ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL
TESE DEFENDIDA POR MARCOS ANTONIO
PORTA SARAMAGO E APROVADA PE
COMISSÃO JULGADORA EM 05/08/2002

ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Integração de Dispositivos Inteligentes Utilizando Conceitos de Domótica Direcionados A Automação Hospitalar

Autor: **Marcos Antônio Porta Saramago**
Orientador: **João Maurício Rosário**

31/02

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO

Integração de Dispositivos Inteligentes Utilizando Conceitos de Domótica Direcionados A Automação Hospitalar

Autor: **Marcos Antônio Porta Saramago**
Orientador: **João Maurício Rosário**

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2002
S.P. – Brasil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO

TESE DE DOUTORADO

Integração de Dispositivos Inteligentes Utilizando Conceitos de Domótica Direcionados A Automação Hospitalar

Autor: **Marcos Antônio Porta Saramago**
Orientador: **João Maurício Rosário**

Prof. Dr. João Maurício Rosário, Presidente
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP-FEM

Prof. Dr. José Manoel Balthazar
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP

Prof. Dr. Sigisfredo Luis Brenelli
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP-FCM

Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni
Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP

Prof. Dr. Humberto Ferasoli Filho
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Campinas, 5 de agosto de 2002.

Dedicatória:

Dedico este trabalho aos meus pais pelo apoio constante.

Agradecimentos

Este trabalho só foi possível graças ao apoio daqueles que me incentivaram e contribuíram para sua finalização, principalmente:

Aos Professores e amigos João Mauricio Rosário e Hans Ingo Weber, que me ajudaram e me incentivaram nos momentos mais difíceis, ao meu profundo sentimento de gratidão.

A todos docentes do DPM pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento desse projeto de pesquisa que contribuíram na melhoria de minha capacitação profissional.

Aos colegas e funcionários do DPM-UNICAMP e Mecatrônica em especial Almiro, Rosângela, Mauricio, Marcílio, Leonardo, Cristina, Gastão, Oswaldo, Eli, Denise, Cleusa, Mauro e Ferreira.

Ao Sr Paulo Laureano Garcia, responsável pelo Setor de Manutenção e Gestor do Programa de Economia de Energia da FEM pelas longas discussões que tivemos no delineamento desse projeto de pesquisa.

Resumo

Saramago, Marcos Antônio Porta, *Integração de Dispositivos Inteligentes Utilizando Conceitos de Domótica Direcionados a Automação Hospitalar,* Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 119 P. Tese (Doutorado).

A domótica é a área tecnológica que se aplica à busca da eficiência, produtividade, conforto e segurança necessárias e imprescindíveis nas instalações industriais e residenciais. Sua área de abrangência é ampla e seu crescimento como ciência é diretamente proporcional ao desenvolvimento de outras disciplinas tecnológicas, podendo ser entendida como um conjunto de subsistemas de automação que formam um único sistema integrado de serviços, tais como a Distribuição de energia elétrica e controle de demanda, controle de iluminação, de acessos e simulação de presença; funcionamento e interrupção de funcionamento de instrumentos; Controle bio-climático através de calefação, ventilação e condicionamento de ar; Distribuição, filtragem e aquecimento de água; segurança e comunicação e acesso remoto.

Para conseguir estes objetivos tem-se que, necessariamente, considerar novos conceitos e diferentes técnicas de abordagens no projeto de sistemas de controle de E/S, entre outras atividades, a especificação de uma arquitetura de comando. Principalmente em sistemas com estrutura de controle-comando bastante distribuída, esta especificação é determinante para todo o restante do ciclo de vida do sistema em questão. Nesses casos, o projetista vê-se face à difícil tarefa de, numa fase inicial de projeto, escolher uma arquitetura de comando capaz de atender a pré-requisitos funcionais como tempos de resposta do sistema.

Este trabalho apresenta metodologias e ferramentas direcionadas a Automação Hospitalar. A abordagem matemática baseia-se na teoria dos sistemas a eventos discretos para validar um modelo de arquitetura de comando distribuída através da construção de modelos de Análise Estruturada e de sua posterior simulação sob a forma de GRAFCET e Redes de Petri. Como estudo de caso, esta metodologia será aplicada ao controle de Hospitais Inteligentes.

Palavras chave

Domótica, Hospital Inteligente, Controle Distribuído, Modelagem e Simulação, GRAFCET, Redes de Petri.

Abstract

Saramago, Antonio Marcos Porta, Integrated of Intelligent Devices using Concepts of Domotics Applied the Hospitalar Automation", Campinas, Faculty of Mechanical Engineering, University of Campinas, 2002. 119 P. Thesis (Doutorado).

The domotics is the technological area that if applies to search efficiency, necessary and essential productivity, comfort and security in the industrial and residential installations. This domain comprehends the integration of others disciplines technological, being able to be understood as a set of automation subsystems that form an only integrated system of jobs, such as the distribution of electric energy and control of demand, control of illumination, accesses and simulation of presence; functioning and interruption of functioning of instruments; Bio-climatic control through, air ventilation and conditioning; water distribution, filtering and heating; security and communication and remote access control.

To obtain these objectives it is had that, necessarily, to consider new concepts and different techniques of boarding in the design of systems of supervision and control, among others activities, the specification of control architecture. Mainly in systems with structure of control-command sufficiently distributed, this specification is determinative for all the remainder of the cycle of life of the system in question. In these cases, the designer sees face to the difficult task of, in an initial phase of design, to choose architecture of command capable to take care of the prerequisite functionaries as times of reply of the system.

This work presents directed methodologies and tools to apply to the Hospital Automation. The mathematical boarding is based on the theory of the systems the discrete events to validate a model of architecture of command distributed through the construction of models of Structuralized Analysis Design Technique (SADT) and its posterior simulation under the Sequential Flow Chart - GRAFCET form and Petri nets. As case study, this methodology will be applied to the control of Intelligent Hospitals.

Key Words
Domotics, Intelligent Hospital, Distributed Control, Modeling and Simulation, Grafcet, Petri nets.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS vi

LISTA DE TABELAS ix

NOMENCLATURA x

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 - Apresentação do problema 1
1.2 - Objetivos do trabalho 2
1.3 - Delineamento do trabalho 3
1.4 - Estrutura do trabalho 5

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – CONCEITOS DE DOMÓTICA

2.1 – Introdução 7
2.2 - Domótica - Conceitos e Tecnologias 7
2.3 - Agentes de um Sistema Domótico 9
2.4 - Sistemas Domóticos 10
2.5 - Funções Domóticas e classificação
2.5.1 - Função de Gestão 11
2.5.2 - Função de Controle 12
2.5.3 - Função de Comunicação 12
2.6 - Redes Domóticas e padronização
2.6.1 - Principais Padrões utilizados em Redes Domóticas 13
2.6.2 - Rede Ethernet 14
2.7 - Classificação dos Sistemas Domóticos
2.7.1 - Arquitetura Centralizada 15
2.7.2 - Arquitetura Distribuída 16
2.8 – A Automação Predial
2.8.1 - Conceitos de Projeto de Automação Predial 17
2.8.2 - A evolução da Automação Predial 20
2.8.3 - O Cabeamento estruturado 21
2.8.4 – Principais Elementos de um Sistema Predial 22
2.8.5 – O Retrofit de Edifícios 23
2.9 - Comentários Finais 26

CAPÍTULO 3 - MODELAGEM E INTEGRAÇÂO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS

3.1 – Introdução 27
3.2 - Sistemas Automatizados – Conceitos e Definições
3.2.1 - Conceitos Básicos de Sistema 27
3.2.2 - Simulação e Modelagem de Sistemas Automatizados 28
3.2.3 – Modelagem de Sistemas Dinâmicos 29
3.2.4 - Elementos de um Sistema Automatizado 31
3.2.5 - Linguagens utilizadas para Modelagem de Sistemas Automatizados. 33
3.2.6 - Norma Internacional IEC 61131-3 35
3.2.7 – Programação Estruturada em CLP's utilizando o GRAFCET 39
3.3 - Grafo de Comando Etapa e Transição – GRAFCET
3.3.1 - O GRAFCET na concepção de Sistemas Automatizados 41
3.3.2 - Elementos do GRAFCET 42
3.3.3 - Regras de Evolução 50
3.4 – Controlador Lógico Programável – CLP 53
3.5 Comentários Finais 57

CAPÍTULO 4 - MODELAGEM DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS UTILIZANDO REDES DE PETRI

4.1 - Introdução 58
4.2 – Sistemas Automatizados 58
4.3 – Ciclo de Vida de um Sistema Automatizado 59
4.4 - Sistemas a Eventos Discretos 60
4.5 – Redes de Petri 63
4.5.1 – Redes de Petri – Conceitos Básicos e Definições 66
4.5.2 – Representação da Redes de Petri 67
4.6 – Projeto de Arquitetura de Comando 72
4.6.1 – Arquitetura Funcional 72
4.6.2 – Arquitetura Material 74
4.6.3 – Arquitetura Operacional 74
4.7 –Validação do Comportamento temporal através de RdP 75
4.8 – Estudo de caso I : Sistemas Automatizados de Controle de Acessos 76
4.8.1 – Caderno de Tarefas 77
4.8.2 – Implementação Da Arquitetura de Comando 79
4.8.3 – Arquitetura de Comando 82
4.8.4 – Similação e Resultados 82
4.9 – Estudo de caso II: 83
4.9.1- Definição das Estratégias 84
4.9.2- Construção de Modelos 85
4.9.3- Modelagem do Sistema de gerenciamento 85
4.9.4- Modelagem do Sistema de Climatização 90
4.9.5- Modelagem do Sistema de Controle Local 94
4.9.6- Modelagem de Ambiente Interno 95
4.9.7- Integração de Modelos 96

