A_{13}B_{31} + A_{14}B_{41} + A_{15}B_{51} + A_{16}B_{61} + A_{17}B_{71}$   
 $C_{21} = A_{21}B_{11} + A_{22}B_{21} + A_{23}B_{31} + A_{24}B_{41} + A_{25}B_{51} + A_{26}B_{61} + A_{27}B_{71}$   
 $C_{31} = A_{31}B_{11} + A_{32}B_{21} + A_{33}B_{31} + A_{34}B_{41} + A_{35}B_{51} + A_{36}B_{61} + A_{37}B_{71}$   
 $C_{41} = A_{41}B_{11} + A_{42}B_{21} + A_{43}B_{31} + A_{44}B_{41} + A_{45}B_{51} + A_{46}B_{61} + A_{47}B_{71}$   
 $C_{51} = A_{51}B_{11} + A_{52}B_{21} + A_{53}B_{31} + A_{54}B_{41} + A_{55}B_{51} + A_{56}B_{61} + A_{57}B_{71}$   
 $C_{61} = A_{61}B_{11} + A_{62}B_{21} + A_{63}B_{31} + A_{64}B_{41} + A_{65}B_{51} + A_{66}B_{61} + A_{67}B_{71}$   
 $C_{71} = A_{71}B_{11} + A_{72}B_{21} + A_{73}B_{31} + A_{74}B_{41} + A_{75}B_{51} + A_{76}B_{61} + A_{77}B_{71}$

$C_{12} = A_{11}B_{12} + A_{12}B_{22} + A_{13}B_{32} + A_{14}B_{42} + A_{15}B_{52} + A_{16}B_{62} + A_{17}B_{72}$   
 $C_{22} = A_{21}B_{12} + A_{22}B_{22} + A_{23}B_{32} + A_{24}B_{42} + A_{25}B_{52} + A_{26}B_{62} + A_{27}B_{72}$   
 $C_{32} = A_{31}B_{12} + A_{32}B_{22} + A_{33}B_{32} + A_{34}B_{42} + A_{35}B_{52} + A_{36}B_{62} + A_{37}B_{72}$   
 $C_{42} = A_{41}B_{12} + A_{42}B_{22} + A_{43}B_{32} + A_{44}B_{42} + A_{45}B_{52} + A_{46}B_{62} + A_{47}B_{72}$   
 $C_{52} = A_{51}B_{12} + A_{52}B_{22} + A_{53}B_{32} + A_{54}B_{42} + A_{55}B_{52} + A_{56}B_{62} + A_{57}B_{72}$

$$C_{62} = A_{61}B_{12} + A_{62}B_{22} + A_{63}B_{32} + A_{64}B_{42} + A_{65}B_{52} + A_{66}B_{62} + A_{67}B_{72}$$

$$C_{72} = A_{71}B_{12} + A_{72}B_{22} + A_{73}B_{32} + A_{74}B_{42} + A_{75}B_{52} + A_{76}B_{62} + A_{77}B_{72}$$

$$C_{13} = A_{11}B_{13} + A_{12}B_{23} + A_{13}B_{33} + A_{14}B_{43} + A_{15}B_{53} + A_{16}B_{63} + A_{17}B_{73}$$

$$C_{23} = A_{21}B_{13} + A_{22}B_{23} + A_{23}B_{33} + A_{24}B_{43} + A_{25}B_{53} + A_{26}B_{63} + A_{27}B_{73}$$

$$C_{33} = A_{31}B_{13} + A_{32}B_{23} + A_{33}B_{33} + A_{34}B_{43} + A_{35}B_{53} + A_{36}B_{63} + A_{37}B_{73}$$

$$C_{43} = A_{41}B_{13} + A_{42}B_{23} + A_{43}B_{33} + A_{44}B_{43} + A_{45}B_{53} + A_{46}B_{63} + A_{47}B_{73}$$

$$C_{53} = A_{51}B_{13} + A_{52}B_{23} + A_{53}B_{33} + A_{54}B_{43} + A_{55}B_{53} + A_{56}B_{63} + A_{57}B_{73}$$

$$C_{63} = A_{61}B_{13} + A_{62}B_{23} + A_{63}B_{33} + A_{64}B_{43} + A_{65}B_{53} + A_{66}B_{63} + A_{67}B_{73}$$

$$C_{73} = A_{71}B_{13} + A_{72}B_{23} + A_{73}B_{33} + A_{74}B_{43} + A_{75}B_{53} + A_{76}B_{63} + A_{77}B_{73}$$

$$C_{14} = A_{11}B_{14} + A_{12}B_{24} + A_{13}B_{34} + A_{14}B_{44} + A_{15}B_{54} + A_{16}B_{64} + A_{17}B_{74}$$

$$C_{24} = A_{21}B_{14} + A_{22}B_{24} + A_{23}B_{34} + A_{24}B_{44} + A_{25}B_{54} + A_{26}B_{64} + A_{27}B_{74}$$

$$C_{34} = A_{31}B_{14} + A_{32}B_{24} + A_{33}B_{34} + A_{34}B_{44} + A_{35}B_{54} + A_{36}B_{64} + A_{37}B_{74}$$

$$C_{44} = A_{41}B_{14} + A_{42}B_{24} + A_{43}B_{34} + A_{44}B_{44} + A_{45}B_{54} + A_{46}B_{64} + A_{47}B_{74}$$

$$C_{54} = A_{51}B_{14} + A_{52}B_{24} + A_{53}B_{34} + A_{54}B_{44} + A_{55}B_{54} + A_{56}B_{64} + A_{57}B_{74}$$

$$C_{64} = A_{61}B_{14} + A_{62}B_{24} + A_{63}B_{34} + A_{64}B_{44} + A_{65}B_{54} + A_{66}B_{64} + A_{67}B_{74}$$

$$C_{74} = A_{71}B_{14} + A_{72}B_{24} + A_{73}B_{34} + A_{74}B_{44} + A_{75}B_{54} + A_{76}B_{64} + A_{77}B_{74}$$

$$C_{15} = A_{11}B_{15} + A_{12}B_{25} + A_{13}B_{35} + A_{14}B_{45} + A_{15}B_{55} + A_{16}B_{65} + A_{17}B_{75}$$

$$C_{25} = A_{21}B_{15} + A_{22}B_{25} + A_{23}B_{35} + A_{24}B_{45} + A_{25}B_{55} + A_{26}B_{65} + A_{27}B_{75}$$

$$C_{35} = A_{31}B_{15} + A_{32}B_{25} + A_{33}B_{35} + A_{34}B_{45} + A_{35}B_{55} + A_{36}B_{65} + A_{37}B_{75}$$

$$C_{45} = A_{41}B_{15} + A_{42}B_{25} + A_{43}B_{35} + A_{44}B_{45} + A_{45}B_{55} + A_{46}B_{65} + A_{47}B_{75}$$

$$C_{55} = A_{51}B_{15} + A_{52}B_{25} + A_{53}B_{35} + A_{54}B_{45} + A_{55}B_{55} + A_{56}B_{65} + A_{57}B_{75}$$

$$C_{65} = A_{61}B_{15} + A_{62}B_{25} + A_{63}B_{35} + A_{64}B_{45} + A_{65}B_{55} + A_{66}B_{65} + A_{67}B_{75}$$

$$C_{75} = A_{71}B_{15} + A_{72}B_{25} + A_{73}B_{35} + A_{74}B_{45} + A_{75}B_{55} + A_{76}B_{65} + A_{77}B_{75}$$

$$C_{16} = A_{11}B_{16} + A_{12}B_{26} + A_{13}B_{36} + A_{14}B_{46} + A_{15}B_{56} + A_{16}B_{66} + A_{17}B_{76}$$

$$C_{26} = A_{21}B_{16} + A_{22}B_{26} + A_{23}B_{36} + A_{24}B_{46} + A_{25}B_{56} + A_{26}B_{66} + A_{27}B_{76}$$

$$C_{36} = A_{31}B_{16} + A_{32}B_{26} + A_{33}B_{36} + A_{34}B_{46} + A_{35}B_{56} + A_{36}B_{66} + A_{37}B_{76}$$

$$C_{46} = A_{41}B_{16} + A_{42}B_{26} + A_{43}B_{36} + A_{44}B_{46} + A_{45}B_{56} + A_{46}B_{66} + A_{47}B_{76}$$

$$C_{56} = A_{51}B_{16} + A_{52}B_{26} + A_{53}B_{36} + A_{54}B_{46} + A_{55}B_{56} + A_{56}B_{66} + A_{57}B_{76}$$

$$C_{66} = A_{61}B_{16} + A_{62}B_{26} + A_{63}B_{36} + A_{64}B_{46} + A_{65}B_{56} + A_{66}B_{66} + A_{67}B_{76}$$

$$C_{76} = A_{71}B_{16} + A_{72}B_{26} + A_{73}B_{36} + A_{74}B_{46} + A_{75}B_{56} + A_{76}B_{66} + A_{77}B_{76}$$

$$C_{17} = A_{11}B_{17} + A_{12}B_{27} + A_{13}B_{37} + A_{14}B_{47} + A_{15}B_{57} + A_{16}B_{67} + A_{17}B_{77}$$

$$C_{27} = A_{21}B_{17} + A_{22}B_{27} + A_{23}B_{37} + A_{24}B_{47} + A_{25}B_{57} + A_{26}B_{67} + A_{27}B_{77}$$

$$C_{37} = A_{31}B_{17} + A_{32}B_{27} + A_{33}B_{37} + A_{34}B_{47} + A_{35}B_{57} + A_{36}B_{67} + A_{37}B_{77}$$

$$C_{47} = A_{41}B_{17} + A_{42}B_{27} + A_{43}B_{37} + A_{44}B_{47} + A_{45}B_{57} + A_{46}B_{67} + A_{47}B_{77}$$

$$C_{57} = A_{51}B_{17} + A_{52}B_{27} + A_{53}B_{37} + A_{54}B_{47} + A_{55}B_{57} + A_{56}B_{67} + A_{57}B_{77}$$

$$C_{67} = A_{61}B_{17} + A_{62}B_{27} + A_{63}B_{37} + A_{64}B_{47} + A_{65}B_{57} + A_{66}B_{67} + A_{67}B_{77}$$

$$C_{77} = A_{71}B_{17} + A_{72}B_{27} + A_{73}B_{37} + A_{74}B_{47} + A_{75}B_{57} + A_{76}B_{67} + A_{77}B_{77}$$

D<sub>1</sub>= priorizar a chamada de primeiro andar p/ o elevador “melhor posicionado”

D<sub>2</sub>= priorizar a chamada de segundo andar p/ o elevador “melhor posicionado”

- D<sub>3</sub>= priorizar a chamada de terceiro andar p/ o elevador “melhor posicionado”  
 D<sub>4</sub>= priorizar a chamada de quarto andar p/ o elevador “melhor posicionado”  
 D<sub>5</sub>= priorizar a chamada de quinto andar p/ o elevador “melhor posicionado”  
 D<sub>6</sub>= priorizar a chamada de sexto andar p/ o elevador “melhor posicionado”  
 D<sub>7</sub>= priorizar a chamada de sétimo andar p/ o elevador “melhor posicionado”

### Modelagem da estratégia do elevador no caso de incêndio

A explicação desta estratégia já foi apresentada no tópico referente à descrição do sistema de elevadores e é mostrada na figura 4.30.

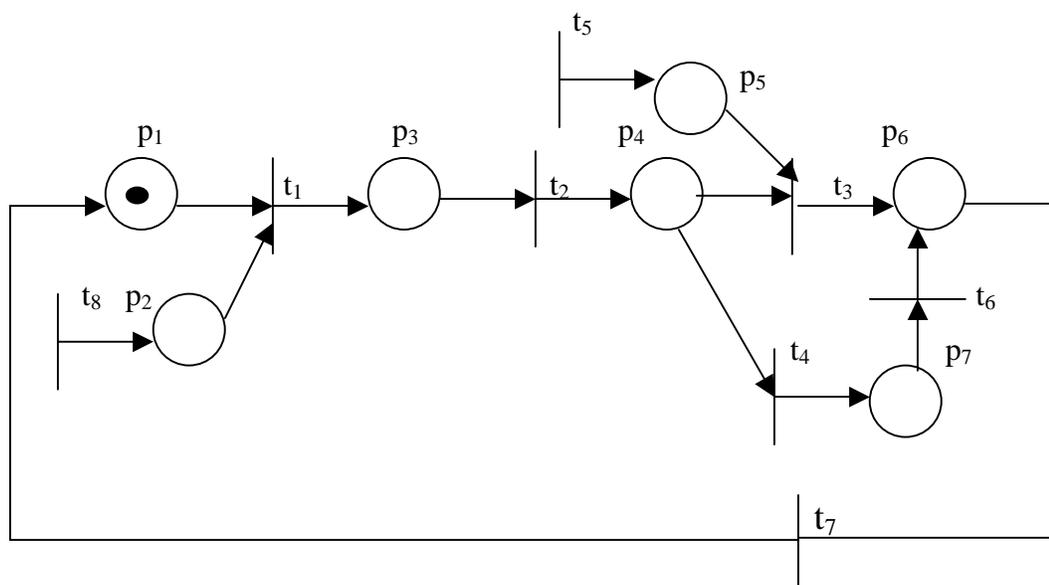


Figura 4.30 - Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de incêndio.