4.10 – Simulação dos Modelos 98
4.10.1- Simulação Discreta 98
4.10.2- Simulação Contínua 98
4.10.3- Simulação Híbrida 98
4.11 – Comentários Finais 100

CAPÍTULO 5 – ARQUITETURA DE SUPERVISÃO E CONTROLE E REDES DE COMUNICAÇÃO

5.1 – Sistema de Supervisão e Controle 103
5.1.1– Características dos Sistemas Supervisórios 104
5.1.2– Analogia entre Controle Supervisório Humano e Controle Supervisório 106
5.1.3– Revisão bibliográfica de aplicaçõesnutilizando Controle Supervisório 108
5.2 – Sistema Supervisório Industrial 109
5.2.1- Sistema Supervisório de Controle e Aquisição de Dados (SCADA) 110
5.2.2- Módulo de Geração de Relatórios e Documentação 110
5.2.3- Módulo de Planejamento e Execução de Tarefas 110
5.2.4- Módulo de Desenvolvimento de Programas de Controle Discreto 111
5.3 – Principais Funcionalidades de um Sistema Supervisório Industrial 111
5.3.1- Características Básicas 111
5.3.2- Animação Gráfica 112
5.3.3- Relatórios 114
5.3.4- Alarmes 114
5.3.5- Históricos 115
5.3.6- Resumo de Alarmes 116
5.3.7- Módulo de Programação Interno 117
5.3.8- Gerador de Gráficos 117
5.3.9- Rede de Comunicação 118
5.3.10- Drivers de Comunicação 118
5.4 – Redes de Comunicação 119
5.4.1- Rede Local ou Internet 119
5.4.2- Estações Remotas 119
5.4.3- Redes de Comunicação 120
5.4.4- Protocolos 121
5.4.5- protocolo TCP/IP 123
5.4.6- Estações de Monitoramento SCADA 124
5.4.7- Comunicação do Sistema de Supervisão 125
5.4.8- Arquitetura Cliente – Servidor (Client-Server) 127
5.4.9- Interface com o usuário 128
5.4.10- Aquisição de Imagens 129
5.5 – Comentários Finais 131

CAPÍTULO 6 – PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM HOSPITAL INTELIGENTE UTILIZANDO CONCEITOS DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

6.1 – Proposta de Maquete Experimental de um Edifício Inteligente 132
6.2 – Aplicação I: Controle de Variáveis de Sistemas Domóticos 135
6.2.1 – Implementação da Parte Operativa 135
6.2.2 – Implementação de Programa Lógico na CLP 137
6.2.3 – Sistema de Supervisão e Controle 138
6.2.4 – Tele-operação 140
6.2.5 – Validação e Testes 141
6.3 – Aplicação II: Controle de Acessos – Elevador com três andares 142
6.4 – Aplicação III: Controle de Acessos – Cancela Automatizada. 143
6.4.1 – Especificação Funcional 144
6.5 – Aplicação IV: Controle de Acessos – Porta Automatizada 146
6.5.1 – Parte Comando 146
6.5.2 – Parte Operativa 146
6.5.3 – Descrição Funcional do Sistema Implementado 149
6.5.4 – Implementação 150
6.5.5 – Implementação dos Programas Computacionais 154
6.5.6 – Implementação do Sistema na FEM-UNICAMP 155
6.6 – Aplicação V: Controle de Acessos – Sistema de Mobilidade através de cadeira de rodas 159
6.7 – Comentários Finais e Conclusões 161

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

7.1 – Conclusões Gerais 162
7.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros 165

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 166

ANEXOS

ANEXO I: CONCEITOS BÁSICOS DE EDIFÍCIOS INTELIGENTES 174

ANEXO II: DESCRIÇÃO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS ATRAVÉS DE REDES DE PETRI 179

ANEXO III: ESPECIFICAÇÕES TECNOLÓGICAS DE UM EDIFÍCIO INTELIGENTE – PARTE OPERATIVA 203

ANEXO IV: PLANTA FÍSICA DOS DIFERENTES ANDARES DOS BLOCOS "H"E"I"DA FEM – MAQUETE IMPLEMENTADA 207

ANEXO V: DESENVOLVIMENTO DE KIT MODULAR DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO PARA MOVIMENTAÇÃO DE CADEIRA DE RODAS CONVENCIONAL 210

ANEXOVI: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CONTROLE AUTOMATIZADO DE ACESSOS – FEM-UNICAMP 214

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Edifício Inteligente Lloyds Building, Londres 8
Figura 3.1 - Classificação Geral de Sistemas 30
Figura 3.2 - Sistema Automatizado (SA) – Parte Operativa e Comando 31
Figura 3.3 - Classificação de Sistemas Automatizados 32
Figura 3.4 - Programação utilizando Lista de Instruções (IL). 36
Figura 3.5 - Telas típicas de Diagramas Ladder (LD) 37
Figura 3.6 - Diagramas de Blocos de Funções (FDB). 37
Figura 3.7 - Exemplos de telas de programação utilizando SFC 38
Figura 3.8 - Implementação de uma transição utilizando Ladder 39
Figura 3.9 - Esquema ilustrativo de um GRAFCET 42
Figura 3.10 - Etapas e Ações de um GRAFCET 43
Figura 3.11- Ação Condicional num GRAFCET 44
Figura 3.12 - Transição e Receptividade de um GRAFCET 45
Figura 3.13 - Exemplo de Temporização num GRAFCET 45
Figura 3.14 - Ligações Orientadas Seqüenciais 46
Figura 3.15 - Ligação Orientada AND Divergente 47
Figura 3.16 -Ligação orientada AND Convergente 47
Figura 3.17 - Ligação Orientada OR Divergente 48
Figura 3.18 - Ligação Orientada OR Convergent 48
Figura 3.19 - Representação de um Salto de Etapas 49
Figura 3.20 - Retomada de Etapas 50
Figura 3.21 - Regras de Evolução de um GRAFCET 52
Figura 3.22 - Aplicação Genérica do Controlador Lógico Programável 53
Figura 3.23 - Funcionamento de um CLP 54
Figura 3.24 - Exemplo de um CLP industrial Koyo 55
Figura 3.25 - Programa em Ladder (DirectSoft) 57
Figura 4.1- Caracterização de um sistema nas suas partes "mestre" e "escravo" 59
Figura 4.2 - Diagrama de Atividades de Desenvolvimento de um Sist. Automat. 60
Figura 4.3 - Exemplo de Sistema a Evento Discreto 62
Figura 4.4 - Utilização de redes de Petri na modelação e análise de sistemas 66
Figura 4.5 - Rede de Petri marcada 68
Figura 4.6 - Rede de Petri marcada 69
Figura 4.7 - Marcação resultante do disparo de t2 na RdP da figura 4.6 70
Figura 4.8 - RdP onde o número de marcas em qualquer lugar é limitado 71
Figura 4.9 - Modelo Esquemático da Arquitetura Funcional 73
Figura 4.10 - Exemplo de arquitetura material 74
Figura 4.11 - Exemplo de arquitetura operacional. 75
Figura 4.12 - Projeção do modelo de um tratamento sobre o de um CLP. 76
Figura 4.13 - Sistema de Controle de Acessos - Arquitetura Operacional. 77
Figura 4.14 - Protótipo desenvolvido. 78
Figura 4.15 - *Actigrama SADT* - Arquitetura funcional do Posto de Montagem Central. 79
Figura 4.16 - GRAFCET da função: Arquitetura funcional do Sistema de Controle de Acesso. 81
Figura 4.17 - Tempos de resposta para as duas arquiteturas de comando 82

Figura 4.18 - Etapas gerais da metodologia. 84
Figura 4.19 - Detalhamento da etapa "Construção de Modelos" 86
Figura 4.20 - Elementos do PFS. 87
Figura 4.21 - Exemplo de Disparo de Transição. 88
Figura 4.22 - Utilização de arcos habilitadores (a) e inibidores (b) com pesos. 89
Figura 4.23 - Exemplos de refinamento de atividade e interatividade. 89
Figura 4.24 - Sistema de Gerenciamento. 90
Figura 4.25 - Utilização de elemento interatividade. 92
Figura 4.26 - Exemplo de Sistema. 92
Figura 4.27 - Sistema de Aquecimento e PFS correspondente. 92
Figura 4.28- Modelo em rede PTD da atividade [Aqueciemnto] 94
Figura 4.29 - Modelo em rede PTD de um controlador PID. 95
Figura 4.30 - Modelo em rede PTD de um processador de sinais contínuos. 95
Figura 4.31 - Modelagem de eventos discretos no ambiente. 96
Figura 4.32 - Estrutura do modelo resultante. 97
Figura 4.33. Etapas da simulação híbrida. 99
Figura 5.1 - Controle Supervisório 103
Figura 5.2 - Principais Características de um Sistema de Supervisório. 105
Figura 5.3 - Hospital Totalmente Automatizado e Integrado. 106
Figura 5.4 - Arquitetura do Software Wizcon™ para um Processo de Supervisão 109
Figura 5.5 - Planilha Gerada no módulo WizReport. 111
Figura 5.6 - Módulo de Apresentação do WIZCON. 112
Figura 5.7 - Janela do Editor Gráfico Wizcon. 113
Figura 5.8 - Layout do Sistema com Aplicação Dinâmica. 113
Figura 5.9 - Tela típica de um Alarme. 115
Figura 5.10 - Visualizador de Históricos. 115
Figura 5.11 - Tela de Resumo de Alarmes. 116
Figura 5.12 - Wizcon Language (Ambiente de Programação). 117
Figura 5.13 - Gerador Gráfico de Variáveis do Sistema. 118
Figura 5.14 - Arquitetura para Controle e Supervisão via Internet. 119
Figura 5.15 - Modelo OSI de Protocolos. 122
Figura 5.16 - Arquitetura do TCP/IP. 123
Figura 5.17 - CLP Industrial Koyo. 125
Figura 5.18 – Tele-operação utilizando a Arquitetura Cliente/Servidor. 128
Figura 5.19 - Layout do Sistema de Supervisão e Controle Via Internet 129
Figura 5.20 - Sistema de Aquisição de Imagens. 130
Figura 6.1 - Maquete Funcional implementada 133
Figura 6.2 - Maquete de Edifício Inteligente e detalhe elevador e cancela 134
Figura 6.3 - Planta física correspondente ao 2º piso 135
Figura 6.4 - Representação da Planta dos três pisos da maquete 136
Figura 6.5 - CLP industrial típico 137
Figura 6.6 - Exemplo de tela de programação utilizando o SFC 138
Figura 6.7 - Proposta de Rede de Comunicação 139
Figura 6.8 - Tele-operação utilizando a Arquitetura Cliente/Servidor 140
Figura 6.9 - Rede de Comunicação Domótica 141
Figura 6.10 - Elevador Inteligente 142

Figura 6.11 - Elevador de três andares 143
Figura 6.12 - Cancela Automatizada de Fluxo de Veículos no Estacionamento 144
Figura 6.13 - GRAFCET Funcional da Cancela Automatizada 145
Figura 6.14 - Exemplo de Arquitetura Operacional implementada 147
Figura 6.15 - Elementos Constituintes da Parte Operativa 148
Figura 6.16 - Implementação da Parte Comando em Lógica Reprogramável . 149
Figura 6.17 - Protótipo implementado – Parte Operativa 150
Figura 6.18 - Protótipo implementado – Parte Comando 151
Figura 6.19 - Sistema de Abertura/Fechamento de porta automatizada. 152
Figura 6.20 - Exemplos de Telas implementadas no Sistema Supervisório. 154
Figura 6.21 - Tela de cadastramento no Banco de Dados 155
Figura 6.22 - GRAFCET Funcional do Sistema 156
Figura 6.23 - Macro-Etapas do GRAFCET Funcional do Sistema 157
Figura 6.24 - Implementação da Parte Comando e Operativa. 158
Figura 6.25 - Cadeira de Rodas Automatizada. 159

LISTA DE TABELAS.

Tabela 3.1 – Classes de Sistemas Dinâmicos 29
Tabela 3.2 – Norma IEC 61131. 35
Tabela 5.1 – Características do CLP Koyo - modelo D0-05DR. 126
Tabela 5.2 – Blocos de Comunicação. 126

NOMENCLATURA

CGI – Common Gateway Interface

CLP – Controlador Lógico Programável

CP – Controladores Programáveis

CPU – Central Processing Unit

DNS – Domain Name System

E/S – Entrada/Saída

HTML – Hytertext Markup Language

HTTP – Hypertext Transfer Protocol

IHM – Interface Homem Máquina

I/O – Input/Output

IP – Internet Protocol

IPX – Internet Packet Exchange

LAN – Local Area Network Rede de Alcance Local

NetBEUI – Netbios Enhanced User Interface

PC – Personal Computer

PID – Proporcional Integral Derivativo

PLC – Programmable Logic Controller

RTP – Real Time Transport Protocol

RTU – Remote Terminal Units

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisitions

SCM – Sistema Controlado e Monitorado

SPX – Sequenced Packet Exchange

TCP/IP – Transport Controle Protocol/Internet Protocol

URL – Uniform Resourse Locador

UWA – University of Western Austrália

WAN – Wide Area Network Rede de Alcance Remoto

WWW – World Wide Web

ISO – International Standards Organization

RIA – Associação das Industrias de Robótica

Capítulo 1

Introdução

A parte introdutória desta tese apresenta um panorama geral do trabalho desenvolvido, fazendo um convite ao leitor para a leitura dos capítulos desta tese. Apresenta-se aqui, um estado da arte da Domótica com ênfase na Automação Predial, justificando o desenvolvimento desse projeto de pesquisa, seus objetivos gerais e específicos, a automação hospitalar e a forma como foi delimitada esta questão e a estrutura geral dos capítulos da tese.

1.1 Apresentação do problema de pesquisa

A automação é uma área multidisciplinar que envolve linguagem de programação (software), plataforma eletrônica (hardware) e dispositivos de atuação (mecânica). Dessa forma, um estudo sobre automação é algo muito abrangente, e envolve uma vasta gama de conhecimentos.

A domótica é a área tecnológica que se aplica à busca da eficiência, produtividade, conforto e segurança necessárias e imprescindíveis nas instalações industriais e residenciais. Sua área de abrangência é ampla e seu crescimento como ciência é diretamente proporcional ao desenvolvimento de outras disciplinas tecnológicas, envolvendo conceitos de engenharia civil, tecnologia de automação e de sistemas de controle, modelagem matemática, informática, etc.

No desenvolvimento de projetos e estudos de razoável abrangência torna-se necessário à união de competências de diferentes parceiros em torno de um projeto temático, podendo ser entendido como um conjunto de subsistemas de automação que formam um único sistema integrado de serviços, tais como a Distribuição de energia elétrica e controle de demanda, controle de iluminação, de acessos e simulação de presença; funcionamento e interrupção de funcionamento de instrumentos; Controle bio-climático através de calefação, ventilação e condicionamento de ar; Distribuição, filtragem e aquecimento de água; consumo de recursos hídricos e energéticos, segurança e comunicação e acesso remoto.

Para conseguir estes objetivos torna-se imprescindível considerarmos novos conceitos e diferentes técnicas de abordagens no projeto de sistemas de controle, entre outras atividades, a especificação de uma arquitetura de comando. Principalmente em

sistemas com estrutura de controle-comando bastante distribuída, esta especificação é determinante para todo o restante do ciclo de vida do sistema em questão. Nesses casos, o projetista vê-se face à difícil tarefa de, numa fase inicial de projeto, escolher uma arquitetura de comando capaz de atender a pré-requisitos funcionais como tempos de resposta do sistema.

A criação e estimulação dessas medidas são economicamente viáveis e eficazes, dependendo exclusivamente de sua aceitação e compreensão. A simplicidade de sua adequação, leva em conta o contexto em que a Sociedade vem convivendo, essencialmente pelo próprio processo globalizante.

Para validação dos conceitos desenvolvidos foi implementado no Laboratório de Automação Integrada e Robótica da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, um sistema piloto para controle de variáveis E/S digitais e analógicas associadas ao consumo de energia elétrica (sistema de iluminação e ar-condicionado), água, umidade, temperatura, acessos de pessoas, envolvendo a implementação em CLP industrial de programação estruturada e elaboração de telas de visualização de informações, banco de dados, informações estatísticas e redes de comunicação, a partir da utilização do software de supervisão e controle comercial.

Um sistema central de supervisão e controle de informações será implementado através de aplicativo computacional utilizando um Software comercial de Supervisão e Controle, a partir da elaboração de telas de visualização de informações, bancos de dados, informações estatísticas e redes de comunicação que permite a comunicação de um micro computador dedicado ao sistema supervisório com módulos estruturados implementados.

Para atingir o objetivo acima proposto utiliza-se uma abordagem híbrida onde aspectos discretos e contínuos são considerados. Como aplicação da metodologia desenvolvida, propõe-se e simula-se o tratamento de informações de presenças físicas de qualquer ordem e de níveis de energias presentes no ambiente.

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de metodologias para o projeto de pesquisa e implementação futura de "Hospitais Inteligentes", através da utilização de ferramentas para a análise e estratégias sobre sistemas de segurança do acesso e monitoramento de todos níveis de energia que ocorrem em qualquer ambiente. Busca-se fornecer uma ferramenta para a análise e estratégias sobre sistemas de segurança do acesso e monitoramento de todos níveis de energia que ocorrem em qualquer ambiente.

Assim, este trabalho esta direcionado a integração de dispositivos inteligentes utilizando conceitos de domótica direcionados a automação hospitalar, para criação de modelos genéricos de hospitais inteligentes, que levem em conta aspectos relacionados a

segurança, consumo de energia, racionalização de procedimentos e custo, a partir do reaproveitamento da infra-estrutura existente (sistema inteligente com baixo custo de implementação), tornando-os automatizados e otimizados, de forma econômica, aplicando-se os princípios de Domótica.

No decorrer desse trabalho são apresentados conceitos de Sistema de Supervisão Cooperativa para gerenciamento de informações em que suas funções e componentes estejam em estado da arte, e que se apresente totalmente adequado a DOMÓTICA, subdividido em subsistemas mais flexíveis e com maior número de funções na área de Automação, os estudos e pesquisa dentro do tema proposto levarão a uma sólida formação na área de Domótica. Ao fim destes, pretende-se desenvolver conhecimentos em aspectos como:

- redes de comunicação em automação;
- metodologias de modelagem de Sistemas Automatizados e projetos de automação: GRAFCET, redes de Petri, etc.;
- conexão com bancos de dados e fontes externas de informação;
- plataformas computacionais para sistemas de informação e controle.

1.3 Delineamento do trabalho

Na era da informação, juntamente com globalização, permitiram o desenvolvimento e popularização de tecnologias em comunicação e processamento veloz de informações, levando a necessidade de projetar edifícios automatizados em vista da produtividade, flexibilidade, segurança, economia de tempo e controle de gastos.

Utilizando os conhecimentos e experiência adquirida nos últimos anos na área de Engenharia de Integração de Sistemas e no decorrer deste trabalho de pesquisa, pode-se implementar metodologias direcionadas na área de Domótica, mais especificamente na área de Sistema de Segurança Eletrônica, destinados a proteção de ambientes. Esse sistema foi realizado a partir da elaboração de módulos estruturados para o acionamento e controle de dispositivos de acessos (entradas e saídas) do ambiente, os quais são gerenciados através de um sistema central de supervisão e controle de informações.