Lugares	Transições
p <sub>1</sub> = elevador em operação	t <sub>1</sub> = iniciar estratégia de incêndio
p <sub>2</sub> = sistema de detecção de incêndio ativado	t <sub>2</sub> = desabilitar botão da cabina e de cada pavimento
p <sub>3</sub> = estratégia de incêndio iniciada	t <sub>3</sub> = desligar elevador
p <sub>4</sub> = botões da cabina e dos pavimentos desabilitados	t <sub>4</sub> = conduzir o elevador ao andar mais próximo
p <sub>5</sub> = condição 1 habilitada	t <sub>5</sub> = habilitar condição 1
p <sub>6</sub> = desligar elevador	t <sub>6</sub> = desligar elevador no andar mais próximo
p <sub>7</sub> = elevador no andar mais próximo	t <sub>7</sub> = colocar elevador em operação após o incêndio
	t <sub>8</sub> = ativar sistema de detecção de incêndio

Tabela 4.5 - Lugares e transições da Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de incêndio.

Para este exemplo será considerada a seguinte condição:

Condição 1: O elevador está parado em um determinado andar. Neste caso, o elevador é imediatamente desligado. Caso contrário, é conduzido ao andar mais próximo para então ser desligado.

### Modelagem da estratégia do elevador no caso de falta de energia

A explicação desta estratégia já foi apresentada no tópico referente à descrição do sistema de elevadores e é mostrada na figura 4.31.

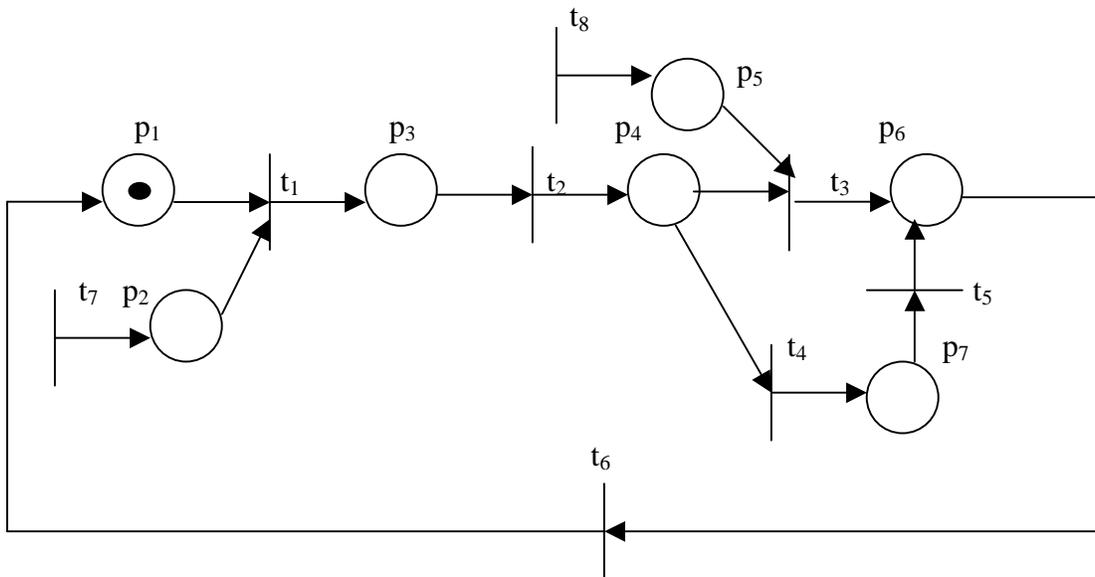


Figura 4.31 - Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de falta de energia.

<b>Lugares</b>	<b>Transições</b>
$p_1$ = elevador em operação	$t_1$ = iniciar estratégia de falta de energia
$p_2$ = sistema de gerenciamento de energia ativado	$t_2$ = desabilitar botão da cabina e de cada pavimento
$p_3$ = estratégia de falta de energia iniciada	$t_3$ = conduzir o elevador da condição 1 para o andar $n=5$
$p_4$ = botões da cabina e dos pavimentos desabilitados	$t_4$ = conduzir o elevador ao andar mais próximo
$p_5$ = condição 2 habilitada	$t_5$ = conduzir o elevador do andar $n \neq 5$ para o andar $n=5$
$p_6$ = elevador no andar $n=5$	$t_6$ = ativar gerador elétrico
$p_7$ = elevador no andar $n \neq 5$	$t_7$ = ativar sistema de gerenciamento de energia
	$t_8$ = habilitar condição 2

Tabela 4.6 - Lugares e transições da Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de falta de energia.

Para este exemplo será considerada a seguinte condição:

Condição 2: O elevador está localizado entre os andares  $4 < x < 5$  em movimento ascendente ou entre os andares  $5 < x < 6$  em movimento descendente. Nestes casos, o andar mais próximo seria o quinto.

Para este modelo, haverá 2 possibilidades para o deslocamento do elevador:

- Elevador conduzido ao quinto andar: ocorrerá se a condição 2 estiver habilitada e será representado pela posição  $n=5$ .
- Elevador conduzido a um andar qualquer diferente do quinto : ocorrerá se a condição 2 não estiver habilitada e será representado pela posição  $n \neq 5$ . No caso de ocorrer esta possibilidade haverá uma outra transição ( $t_5$ ) que conduzirá o elevador para o quinto andar.

### Modelagem da estratégia do elevador no caso de falha

A explicação desta estratégia já foi apresentada no tópico referente a descrição do sistema de elevadores e é mostrada na figura 4.32.

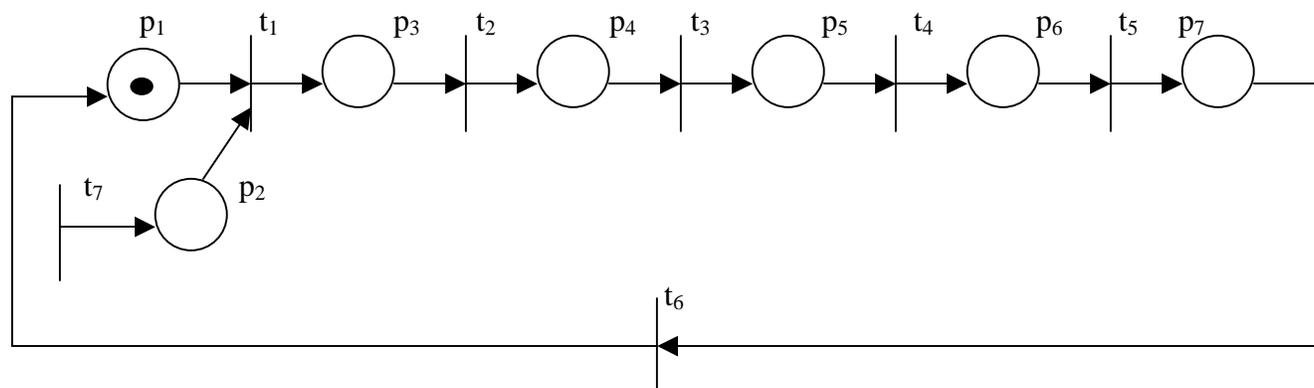


Figura 4.32 - Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de falha.

Lugares	Transições
p <sub>1</sub> = elevador em operação	t <sub>1</sub> = iniciar estratégia de falha
p <sub>2</sub> = sistema de diagnóstico de falha ativado	t <sub>2</sub> = desabilitar botão da cabina e de cada pavimento
p <sub>3</sub> = estratégia de falha iniciada	t <sub>3</sub> = conduzir o elevador para o primeiro andar
p <sub>4</sub> = botões da cabina e dos pavimentos desabilitados	t <sub>4</sub> = desligar o elevador
p <sub>5</sub> = elevador no primeiro andar	t <sub>5</sub> = colocar o elevador em manutenção
p <sub>6</sub> = elevador desligado	t <sub>6</sub> = colocar elevador em operação após a manutenção
p <sub>7</sub> = elevador em manutenção	t <sub>7</sub> = ativar sistema de diagnóstico de falha

Tabela 4.7 - Lugares e transições da Modelagem por Rede de Petri da estratégia do elevador no caso de falha.

### 4.7. Simulação dos sistemas

Para cada modelagem obtida, foi feita uma simulação, utilizando-se para isso um simulador de Redes de Petri com Função de Habilitação de Transições (RPFHT) desenvolvido pelo professor Edward Montgomery. Neste simulador é possível obter a representação em Diagrama Ladder de cada modelo simulado.

Como exemplo, apresenta-se a simulação da modelagem do sistema de elevadores em caso de incêndio onde foi considerado como condição inicial o elevador em operação normal na posição  $p_0$ . Quando uma ficha é lançada na posição  $p_1$ , o sistema de detecção de incêndio é ativado, iniciando-se a estratégia, conforme pode ser visto na figura 4.33 (simulação em Redes de Petri).

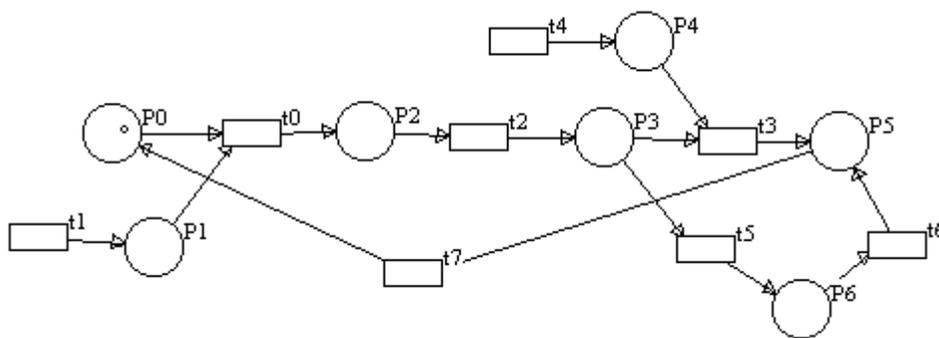


Figura 4.33 - Simulação em Redes de Petri da estratégia do elevador no caso de incêndio.

Os resultados obtidos a partir das simulações contribuem para mostrar a confiabilidade do modelo proposto, uma vez que o sistema apresentou o comportamento esperado diante da ocorrência dos eventos introduzidos. No entanto, como não foram feitas medições experimentais nos sistemas de iluminação, motores, ar condicionado e elevadores, não foi possível um estudo detalhado de validação, uma vez que este implicaria na comparação dos resultados obtidos com medições experimentais realizadas em determinados ambientes.

## Capítulo 5

### 5. CONCLUSÃO

Este trabalho introduz uma metodologia para a modelagem de sistemas de iluminação, motores, ar condicionado e elevadores em edifícios inteligentes mediante o uso das Redes de Petri. Esta metodologia proporciona o desenvolvimento estruturado de modelos e sua interpretação, facilitando o direcionamento do processo de modelagem e o aperfeiçoamento da especificação do sistema. Nesta metodologia, a integração de sistemas é considerada um elemento essencial para a otimização dos serviços do edifício.

A metodologia tomou como base uma Instituição de Ensino Superior, porém um estudo semelhante pode perfeitamente ser realizado em edifícios comerciais, industriais e residenciais, podendo resultar em significativas reduções no consumo de energia.

No sistema de iluminação já havia sido realizado um projeto de efficientização, no qual lâmpadas e luminárias antigas foram substituídas por outras mais modernas e eficientes, apresentando resultados satisfatórios, conforme pode ser visto na tabela 4.2. Porém, o controle da iluminação artificial através de controladores também pode contribuir para uma economia de energia.

No sistema de ar condicionado, o controle através do CLP não mostrou ser viável pelo fato de que a maioria dos aparelhos de ar condicionado da EPUFBA serem do tipo janela. Com isso, o CLP teria que se comunicar com cada sistema de ar condicionado isoladamente, o que provocaria um aumento significativo nos custos de fiação e mão-de-obra. Apesar disso, a realização de uma manutenção preventiva nos evaporadores, nos filtros de ar e nos ventiladores dos condicionadores poderá reduzir o acúmulo de poeira, o que implicará numa redução do consumo de energia e num melhor desempenho do equipamento.