A busca da eficiência, produtividade e segurança necessárias no mundo atual devem ser levados em consideração ao projetar ou modificar um sistema. Para conseguir estes objetivos tem-se que, necessariamente, considerar novos conceitos e diferentes técnicas de abordagens que possam ser aplicadas, tanto para a modelagem do sistema como para sua avaliação, além, evidentemente, do aproveitamento eficiente e efetivo dos recursos de alta tecnologia atualmente disponíveis.

A domótica é uma disciplina tecnológica que se aplica ao ambiente residencial, com a finalidade de aumentar a segurança e o conforto para seus moradores. Sua área de abrangência é ampla e seu crescimento como ciência é diretamente proporcional ao

desenvolvimento de outras disciplinas tecnológicas, podendo ser entendida como um conjunto de subsistemas de automação que formam um único sistema integrado de serviços, tais como:

- Distribuição de energia elétrica e controle de demanda;
- Iluminação e simulação de presença;
- Funcionamento e interrupção de funcionamento de aparelhos eletrodomésticos;
- Controle bio-climático através de calefação, ventilação e condicionamento de ar;
- Controle de portas, janelas e cortinas automáticas;
- Distribuição, filtragem e aquecimento de água;
- Controle de acesso e detecção de intrusos;
- Detecção e combate a incêndios;
- Comunicação e acesso remoto.

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

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

Assim, a realização deste projeto de Pesquisa têm como objetivo principal o estabelecimento de uma metodologia que permita modelar sistemas de dispositivos de movimentação de pessoas em hospitais, considerando sua interação com outros sistemas prediais em um edifício inteligente, permitindo simular uma edificação na qual serão implementados sistemas de automação predial para controle inteligente de consumo de energia, consumo de água, controle de umidade, controle de temperatura, controle de iluminação, visando a redução de gastos e aumento do conforto em edifícios, hospitais, hotéis, shopping-centeres, aeroportos, etc...

1.4 Estrutura do trabalho

Este projeto de pesquisa apresenta metodologias e ferramentas direcionadas a área de Domótica, onde são utilizados conceitos baseados na teoria dos sistemas a eventos discretos para validar um modelo de arquitetura de comando distribuída através da construção de modelos de Análise Estruturada e de sua posterior simulação sob a forma de GRAFCET e Redes de Petri, aplicados em dispositivos inteligentes para controle de Hospitais, Residências e Cidades. Esta tese de doutoramento foi subdividida em seis capítulos:

Capítulo 1 – é realizado uma introdução ao problema, onde são apresentados os principais objetivos e justificativas deste projeto de pesquisa, a automação hospitalar e a forma como foi delimitada esta questão e a estrutura geral dos capítulos da tese.

Capítulo 2 – é realizado um trabalho de revisão bibliográfica aprofundado, discutindo a Domótica do ponto de vista histórico e também tecnológico no que consiste na sua utilização, enfocando suas principais funções e padronizações, finalizando o capítulo com ênfase em Automação Predial, principais funções, cabeamento estruturado e *retrofit* de edifícios existentes.

Capítulo 3 – apresenta a descrição de ferramentas para modelagem e integração de dispositivos automatizados direcionados a Domótica. Dentro desse contexto diferentes metodologias podem ser utilizadas para validar um modelo de arquitetura de comando distribuído através da construção de modelos de Análise Estruturada de automatismos seqüenciais e sua posterior implementação utilizando o GRAFCET – Grafo de Comando Etapa e Transição.

Capítulo 4 – apresenta a modelagem de sistemas a eventos discretos utilizando Redes de Petri , que para sistemas complexos se mostra direta e conveniente, pois permite a representação de concorrência, conflito e exclusão mútua, e também permite a coordenação e sincronização da dinâmica do sistema (modelo).

Capítulo 5 – apresenta os principais elementos constituintes da Parte Comando (PC) de um Sistema Automatizado, tais com CLP's, Sistemas Supervisórios e Redes de Comunicação, sendo também proposto uma metodologia para validar um modelo de arquitetura de comando distribuído através da construção de modelos de Análise Estruturada e de sua posterior simulação sob a forma de Redes de Petri Coloridas e Temporizadas.

Capítulo 6 – é realizada a validação do trabalho e metodologia proposta nos capítulos anteriores através da implementação experimental de uma maquete de laboratório correspondente a um Hospital Inteligente, utilizando um sistema comercial de Supervisão e Controle direcionados a área de Automação Hospitalar com Baixo Custo de Implementação, com ênfase no estudo da Domótica, realizado através da automação de atuadores e sensores visando segurança, controle de iluminação e climatização, controle de

consumo de energia, banco de dados permitindo sistemas de acessos e atendimento inteligentes realizados através de sistema de identificação e controle automatizado de acessos, guarita de controle e fluxo de veículos em estacionamento, sistemas de mobilidade: elevador inteligente, dispositivo automatizado de movimentação de cadeira de rodas, tele-cirurgia, etc.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica - Conceitos de Domótica

2.1 Introdução

Nesta revisão bibliográfica são apresentados conceitos relacionados à ciência da Domótica, direcionada aos Edifícios Inteligentes [Arkin,1997] com ênfase na automação hospitalar, baseada na integração de dispositivos automatizados e na utilização de ferramentas para modelagem de sistemas de discretos e contínuos, e mais especificamente hospitais.

As aplicações na área de Domótica são geralmente direcionadas ao campo da Automação, onde a partir do gerenciamento de sensores e atuadores num ambiente residencial, hospitalar ou industrial, torna-se possível um aumento de segurança e conforto proporcionando ainda redução de custos e otimização de recursos energéticos em médio prazo.

No decorrer deste capítulo, serão apresentados os principais agentes de um Sistema Domótico, as Funções Domóticas e sua classificação, as Principais Arquiteturas de Comando e Redes de Comunicação. No final deste capítulo são apresentadas aplicações direcionadas a Automação predial com ênfase no cabeamento estruturado e *retrofit*, fornecendo assim subsídios para o próximo capítulo, onde serão apresentadas ferramentas matemáticas para modelagem de sistemas domóticos.

2.2 Domótica - Conceitos e Tecnologias

A Domótica é uma área tecnológica que se aplica ao ambiente residencial, com a finalidade de aumentar a segurança e o conforto para seus moradores. A etimologia da palavra domótica vem do latim "domus", que significa casa, habitação, domicilio, sendo, portanto, um domínio de aplicação tecnológica para a automação do ambiente residencial.

Na Automação Predial encontramos duas linhas distintas: a Domótica [Abramson, 1995]; [Kujuro & Yasuda, 1993], automação residencial familiar, e a Imótica, destinada a fins empresariais. Em termos práticos, generalizamos os termos encarando a Imótica como sinônimo de Domótica. A distinção entre ambas não se dá pela tecnologia utilizada, mas

pelo público a que se destina. Enquanto a domótica atende as necessidades individuais de um morador ou de uma família, os recursos utilizados num edifício inteligente pressupõem a satisfação de uma estrutura empresarial.

Através da domótica, o sistema de supervisão e controle pode ser comparado a um ser vivo, com capacidade de compreender e reagir às variações do meio. Para tanto, faz uso de várias tecnologias para prover algum tipo de automação ou automatismo que atue dentro do espaço residencial. [Finley & Kamae, 1993]

Sua área de abrangência é ampla e seu crescimento como ciência é diretamente proporcional ao desenvolvimento de outras disciplinas tecnológicas.[Kroner.1997]

No final dos anos 80, os sistemas de automação de segurança, iluminação e intrusão, mostraram coordenação entre componentes do mesmo sistema. O Lloyds Building em Londres foi o primeiro da geração dos Edifícios Inteligentes (figura 2.1). O sistema de gestão do edifício incluía avanços tecnológicos para a época, porém estes sistemas operavam de forma independente, sem integração entre eles.

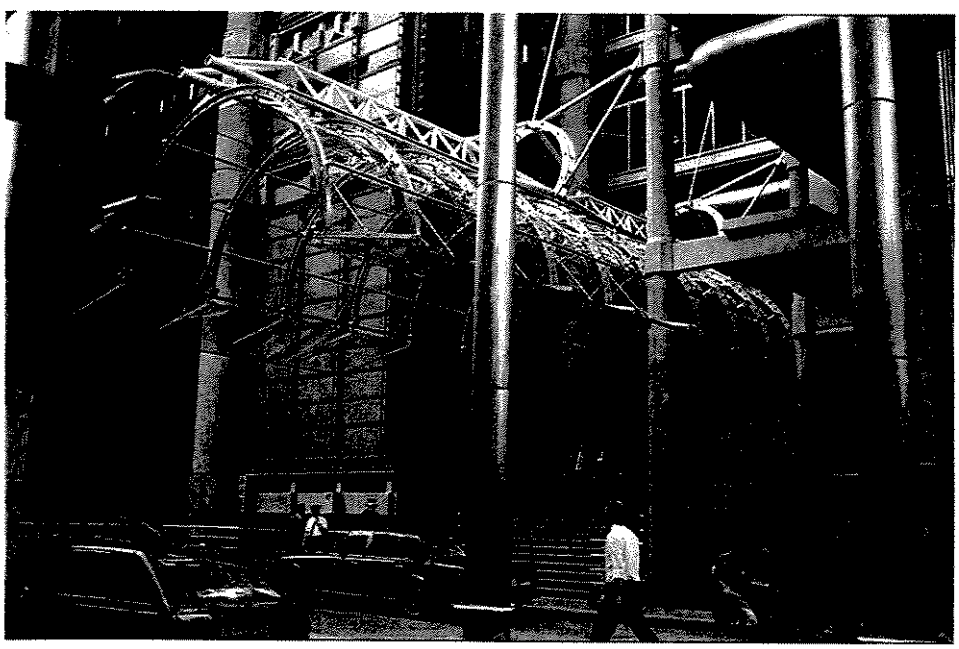


Figura 21: Edifício Inteligente Lloyds Building, Londres.

A Domótica pode ser entendida como um conjunto de subsistemas de automação que formam um único sistema integrado de serviços, tais como:

- Distribuição de energia elétrica e controle de demanda;
- Controle de iluminação e simulação de presença;
- Controle de funcionamento de aparelhos eletrodomésticos;

- Controle bioclimático através de calefação, ventilação e condicionamento de ar;
- Controle de acessos: portas, janelas e cortinas automáticas;
- Distribuição, filtragem e aquecimento de água;
- Controle de Segurança: detecção e controle de intrusos, incêndios e vazamentos;
- Comunicação e acesso remoto.

A domótica, que também pode ser referenciada por expressões como "smart building", "intelligent building", "edifícios inteligentes",[Maeda, 1993] é um novo domínio de aplicação tecnológica, tendo como objetivo básico melhorar a qualidade de vida, reduzindo o trabalho doméstico, aumentando o bem estar e a segurança de seus habitantes e visa também uma utilização racional e planejada dos diversos meios de consumo [Arkin, 1997]. A domótica procura uma melhor integração através da automatização nas áreas de segurança, de comunicação e de controle, e gestão de fluídos.

Os elementos que constituem a cadeia funcional da domótica são: Sensores, Transdutores, Detectores e Redes Domóticas. A questão habitacional se traduz em uma exigência de qualidade e aproveitamento dos espaços, formulado em termos de edificação como: superfície mínima habitável, condições de salubridade e higiene, condições de iluminação e ventilação dos locais, etc. A integração das novas tecnologias existentes busca dar resposta a essa crescente exigência de qualidade. Para tanto, pôde-se observar um desenvolvimento de produtos e serviços para criar um habitat inteligente, tanto para o setor terciário como para o residencial.

2.3 Agentes de um Sistema Domótico

O fator determinante de um sistema domótico é a integração entre seus diversos agentes ou subsistemas. Sensores, transdutores ou detectores de um subsistema podem ter suas informações utilizadas por outro sistema, simplificando as estratégias de controle e propiciando redução significativa de custos.

Estes sistemas podem ser agrupados e classificados de acordo com o tipo de gerenciamento que executam sendo que quatro se destacam como essenciais para a composição de um sistema domótico.

-**Gestão de Energia:** Envolve a distribuição e utilização da energia elétrica. Ligamento e desligamento de equipamentos podem ser programados para efetuar um controle de demanda e promover a conservação de energia. Por exemplo, o aquecimento de água através de boiler pode ser otimizado, bem como o funcionamento do chiller de refrigeração.

-**Gestão da segurança Física e Patrimonial:** Responsável pela segurança dos moradores e preservação da propriedade, agrega o controle de acesso, a detecção de intrusão e a simulação de presença. A detecção e o combate a incêndio ou inundação também são objeto do mesmo. Embora possa ser controlado pela gestão de energia, o fornecimento interrupto de energia elétrica pode ser parte integrante deste subsistema.

-Gestão do Controle Ambiental: Promove o controle bioclimático da residência. Pode gerenciar filtragem de água, caldeiras, calefação, condicionadores de ar e ventiladores. A automatização da iluminação pode ser feita através de programação de luminosidade com a ajuda de sensores.

-Gestão das Comunicações: Fazem parte deste subsistema os serviços de acesso ao mundo exterior como: telefonia, fac-simile, televisão por assinatura (CAT), acesso à internet e RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados). A rede local para voz, dados ou controle e o circuito fechado de televisão (CCTV) são exemplos de facilidades que podem estar presentes na gestão das comunicações. Tecnologias como cabeamento estruturado podem estar presentes.

A classificação de um componente como integrante de um determinado subsistema é apenas uma preposição, pois o mesmo pode ser utilizado para mais de uma função.

Os subsistemas podem estar interligados a um programa de aquisição de dados e controle supervisórios localizado em um microcomputador central. O aplicativo para prover esta funcionalidade pode ser desenvolvido em linguagem de alto nível ou utilizar-se de pacotes supervisórios comerciais que apresentam maior facilidade de configuração.

Interfaces homem-máquina dedicadas para automação e de construção robusta podem ser utilizadas para simplificar ainda mais a configuração do sistema supervisório.

Outra possibilidade vem a ser a utilização de uma arquitetura cliente/servidor sobre uma plataforma protocolar de rede, TCP/IP. Um servidor WEB é embutido no equipamento de controle, possibilitando que a aplicação SCADA, implementada através de "applets" Java, esteja alojada em área de memória não volátil do próprio equipamento. O acesso ao aplicativo supervisório requer apenas que, o microcomputador conectado via TCP/IP ao equipamento de controle, disponha de um navegador Internet, independentemente da plataforma computacional utilizada.

2.4 Sistemas Domóticos

Considerando a vertente tecnológica, uma definição apropriada de sistema domótico poderia ser: É aquele em que existem grupos automatizados de equipamentos, geralmente associados por funções, que tem a capacidade de realizar uma comunicação interativa entre eles através de um dispositivo que os integra",[Arkin & Paciuk, 1995]

Os sistemas domóticos devem ser integrados, de maneira que uma aplicação envolva a participação de vários equipamentos pertencentes a sistemas distintos e interativos no que se refere à troca de informações, entre eles e com o usuário, tanto dentro de um ambiente como em relação com o mundo exterior. A Domótica abre novas possibilidades em relação à automatização do habitat, como também se constitui um meio no qual o usuário possa gerenciar seu espaço cotidiano. Para isso são necessárias que

estejam contempladas as características domóticas básicas: comunicação entre os diferentes equipamentos e sistemas, tanto no interior como no exterior do ambiente, e a comunicação do sistema com o usuário através de interfaces simples e fácil de entender o controle da programação das funções, tanto no interior como no exterior [Flax,1991]; [Kroner, 1997].

2.5 Funções Domóticas e classificação

A domótica tem basicamente, o objetivo de oferecer uma maior qualidade de vida ao espaço cotidiano. Essa proposta integradora busca dar resposta às necessidades do homem, que podem ser agrupadas em três grupos: [flax,1991]

i) **Necessidades de segurança:** que deverão estar relacionadas com a qualidade do ar, a prevenção de acidentes físicos e materiais, a assistência à saúde e segurança anti-intrusos.

ii) **Necessidades de conforto ambiental:** implicando na criação de um meio ambiente agradável ao conforto térmico, acústico, visual, olfativo e espacial.

iii) **Necessidades de conforto de atividades:** associado aos nossos hábitos cotidianos, tais como dormir, alimentação, cuidados pessoais, manutenção (do ponto de vista local e material), comunicação, diversão, trabalho.

A classificação de funções Domóticas é realizada com o intuito principal de satisfazer a um número considerável das necessidades anteriormente discutidas. Assim são definidas, três grandes classes de funções segundo o tipo de "serviço" a que elas se destinam, as quais são divididas em sub-funções elementares, que podem ser facilmente analisadas:

2.5.1 Função de Gestão

Essa função tem áreas comuns com a função de controle. A função de gestão tem por objetivo automatizar um certo número de ações sistemáticas. Um processo de automação em Domótica será realizado através de uma programação, um controle dos consumos e uma manutenção. As ações sistemáticas dessa função se relacionam principalmente com o conforto, e podem ser classificadas como:

i) gestão da iluminação;
ii) gestão da calefação, ventilação e ar condicionado;
iii) gestão da qualidade do ar;
iv) gestão de funcionalidades dos espaços.

2.5.2 Função de Controle

A função de controle dá ao usuário, por um lado, informações sobre o estado de funcionamento dos equipamentos e das instalações que os integram; e por outro lado, criam um registro dos diversos parâmetros e eventualmente, induzem comandos corretivos. Para tanto ele conta com controles instantâneos e memorizados. Essa função tem por objetivo atuar sobre os dispositivos de regulagem das instalações, com a finalidade de que as tarefas programadas sejam respeitadas. [Finley & Kamae, 1993]

As funções de controle associadas com um algoritmo ou com uma unidade de tratamento da informação conduzirão às funções de comando, que poderão ser classificadas em funções de Controle técnico, Segurança – tele-transmissão e Assistência – saúde.

2.5.3 Função de Comunicação

As capacidades de telecomando e de programação se aliam às potencialidades técnicas da interatividade, entre elas o controle e espaçamento de informações e serviços. A interatividade designa, por um lado, uma característica da comunicação que é uma mesma condição da domótica: "trata-se de promover sistemas, que pela padronização, podem se comunicar entre si por intermédio de redes auxiliares", e por outro lado, está indicando que o espaço do ambiente não será somente interativo, mas também "convivencial". [Arkin & Paciuk, 1995]

2.6 Redes Domóticas e padronização

A rede domótica é o elemento principal de todo o sistema domótico. Um sistema de cabeamento permite realizar a comunicação entre os diferentes dispositivos conectados a rede, sendo essencial para a domótica. As redes destinadas aos edifícios inteligentes se baseiam em aplicações, onde uma rede separada e independente é utilizada para cada função. É assim que existem redes destinadas à segurança, à detecção de incêndios, ao controle de acessos, à climatização, à informática.

As redes domóticas são, em termos gerais, redes polivalentes que permitem realizar diferentes funções a fim de simplificar a complexidade da instalação da rede. A mesma rede domótica assegura, por exemplo: as funções de segurança, conforto e gestão técnica. A rede pode estar constituída de um ou vários suportes de comunicação de acordo com as funções que esse sistema domótico realiza.