Ainda em relação ao sistema de ar condicionado, notou-se no LAMI uma grande infiltração de ar externo pelas frestas das portas da sala onde se encontra o self-contained. A energia que o ar de infiltração possui representa uma carga térmica adicional que é retirada pelo evaporador do self-contained e isso representa um consumo a mais de energia elétrica. Por isso, recomenda-se que sejam fechadas essas frestas para evitar a infiltração do ar.

O controle dos sistemas de motores (bombas d'água elevadores) através do CLP mostrou ser importante por reduzir as perdas de energia através da utilização de conversores de frequência, além de ser um equipamento de fundamental importância para o funcionamento dos elevadores, daí a importância de um sistema de diagnóstico de falhas.

Em relação ao sistema de elevadores, uma redução no consumo de energia pode ser obtida se for adotada a estratégia de controle de grupo, juntamente com o sistema de prioridades, pois evitaria que dois elevadores atendessem a uma mesma chamada, pois seria deslocado apenas o mais próximo.

Este projeto gerou um artigo que foi aceito para apresentação no Congresso Latino Americano de Controle Automático (CLCA 2006).

Quanto a sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros, propõem-se:

- Desenvolver um simulador de lógica nebulosa para realizar simulações das estratégias de controle de grupo para os elevadores.
- Continuar o estudo da metodologia apresentada para construir um simulador de equações diferenciais e de redes de Petri.
- Realizar um estudo detalhado de validação, através da realização de medições experimentais nos sistemas de iluminação, motores, ar condicionado e elevadores e comparar os resultados obtidos com os dados simulados.

- Detectar a obstrução dos trocadores de calor (condensador e evaporador) através da tomada de pressão antes e após os trocadores de calor. Se a queda de pressão aumentar, significa que ocorreu a obstrução. A obstrução pode ser evitada com a limpeza periódica.
- Realizar uma avaliação econômico-financeira, com a elaboração de um fluxo de caixa para determinar o Valor Presente Líquido do Projeto (VLP ou Benefício Líquido Atual), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Tempo de Retorno do Projeto (tempo de recuperação do capital), que consiste em definir quanto tempo de funcionamento é necessário para que o investidor recupere o capital investido.
- Analisar a possibilidade de realizar um controle específico nos aparelhos de ar condicionado do LAMI, que são do tipo Split e self-contained, já que nesse laboratório o consumo de energia é muito acentuado em comparação com as demais salas, além de obter dados que comprovem essa estatística.
- Realizar simulações com os motores elétricos da EPUFBA, primeiramente com válvulas, e depois com conversores de frequência e comparar os resultados obtidos, utilizando um simulador disponível no Laboratório de Acionamentos Motrizes localizado no prédio.
- Utilizar um registrador de tensão em cada elevador para estimar a frequência de alunos na EPUFBA em determinados horários, afim de comprovar estatisticamente os horários de pico de subida e descida, ou seja, comprovar os horários em que os elevadores são mais solicitados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 5413. Iluminância de interiores. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro:2002.

ANEEL. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Resolução 456/2000.

ARKIN, H. & PACIUK, M. Service system integration. *In: intelligent building congress. proceedings*, 1995. p. 19-30.

BARNEY, G.C.; DOS SANTOS, S.M. Elevator Traffic Analysis, Design and Control. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1979.

BECKER, R. What is an Intelligent Building? *In: Intelligent Buildings Congress. Proceedings*, 1995. p. 320.

CEMIG, 1996. A reforma do setor elétrico: principais tendências. Companhia Energética de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ECOLUZ. Avaliação do potencial de economia e redução de custos com energia. 1998.

ELETROBRÁS/PROCEL/EFEI (Escola Federal de Engenharia de Itajubá). Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. 2001.

ELETROBRÁS/PROCEL. Manual de prédios eficientes em energia elétrica. 2002.

ELEVATOR WORLD. Educacional Package and Reference Library, v. 1, Mobile, Editor Elevator World Educational Division, 1990.

EPRI. Advanced lighting guidelines. Electric Power Research Institute. California Energy Commission. U.S. Department of Energy. Washington, 1993.

EPRI. Lighting fundamentals handbook: lighting fundamentals and principles for utility personnel. Electric Power Research Institute. Eley Associates. California, 1992.

FANGER, P.O. Conditions for Thermal Comfort – A Review. In: Proceedings of CIB Comission W 45 Symposium, 1972.

FANGER, P.O. Radition and Discomfort . In: Ashrae Journal, vol. 28,n.2, 1986. p. 33-34.

FAPEX, FINEP, INFRA, UFBA. Eficientização dos Sistemas de Iluminação da Reitoria e Escolas Politécnica e de Geociências. Relatório Técnico. Julho, 2004.

FINLEY, M.R. Survey Intelligent Buildings Concepts. IEEE Communications Magazine. April, 1991. p. 18-23.

FLAX, B. Intelligent Buildings. IEEE Communications Magazine. v.29, n. 4, 1991. p. 24-27.

FROTA, A.B. & SCHIFFER, S.R. Manual de Conforto Térmico.São Paulo, 1988.

FUJIE, S. & MIKAMI, Y. Construction Aspectos of Intelligent Buildings. IEEE Communications Magazine. April, 1991. p. 50-57.

GHSI, E. Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina.Florianópolis: 1997.Dissertação de mestrado.

GOMEZ, L.F. Redes de Petri Reactivas e Hierárquicas – integração de formalismos no projecto de sistemas reactivos de tempo real. Lisboa, 1997. Tesis de Doctorado.

GUSTIN, G. Aplicação de Redes de Petri interpretadas na modelagem de sistemas de elevadores em edifícios inteligentes. São Paulo: 1999. Dissertação de mestrado.

HASEGAWA, K. Modeling, Control and Deadlock Avoidance of FMS. In: Conferências Plenárias, XI CBA, São Paulo, SBA, 1996. p. 37-51.

IESNA. Lighting handbook : reference & application. Illuminating Engineering Society of North America. New York, 1995. 8th edition.

JABARDO, J.M.S. Conforto Térmico das Habitações. São Paulo, 1984.

MAEDA, S. Intelligent Buildings: a key solution for the 21<sup>st</sup> century office. Stanford, 1993. Tese de doutorado.

MARTINELLI AUDITORES. Manuais de organização e procedimentos. Módulo 2. Fevereiro, 2002.

MONTGOMERY, E. Simulador de Redes de Petri com função de habilitação de transições. Disponível em <[http:// www.geocities.com/emontyc](http://www.geocities.com/emontyc)>.

MORAES, C. & CASTRUCCI, P. Engenharia de automação industrial. Editora LTC. Rio de Janeiro: 2001. 1<sup>a</sup> edição.

MIYAGI, P. E. Controle Programável – fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1996.

SEBRAE. Eficiência Energética nas micro, pequenas e médias empresas. 2001.

SILVA, E. & COSTA, C. Sistema de Automação aplicado a Eficiência Energética Predial em Instituições do Ensino Superior: desenvolvimento de uma metodologia na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Artigo aceito para apresentação no Congresso Latino Americano de Controle Automático (CLCA 2006).

SILVA, M. Las Redes de Petri: em la Automática y la Informática. Madrid, Editorial AC, 1985.

PHILIPS. Manual de iluminação Philips. Terceira edição. Holanda, 1981,319 p.

VILLANI, E. Abordagem Híbrida para Modelagem de Sistemas de Ar Condicionado em Edifícios Inteligentes. São Paulo, 2000. Dissertação de mestrado.

YUAN, C. Towards a General Solution of Systems Automation: A Net Specification of an N-Lift Systems. Arbeitspapiere der GMD 439. Sankt Augustin. March 1990.

ZURUWASKI, R. & ZHOU, M. Petri nets and industrial applications: a tutorial. IEEE Transactions on Industrial Electronics. v. 41, n. 6. December, 1994. p. 567-583.

## Apêndice A. Simulação dos modelos obtidos em Redes de Petri

No capítulo referente ao estudo de caso, apresentou-se os modelos obtidos em Redes de Petri e a simulação da estratégia do elevador em caso de incêndio. A seguir, é apresentada a simulação obtida para os outros modelos descritos.

### A.1 - Simulação em Redes de Petri do sistema de iluminação

Para a realização desta simulação, foi considerado como condição inicial o sistema de iluminação desligado na posição  $p_0$ . Quando uma ficha é lançada na posição  $p_1$ , acusando a presença de pessoas no compartimento, o contador elétrico é ativado e o sistema de iluminação é ligado.

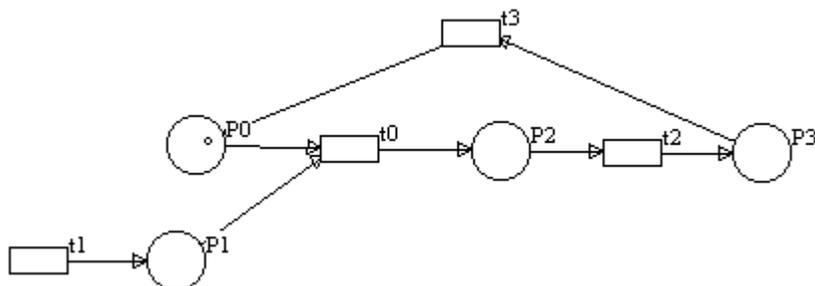


Figura A.1 : Simulação em Redes de Petri do sistema de iluminação.

### A.2 - Simulação em Redes de Petri do sistema de motores elétricos

Para o sistema de motores, foi considerado como condição inicial o motor elétrico pronto para partida na posição  $p_0$ . Quando uma ficha é lançada na posição  $p_5$ , o elevador entra em operação. Depois, quando uma ficha lançada na posição  $p_6$ , o elevador tem sua velocidade aumentada pelo conversor de frequência para 1,5 m/s, caso contrário permanece com sua velocidade constante. Porém, se antes do motor partir for detectado uma falha (uma ficha é lançada na posição  $p_2$ ), é iniciada a estratégia em caso de falha. No caso do motor parar

durante o funcionamento do elevador (uma ficha é lançada na posição  $p_9$ ) é provocada uma redução na frequência do elevador até o motor ser desligado.

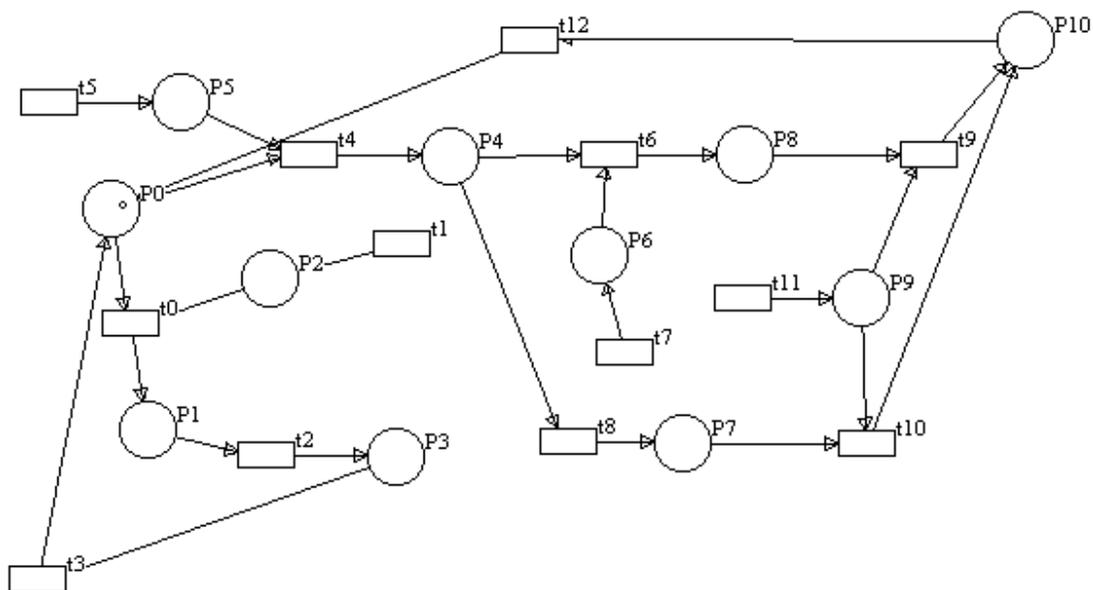


Figura A.2 : Simulação em Redes de Petri do sistema de motor em operação.

### A.3 - Simulação em Redes de Petri para o funcionamento das bombas d' água

Para o sistema de bombeamento, foi considerado como condição inicial a bomba 1 em operação na posição  $p_1$ . Quando o tempo de operação da bomba 1 chegar ao limite ( $T = 8$  dias) uma ficha é lançada na posição  $p_0$  e o horímetro é ativado, desligando a bomba 1 e colocando a bomba 2 em operação. Desta forma, a condição inicial passa a ser a bomba 2 em operação na posição  $p_2$ . Quando o tempo de operação da bomba 2 chegar ao limite ( $T = 8$  dias) uma ficha é lançada na posição  $p_0$  e o horímetro é ativado, desligando a bomba 2 e colocando a bomba 1 em operação. E assim sucessivamente.