A elaboração e adoção de padrões para utilização em sistemas domóticos representa um desafio contínuo para pesquisadores e projetista. As características da rede e os protocolos de comunicação têm definido os padrões existentes. Por permitir a comunicação entre os diferentes equipamentos conectados a ela, a rede domótica é o principal componente de todo o sistema. Por sua vez, os protocolos de comunicação, por estarem em

desenvolvimento e constante evolução competem entre si por um lugar de destaque, que pela sua eficiência ou pelo domínio do mercado.[Frota &Schiffer, 1988]

2.6.1 Principais Padrões utilizados em Redes Domóticas

Normalmente, padrões concebidos para outras áreas tecnológicas, tais como a Automação Industrial, podem ser aplicados a domótica como, por exemplo: Modbus, DeviceNet, Controller Área NetWork (CAN), FieldBus e Profibus. Entretanto os principais padrões utilizados pelo mercado são os seguintes:

X-10: Possivelmente o primeiro padrão para automação residencial, introduzido há vinte anos no mercado. Utiliza a própria fiação elétrica para comunicações entre transmissores e receptores X10, moduladas na freqüência da voltagem, que serve como portadora. Em decorrência da qualidade de fiação, normalmente este padrão é limitado a pequenas e médias distâncias, sendo que para residências com área superior a 185 metros quadrados é necessária a utilização de amplificadores de sinal. Os atuadores e sensores são unidirecionais, não possuindo inteligência. É o padrão mais utilizado nos EUA neste seguimento.

Cebus: O protocolo para automação residencial CEBus (Consumer Electronic Bus) oferece dois sistemas padronizados pelo CEBus Industry Council, o primeiro fornece controle a baixas velocidades, aproximadamente até 10 Kbps, o segundo é utilizado para sistemas que utilizam altas taxas de transmissão de dados tais como transmissões de vídeo e som. O padrão é versátil ao permitir a utilização de vários meios de comunicação e linhas portadoras de energia tais como: par entrelaçado, rádio freqüência, infravermelhos, caboi coaxial e fibra óptica. O método de acesso ao meio físico se dá por CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) e o chip respnsável pelo hadware de comunicação e protocolo só é produzido por um fabricante, a Intellon Corporation em Ocala, na Flórida.

LONWORKS: Topologia de rede criada pela Echelon para automação predial e industrial. Por ser uma plataforma tecnológica de rede completas, aberta e projetada para implementar a inter operabilidade de redes de controle, é considerado um dos padrões mais completos em termos de recursos e utilização. O esquema de acesso ao meio físico se faz por CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) ativada por eventos. Todo o foco deste padrão está num chip denominado Neuron que inclui todo o hardware de comunicação e protocolo de rede (Lon Talk).

BACnet: Padrão de controle para automação predial mantido pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers). Define protocolos para uso em quatro camadas do modelo de referência OSI: aplicação, rede, enlace de dados e física. Sua utilização é mais difundida no controle de bioclimático (HVAC), mas esta não é uma restrição.

EIB: O European Installation Bus, definido pela EIBA (European Instalation Bus association), possui uma topologia aberta. Implementa um sistema descentralizado com inteligência distribuída, com acesso ao meio físico por CSMA/CA. A instalação do barramento de dados é feita paralelamente ao fornecimento de energia, permitindo 64 dispositivos por linha, 12 por linha principal e 15 por linhas principais por Backbone.

2.6.2 Rede Ethernet

Desenvolvida pela XEROX, Intel e Digital no final da década de 1970, a Ethernet é uma das redes mais importantes e conhecidas no mercado, tendo servido como base na elaboração do padrão IEEE 802.3. Tornou-se uma tecnologia de rede local popular; a maioria das empresas de médio e grande porte a utiliza. Estima-se que mais de 50 milhões de novas estações sejam conectadas por ano, utilizando a rede Ethernet.

Levando-se em conta a disponibilidade de pessoal técnico para instalação e manutenção e a grande quantidade de redes locais já instaladas seguindo este padrão, além da difusão maciça do protocolo TCP/IP, a rede Ethernet vem sendo considerada como uma alternativa de baixo custo para sistema domóticos, através de implementação de uma Intranet residencial.

A Ethernet é uma tecnologia de barramento de difusão com método de entrega sem garantia e controle de acesso distribuído. É um barramento porque todas as estações compartilham um único canal de comunicação; é de difusão (broadcast) porque todos os transceptores recebem cada uma das transmissões.

A rede Ethernet opera com sinalização digital, codificação do sinal em Manchester diferencial e utilizando o método de acesso CSMA/CD, o que permite que estações possam verificar se o meio de transmissão está livre antes de iniciar a transmissão, além de terem a capacidade de detectar colisões durante a transmissão.

Para permitir comunicação com o meio exterior, duas tecnologias vêm mudando, de forma irreversível, a face mundial neste novo século: a telefonia celular e a Internet. A telefonia móvel celular e os sistemas de mensagens (Pager) permitem facilidades de acesso remoto com alto grau de disponibilidade, além de possibilitar ao sistema domótico a transferência de informações urgentes para seus usuários, tipicamente vinculadas ao gerenciamento da segurança física e patrimonial da residência.

Entretanto, os conceitos utilizados na rede mundial de computadores (Internet) têm provado que podem existir padrões de fato, gerados em função das necessidades dos usuários, bem como uma adaptação dos usuários às ferramentas com maior aceitação no mercado. O correio eletrônico e a World Wide Web (WWW), possibilitam a comunicação do sistema domótico com os usuários, estejam este dentro do ambiente residencial ou fora dele. Os acessos rápidos por ISDN ou cable modem permitem alta disponibilidade do

acesso à Internet e os custos têm apresentado significativa redução. É chegado o momento em que a utilização da Internet passará a se integrar ao nosso dia a dia não só como um recurso de informação e comunicação, mas para a supervisão e o controle residencial.

A utilização de um padrão não é exclusiva em um sistema domótico. Mais de um padrão pode ser adotado e coexistir com outro numa aplicação de automação residencial ou predial.

Impulsionada pelos avanços tecnológicos, a domótica é um mercado novo e em um contínuo desenvolvimento, com fortes potencialidades de crescimento econômico. Sua popularização depende da ação conjunta de governadores, instituições de pesquisa e fabricantes de equipamentos.

Os sistemas domóticos têm por objetivo primordial, através da utilização racional e integrada de várias tecnologias, buscar a melhoria da qualidade de vida para os usuários do ambiente residencial. Apesar da variedade de padrões existentes, estes ainda têm dificuldades em conterem os requisitos necessários para transformar em realidade os anseios de seus usuários.

2.7 Classificação dos Sistemas Domóticos

Os sistemas Domóticos podem ser classificados basicamente pelo tipo de arquitetura de supervisão e controle utilizada. A arquitetura de um sistema Domótico, como qualquer sistema de controle, especifica o modo em que os diferentes elementos de controle do sistema se comunicam. Existem as arquiteturas básicas: A arquitetura centralizada e a distribuída.

2.7.1 Arquitetura Centralizada

É aquela na qual os elementos a controlar e supervisionar (sensores, luzes, válvulas, etc) vão ser usados no sistema de controle da casa (PC ou similar). O sistema de controle é o coração da casa, em cuja falta, tudo deixa de funcionar, e sua instalação não é compatível com a instalação elétrica convencional enquanto que na fase de construção há que construir uma topologia de cabeamento, e não é possível sua ampliação. Este tipo de arquitetura inviabiliza na maioria das vezes aplicações no campo da Domótica.

Entre as principais vantagens oferecidas pelas arquiteturas centralizadas, podemos destacar que estes equipamentos são mais econômicos, mas ao mesmo tempo podem implicar em altos custos de instalação em função de sua complexidade.

Como principais desvantagens temos a grande quantidade de cabos, a centralização de funções através da instalação de grandes painéis elétricos com relés de potência ou interruptores, equipamentos que não são capazes de comutar cargas elétricas.

2.7.2 Arquitetura Distribuída

É aquela em que o elemento de controle se situa próximo aos elementos a serem controlados. Existem sistemas que são de arquitetura distribuída quanto a capacidade de processo, mas não são quanto a ligação física dos diferentes elementos de controle e vice-versa, sistemas que são de arquitetura distribuída quanto a sua capacidade para ligar elementos de controle fisicamente distribuídos, mas não quanto aos processos de controle, que são executados, em um ou vários processadores fisicamente centralizados.

Embora esse tipo de arquitetura apresente um alto custo inicial de instalação, omo principais vantagens desse tipo de arquitetura, integrada dentro dos conceitos da Domótica, podemos destacar que estes sistemas são robustos a falhas, apresentam fácil e rápido o projeto de instalações.

Os sistemas com arquitetura distribuída devem levar em consideração para efeitos comparativos com sistemas que apresentam arquitetura centralizada os seguintes critérios:

a) Meios de Transmissão das comunicações: Como meio de transmissão se entende o suporte físico sobre o qual são transportados os dados de comunicação, ou seja, ondas portadoras, tipo de cabeamento (p. ex. par trançado), controle por Radiofreqüência e utilização de fibra ótica.

b) Topologia da rede: Para os sistemas de cabo, existe um conceito que a topologia da rede de comunicações. A topologia da rede se define como a distribuição física dos elementos de controle respectivo ao meio de comunicação (cabo), estes podem ser classificados em bus, anel, topologia livre.

c) Velocidade de comunicação: Em todo sistema Domótico com arquitetura distribuída, os diferentes elementos de controle devem intercambiar informação uns com os outros através de um suporte físico (par trançado, linha de potência ou rede elétrica, rádio, infravermelho, etc). A velocidade de troca de informação dos diferentes elementos de controle da rede se denomina velocidade de comunicação.

d) Protocolo de comunicação: Uma vez estabelecido o suporte físico e a velocidade de comunicação, um sistema Domótico se caracteriza por um protocolo de comunicação que utiliza, o formato das mensagens dos diferentes elementos de controle do sistema deve utilizar para entender uns como os outros e podem intercambiar suas informações de uma maneira coerente. Dentro os principais protocolos existentes no mercado que atendam as padronizações podemos classificar:

- **Protocolo "standard"**: Os protocolos standard são os que de alguma maneira são utilizados amplamente por diferentes empresas e estas fabricam produtos que são compatíveis entre si.