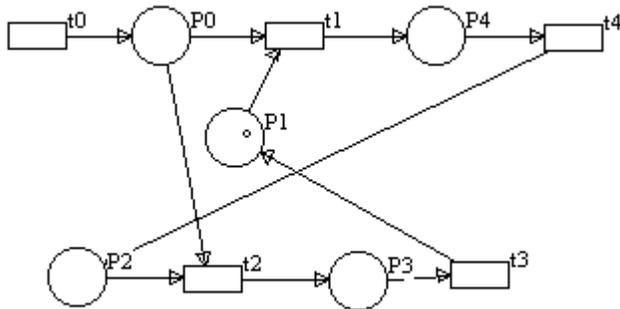


Figura A.3 : Simulação em Redes de Petri do sistema de bombas em operação.

#### A.4 - Simulação em Redes de Petri para o sistema de bombas em caso de falha

Para esta simulação, foi considerado como condição inicial a bomba 1 em operação na posição  $p_0$ . Quando ocorre alguma falha na bomba 1, uma ficha é lançada na posição  $p_1$  e o sistema de detecção de falhas é ativado, iniciando-se a estratégia em caso de falha. Neste momento, o horímetro coloca imediatamente a bomba com falha em manutenção e a bomba reserva em operação. Neste caso, a bomba 1 só volta a operar depois de transcorridos os 8 dias de operação da bomba reserva.

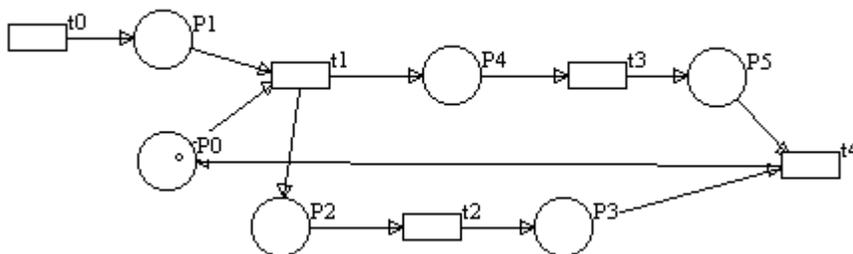


Figura A.4 : Simulação em Redes de Petri do sistema de bombas em caso de falha.

## **A.6 - Simulação em Redes de Petri para a estratégia de tráfego de pico de subida e de descida do elevador**

Para esta simulação, foi considerado como condição inicial o elevador parado em um andar  $n$ , com a porta fechada, sem pessoas ou cargas no interior da cabina na posição  $p_1$ . Quando uma ficha é lançada na posição  $p_2$ , indicando que o botão de chamada de um determinado pavimento foi ativado, duas situações podem ocorrer:

- O elevador é colocado imediatamente em operação para atender a chamada do pavimento se o detector de presença estiver desativado.
- O elevador abre a porta para a entrada de pessoas quando uma ficha é lançada na posição  $p_0$  (momento em que o detector de presença é ativado).

A transição  $t_3$  (fechar a porta do elevador) está vinculada a três condições:

- Entrada de pessoas detectada pelo sensor de presença.
- Premido do botão da cabina por algum usuário (quando uma ficha é lançada na posição  $p_6$ ).
- Detecção de pessoas dentro do elevador pelo sensor de posição (quando uma ficha é lançada na posição  $p_5$ ).

No momento em que a porta do elevador é fechada, ele é colocado em operação se o detector de carga estiver desativado. Caso contrário, uma ficha é lançada na posição  $p_8$ , acusando excesso de peso no elevador, momento em que o alarme de emergência é ativado e o elevador só entra em operação após o detector de carga ser novamente desativado.

Quando uma ficha é lançada na posição  $p_{11}$ , o conversor de freqüência é ativado para aumentar a velocidade do elevador. Caso contrário, ele permanece com velocidade constante.

A chamada de andar é habilitada quando uma ficha é lançada na posição  $p_{13}$ . Então, o elevador é deslocado para um andar inferior ou superior.

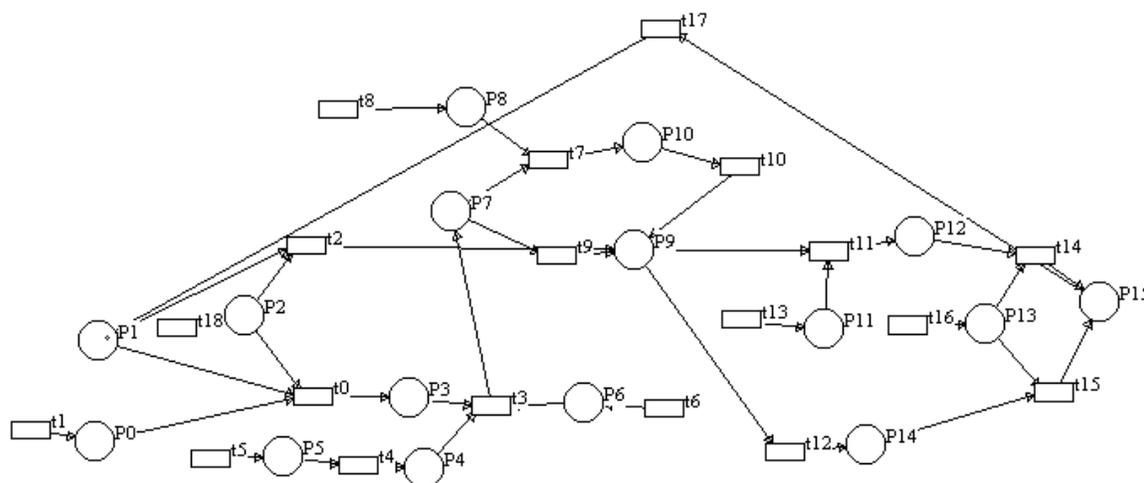


Figura A.5 : Simulação em Redes de Petri do elevador em operação.

## A.6 - Simulação em Redes de Petri da estratégia do elevador no caso de falta de energia

Para esta simulação, foi considerado como condição inicial o elevador em operação na posição  $p_0$ . Quando ocorre falta de energia no prédio, o sistema de gerenciamento de energia é ativado, uma ficha é lançada na posição  $p_1$  e a estratégia em caso de falta de energia é iniciada. No momento em que uma ficha é lançada na posição  $p_4$ , indicando que a condição 1 está habilitada, o elevador é deslocado até o quinto andar. Uma vez no quinto andar, o gerador elétrico é ativado e o elevador volta a operar normalmente.