- **Protocolos proprietários**: São aqueles que desenvolvidos por uma empresa, só ela fabrica produtos que são capazes de comunicar-se entre si.

2.8 A Automação Predial

2.8.1 – Conceitos de Projeto de Automação Predial

Um dos principais linhas de aplicação da Domótica se refere à Automação Predial, neste trabalho analisaremos o conceito de "domótica e tecnologias", salientando o conceito da integração de subsistemas que a compõem e de sua integração com o resto de um empreendimento, abordando equipamentos, sistemas, redes de dados, voz e imagem.

Pretende-se mostrar que o futuro enfocará o prédio como, um sistema de alta tecnologia, onde todas as funções e facilidades deverão ser gerenciadas a partir de um centro de controle único, otimizando o seu uso, gerando uma. série de facilidades aos usuários, diminuindo significativamente a necessidade de deslocamento físico pelo uso de sistemas eletrônicos, aumentando consideravelmente o conforto e a eficiência interna, reduzindo ainda custos operacionais.

Esta tecnologia permitirá também que a operação do empreendimento, integrada às suas ferramentas de utilização e administração, seja otimizada ao limite em facilidade de uso, eficiência e economia de custos.

Ao mesmo tempo, o desenvolvimento dos sistemas que até uma certa época eram empregados de forma dispersa permitiu urna evolução acelerada no sentido de uma operação integrada, que trará para um plano real, num curto prazo, alguns conceitos abordados nesse trabalho.

Hoje em dia já é possível automatizar todos elementos existentes numa residência, desde as janelas, luzes, aparelhos até a climatização (controle de energia), a segurança, o conforto (controle das luzes e aparelhos) e as comunicações são os principais fatores passíveis de serem controlados de uma forma automatizada numa casa.

O nível do controle integrado de todas as operações que surgem os primeiros obstáculos à generalização da domótica no setor imobiliário. Existe o controle das luzes, o alarme, o controle dos aparelhos e da climatização, mas ainda é muito raro existirem todas estas aplicações na mesma casa. Normalmente o cliente opta por algumas destas aplicações, mas os custos aumentam de uma forma exponencial quando se pretendem integra-las no mesmo processo de controle.[Ho,1987]

A principal diferença entre a Domótica e os Edifícios Inteligentes está essencialmente na escala e no grau de sofisticação da aplicação. Enquanto numa residência temos, por exemplo, dezena de pontos a controlar, num edifício este número é facilmente ampliado. Por outro lado, o grau de sofisticação de uma aplicação para uma residência pode

e deve ser o mais simples possível, de modo a não obrigar o utilizador final a ter um determinado tipo de formação, enquanto que para um edifício o grau de sofisticação da aplicação geralmente obriga à formação de quadros específicos para lidarem com a "inteligência" do sistema de Gestão do edifício.

Uma vez identificado os serviços a serem oferecidos ao utilizador, é preciso escolher o método de transmissão de dados físicos a ser utilizado, onde deverão ser considerados os seguintes aspectos:

- Número de pontos a controlar;
- Tipo de integração dos serviços;
- Tipo de utilizador em questão;
- Grau de sofisticação da aplicação;
- Nível de segurança e confiabilidade da transmissão;
- Custos e facilidades de instalação;
- Velocidade e capacidade da transmissão de dados.

Todos estes fatores influem na escolha de uma solução e custo mais adequado. O fato de ainda não haver grande flexibilidade de opções no mercado e não existir mão-de-obra especializada para este tipo de instalações, faz com que haja muitas incompatibilidades e falhas na definição dos cadernos de encargos, além de muita especulação sobre o assunto.

O que provoca a necessidade da Domótica nas residências é a precisão do setor imobiliário dispor de opções de valor acrescentado para introduzir nos empreendimentos. Mais do que simples argumentos de marketing. Assim, os produtos de Domótica intervêm em áreas tão úteis como são a segurança, o conforto e as comunicações. Opções variadas deverão surgir no decorrer dos próximos anos, com ênfase especial nessas áreas.

Atualmente as aplicações da Domótica mais utilizadas nas residências são as seguintes [Fujie & Mikami, 1991]:

- Corte automático do gás em caso de fuga;
- Corte automático da água em caso de inundação ou vazamentos;
- Controle energético (local e à distância);
- Controle de acessos (com marcador automático de chamadas);
- Controle manual e automático (programador horário) das luzes e aparelhos em casa;
- Controle de monitoramento (janelas e quartos, por exemplo);

Todas essas aplicações podem ser interligadas, atualizadas e ampliadas se forem implementadas de maneira estruturada. Dependendo do sistema, as modificações à instalação podem eventualmente ser feitas pelo próprio utilizador.

Outro aspecto importante a ser considerado é se a instalação se destina a casa acabadas ou em projeto. Os custos implicados são evidentemente diferentes e as soluções viáveis podem pôr em causa a aplicação de determinados sistemas.

No caso de casas acabadas deve considerar-se um sistema que use a rede elétrica para comunicar. Este tipo de sistema, além de ser de simples instalação não requer nenhum custo adicional (ao nível de obras). Por exemplo podemos citar, o caso do sistema mais utilizado de rede elétrica, que é o sistema X-10, o mesmo é constituído por uma vasta gama de módulos compatíveis, capazes de realizar qualquer função de automação doméstica. Assim. ligam-se às tomadas já existentes e enviam sinais pela rede elétrica, com um protocolo de comunicações próprio (o protocolo X-10), permitindo controlar luzes, aparelhos ou motores espalhados pela mesma fase de corrente. O controle dos diferentes módulos pode ser feito por:

- Rádio Freqüência (Telecomandos);
- Pela rede elétrica (controladores);
- Por voz (através de um digitalizador de voz);
- Por programação horária;
- Por computador (através de uma interface compatível X-10)
- Por telefone de tons (através de um controlador telefônico);
- Automaticamente (por ação de atuadores ou sensores).

Ainda não existe no mercado compatibilidade entre todos os equipamentos. A IBM tinha o monopólio dos computadores até ao dia em que surgiram os IBM compatíveis. Ninguém arrisca aderir a um standard se tiver de partilhar o mesmo mercado com seus concorrentes mais diretos.

O que está acontecendo é que vão surgindo vários standards, consoante os "partidos" a que os principais fabricantes pertencem,ou seja, juntam-se vários fabricantes das diversas aplicações Domóticas e dos Edifícios Inteligentes e cooperam no sentido de juntos apresentarem uma solução global para a generalidade das instalações. Assim existem na Europa vários standards BATIBUS, EIBUS, JBUS, MODBUS, D2B, EIB, etc., nos Estados Unidos o CEBUS, X-10, SMART HOUSE, ECHELON, etc., e no Japão o TRON.

O mercado nacional está começando pelas soluções mais simples e úteis, devendo evoluir pela diferenciação tecnológica que cada marca proporciona. O grau de exigência será imposto progressivamente pelo próprio mercado.

2.8.2 – A Evolução da Automação Predial

Nas últimas décadas, principalmente pelos aspectos de segurança e flexibilidade, podemos constatar o aparecimento crescente de complexos imobiliários de grande porte. Pequenas lojas de rua e prédios de escritórios e com número reduzido de apartamentos passaram a conviver com *shopping centers* compostos por centenas de lojas, empreendimentos de escritórios de grandes proporções, condomínios habitacionais com uma enorme quantidade de unidades, todos eles com milhares de usuários.

A tendência atual é a construção de prédios cada vez maiores, uma tendência mundial, onde a cada. momento aparece um projeto que supera o anterior. Prédios com mais de cem pavimentos, shopping centers que, com mais de 300 lojas, passaram a ser considerados de médio porte; além de complexos imobiliários multidisciplinares, associando escritórios, residências, shopping centers, hospitais, clinicas médicas, etc.

Entretanto, as necessidades existentes neste padrão e porte crescem de forma. exponencial em relação à sua área, tanto em termos de automação de sistemas de segurança, acarretando num cuidado e a responsabilidade com relação ao gerenciamento dos sistemas destinados a controlar centros com estas dimensões torna-se muito grande, tanto do ponto de vista de otimização de sua operação e manutenção como da redução do custo condominial, hoje fator determinante na viabilização destes empreendimentos.

Ao mesmo tempo a tecnologia de automação, tem respondido ao mercado oferecendo uma gama de soluções com qualidade, durabilidade e custo reduzido, permitindo assim, que o enfoque dos projetos de sistemas integrados para o controle destes complexos possa evoluir, acompanhando assim este crescimento.

Até pouco tempo, automatizar prédios significava criar um conjunto de controles para suas funções mais importantes, dando ao empreendimento uma condição operacional um pouco mais evoluída que a operação manual. Porém, faltavam condições técnicas e gerenciais para que se pudesse efetuar a implantação de sistemas que atuassem nos prédios de forma integrada, objetivando tirar partido do estado efetivo da arte do setor de automação, no sentido de se otimizar, de fato, a operação, minimizando custos e maximizando a eficiência.

Estas condições se tornaram realidade, determinadas pelo estágio de padronização de comunicações e de protocolos, pela modernização dos equipamentos de campo (que viabilizam o uso de algoritmos de controle cada vez mais complexos e interativos) e, principalmente, devido a softwares mais evoluídos, com a possibilidade de integrar este conjunto de funções em urna interface homem máquina eficiente - a tela do computador de controle, que passa a ser a janela efetiva para que se possa conversar com o prédio e com suas funções associadas.

A evolução do conceito e tamanho dos novos empreendimentos imobiliários determina o uso de novas soluções, de forma que suas equipes operacionais possam enfrentar a complexidade crescente de seu gerenciamento e administração.