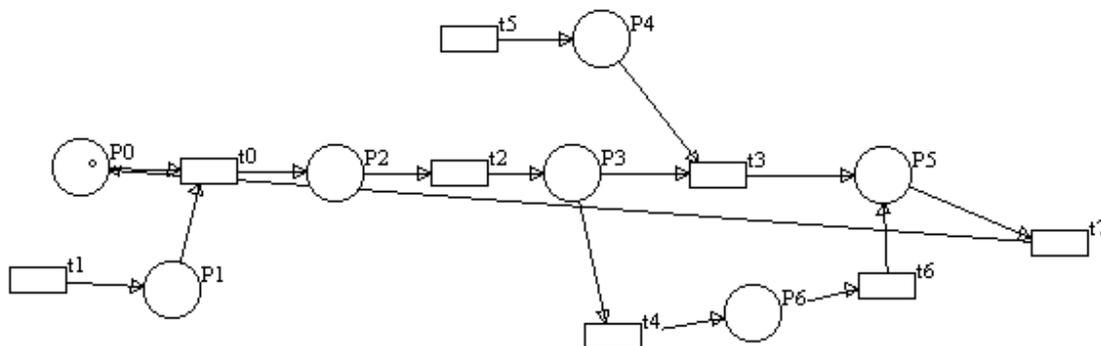


Figura A.6 : Simulação em Redes de Petri do elevador em caso de falta de energia

## A.6 - Simulação em Redes de Petri da estratégia do elevador no caso de falha

Para esta simulação, foi considerado como condição inicial o elevador em operação na posição  $p_0$ . Quando ocorre uma falha no elevador, o sistema de diagnóstico de falha é ativado e uma ficha é lançada na posição  $p_6$ , iniciando-se a estratégia em caso de falha. Após a manutenção, uma transição  $t_6$  coloca o elevador novamente em operação.

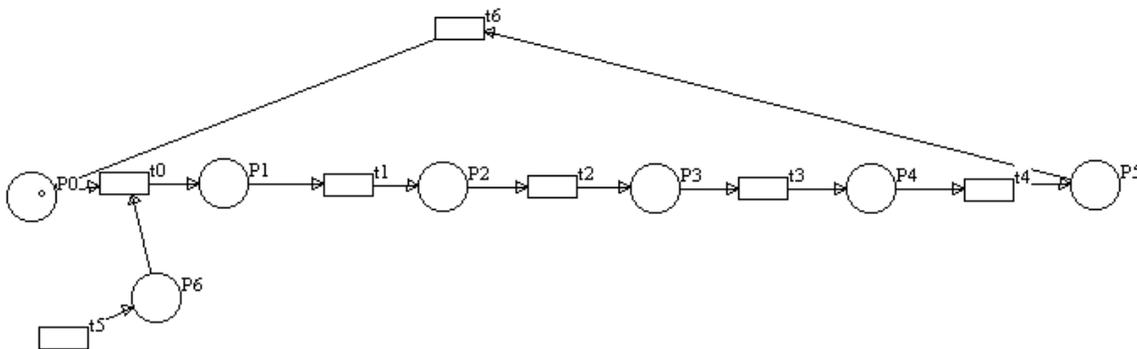


Figura A.7 : Simulação em Redes de Petri do elevador em caso de falha.

## Apêndice B. Simulador RPFHT

O simulador RPFHT é um software didático de edição e simulação de Redes de Petri com Função de Habilitação de Transição e transformação para Ladder de CLPs .As principais características de controle desse simulador são descritas a seguir:

- Lugares - pressionamento do botão esquerdo cria um lugar em ordem crescente;
- Transições - pressionamento do botão esquerdo cria uma transição em ordem crescente (abre uma janela onde se define se ela é ou não controlável);
- Arcos - pressionamento do botão esquerdo sobre um lugar e sua conseqüente liberação sobre várias posições (até 14) até o final numa transição ou vice-versa, cria um arco (abre a janela onde se pode colocar o peso do arco);
- Marcação - Pressionamento do botão esquerdo sobre um lugar abre a janela onde se define a marcação e a capacidade do lugar;
- Mover - Pressionamento do botão esquerdo sobre um lugar ou sobre uma transição, e sua liberação em outra posição, move o lugar ou a transição de uma posição para outra. Se não estiver em um desses, selecionam-se os arcos em ordem crescente de criação, onde se podem mudar suas posições iniciais ou finais, bem como suas posições intermediárias;
- O Peso do Arco pode ser modificado quando ele é selecionado, pressionando-se o botão respectivo.
- Desabilitar - Desabilita a função de desenho;
- Ver Sequências de Disparos - Constrói e mostra as seqüências de disparos (como ramos da árvore de alcançabilidade) da Rede de Petri;
- Ver Rede - Mostra a Rede de Petri construída;
- Ferramenta Zoom + (Zoom -) - amplia (reduz) a apresentação da Rede construída em 10% a cada pressionamento;

- Entrar com as Funções de Habilitação de Transições - pressionamento do botão esquerdo sobre uma transição abre a janela onde se entra com a função lógica de habilitação da transição;
- Definir Tempo por passo de Execução - deixa o usuário escolher o tempo em milisegundos por passo de execução do Jogador;
- Ver Ladder da Rede - Monta e apresenta o diagrama Ladder referente à rede do sistema modelado;
- Ver Ladder da Rede Supervisora - Monta e apresenta o diagrama Ladder da rede com as funções de habilitação de transições (rede supervisora);
- Executar - abre a janela de simulação onde se escolhe se deseja simular a Rede de Petri (automaticamente ou passo a passo por decisão do usuário) ou a Rede Supervisora;
- Parar - pára a execução da simulação.

No simulador RPFHT deve-se ressaltar que:

- O número máximo de Lugares ou Transições para a rede (nesta versão gratuita) é 30 e o número de Arcos é 80.
- O número máximo de marcações que a rede pode ter para construir a Árvore de Alcançabilidade é 10000.
- A representação da marcação é uma seqüência de fichas dentro do lugar, enquanto esta for menor que 9. Quando atinge 10 fichas em um lugar, esta representação é feita de forma numérica.
- A execução da rede pode ser aleatória (representando o sistema livre de controle) ou controlada pelo usuário (através do clique do mouse sobre uma transição habilitada, define-se a transição a disparar).

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)