A construção de prédios, para que seus usuários possam dispor destas facilidades de forma integrada e otimizada, é o foco que deve ser dado hoje, com maior relevância para aqueles cuja construção se inicia, tornando atualmente, obrigatório aos projetistas incorporarem aos empreendimentos a tecnologia mais atualizada possível, garantindo que o resultado estará o mais próximo da realidade na época em que o prédio iniciar sua operação.

2.8.3 – O Cabeamento Estruturado

Num passado recente, era rara a utilização de computadores em empreendimentos imobiliários. Entretanto nos últimos anos, este quadro esta se alterando radicalmente, com um crescimento geométrico na utilização destes equipamentos, a ponto de dar ensejo a uma alteração profunda no processo construtivo dos prédios. Pavimentos de 1.000 m2, que antes teriam talvez dois ou três equipamentos, passaram a comportar da ordem. de um a cada 10 m2, ou seja, de 100 a 150 computadores em cada pavimento.

A necessidade de conectá-los em rede, e dotar seus usuários de pelo menos um ponto de telefone (internet), determinou fatores de projeto e implantação que antes não eram considerados. No nível do pavimento, este cabeamento passou a ser denominado de "horizontal".

As necessidades de redes e configurações dos ramais telefônicos definiram a criação de um ambiente novo em cada pavimento, denominado "closet" de comunicações, onde os cabos dos computadores e dos telefones são trazidos e alocados a painéis de configuração, os denominados *"patch panels"*, e criação de um espaço para a alocação de equipamentos, que antes não era necessária.

Trazer estes cabos para a base do prédio, conectá-los aos pontos externos de dados e à Central de Telefonia gerou o denominado "cabeamento vertical" e a criação de um espaço - o *Main Closet*, destinado a centralizar as comunicações de voz e dados do empreendimento. Antes era uma, a Sala de Automação; agora, dependendo do prédio, são três espaços destinados a Automação, Segurança e Comunicações.

Por outro lado, a tecnologia permitiu esta evolução, através do desenvolvimento de cabos com capacidade de uso tanto para rede de dados como para sistemas de voz, em velocidades de 100 Mbps até 250 Mbps, viabilizando assim normatizar e ordenar de forma adequada os cabeamentos horizontais e verticais.

Através disso tornou-se possível integrarmos com segurança, numa só rede de dados, voz e imagem, todos os serviços de um empreendimento, decisão que viabiliza a concentração das informações e dos centros de decisão, e ao mesmo tempo, possibilita o acesso a estas informações de forma totalmente distribuída, tanto lógica, quanto fisicamente.

Outro ponto a ser considerado é que a integração de setores externos ao empreendimento passa pela modernização de conceitos de implementação deste, de forma a permitir que de um lado, exista um tráfego local de informações coerentes com o volume de negócios da organização, representados pelo conceito de redes locais; e de outro, a possibilidade de acessos a múltiplos setores externos, sem uma degradação da capacidade de processamento e transporte de informação. Insere-se neste contexto, com grande força, o acesso a Internet, Infovias em cabo ótico ao longo de cidades, estados e mesmo países, redes corporativas privadas etc.

A evolução tecnológica que ocorre no setor de cabeamento estruturado, com normas claras e equipamentos com maior capacidade, tem permitido que organizações de porte, em prédios únicos ou multi-prédios, possam implementar este tipo de estrutura. Outro ponto a ser ressaltado é que esta evolução tem feito crescer o potencial dos meios, em capacidade e facilidade, sem acarretar incremento significativo de custos, uma vez que se trata, de fato, da substituição de toda a instalação antes prevista para a telefonia tradicional.

O desenvolvimento de um bom projeto gera as condições para que as possibilidades destes sistemas sejam exploradas ao máximo, provendo os edifícios comerciais de soluções de custo/benefício adequadas para a distribuição de telefonia, além de Redes de Informática, a própria instalação do Sistema de automação predial com seus subsistemas (Som, CFTY, Segurança Patrimonial etc.) e deixando o empreendimento pronto para os novos saltos tecnológicos das telecomunicações, no que se refere à velocidade de transmissão de dados, teleconferências, etc.

2.8.4 – Principais Elementos de um Sistema Predial

Os Empreendimentos Imobiliários vêm tendo um crescimento importante de forma a atender um número cada vez maior de usuários, o que acarreta o aumento do conjunto de equipamentos destinados a atender estes locais.

Os sistemas mais importantes que existem no projeto de edifícios hoje e que operam de forma totalmente autônoma podem ser classificados como:

a) Sistemas de Automação Predial;

b) Sistemas de Administração;

c) Sistemas de Hotelaria;

d) Sistemas de Estacionamento;

e) Sistemas de Voz, Dados e Imagem;

f) Auditórios e Centros de Conferências.

g) Outros, dependendo da especificidade do prédio, como, por exemplo, controle de Docagem de Aeronaves em Aeroportos, Controle de Brinquedos em Parques Temáticos etc.

Um Sistema Predial engloba vários subsistemas tais como: Automação de Utilidades, ou seja, Elétrica, Hidráulica e Ar Condicionado; e a Segurança Patrimonial incluindo Controle de Acesso, Detecção e Combate a Incêndio, Circuito Fechado de Televisão, Sensoriamento Perimetral, Sistemas de Voz, Sistemas de Comunicação por Rádio etc.

Além disto, existem os equipamentos operacionais do prédio, de vários portes tais como Sistema de Elevadores, Geradores, "no breaks", redes de Instrumentação Elétrica Inteligente, e equipamentos diversos tais como cozinhas, lavanderias, etc.

2.8.5 – O Retrofit de Edifícios

O conceito de Automação não é somente direcionado a empreendimentos novos, podendo ser estendido a prédios já existentes, mesmo com idade avançada, que podem atualizar sua metodologia de gerenciamento técnico, aplicando para a sua parte não visível (operação e manutenção), o mesmo nível de modernização que é sistematicamente aplicada à sua aparência.

Através de um projeto bem realizado, estes prédios podem evoluir de maneira a atingir condições adequadas de supervisão e controle, otimizando recursos c consumo de forma similar aos empreendimentos novos.

Como já acontece nas plantas industriais, onde com uma certa freqüência estas plantas são renovadas e atualizadas, o *retrofit* exige um modelo e uma documentação completa do sistema, permitindo assim a abordagem integrada do que fazer, que funções atuais necessitam ser automatizadas, e quais necessitam de serem acrescentadas e qual o nível de dificuldade. Por exemplo, a climatização de um prédio antigo pode implicar em um sistema de ar condicionado com necessidades especificas de automação, que irão exigir soluções totalmente direcionadas.

O levantamento de projetos é um dos maiores problemas no *retrofit* de prédios mais antigos, que na maioria das vezes, não são organizados em relação a sua documentação, não possuindo especificações referentes ao projeto predial. Entretanto, as regras básicas de um *retrofit* para implantação de automação, segurança e cabeamento são descritas a seguir.

2.8.5.1 – Levantamento

No início das atividades, deverá ser realizado um estudo detalhado da operação do prédio, acompanhado de um levantamento completo do mesmo, avaliando todos os equipamentos e sistemas instalados e operacionais. São também levantadas suas necessidades administrativas, de forma a viabilizar a correta especificação de suas interfaces com o sistema de gestão técnica.

Por exemplo, caso venha a ocorrer à decisão de se utilizar a tarifação setorizada do consumo de energia e/ou ar condicionado e/ou gás, o projeto deve permitir que esta informação seja transferida pelo Sistema de Supervisão e Controle, pré-tratada e encaminhada para o sistema administrativo, que a armazena em banco de dados próprio e a incorpora, na data correta, no boleto de condomínio de cada unidade, e/ou centro de Gestão de cada área. Para que isto ocorra, é necessário o estabelecimento de um protocolo de

comunicação entre os aplicativos computacionais correspondentes ao controle do processo e controle administrativo.

Com base nos levantamentos efetuados e nas funções definidas para serem automatizadas, premissas de segurança do prédio e nas necessidades de cabeamento estruturado para implantação do sistema de informações, define-se para cada item o nível de automação a ser executado, a segurança a ser implementada e as condições a serem obedecidas pelo sistema de informações.

Serão também definidas nesta fase as necessidades de troca de informações entre os vários subsistemas funcionais, verificando-se, por exemplo, como a detecção de fumaça em uma das dependências do empreendimento afetará o processo de insuflamento de ar, ou ainda como a avaliação da demanda de energia deverá bloquear ou liberar as cargas e com qual prioridade.

2.8.5.2 – Comunicação entre os Diferentes Subsistemas

Para que o resultado final dos trabalhos possa estar classificado como um Sistema Integrado de Automação, Segurança e Informação, torna-se necessário a definição das interfaces entre os vários subsistemas a serem implantados, definidos a partir das funções a serem atendidas. Estas interfaces terão sempre dois aspectos, fundamentais nesta fase do projeto: a conexão física que corresponde à forma de comunicação a ser efetuada, e a lógica que determina o tipo de informação a ser trocada.

Do ponto de vista físico, o projeto procura sempre definir métodos padronizados, especificando sistemas que atendam a protocolos abertos, utilizando os padrões internacionais e nacionais mais adequados à realidade atual e, sobretudo, à linha de ação usualmente adotada no setor predial. Logicamente, são definidas as ações de causa e efeito entre as várias funções, determinando o comportamento do sistema em relação ao prédio, sua funcionalidade e, especialmente sua segurança e a de seus usuários.

2.8.5.3 – Interface com Equipamentos Existentes

Para que os equipamentos definidos no prédio para serem supervisionados e controlados deverão ser realizados um estudo detalhado dos respectivos projetos, com as definições dos pontos de supervisão e controle de cada um, gerando assim, um projeto composto de um Memorial Descritivo detalhado, Diagramas de Blocos Funcionais, Listas completas de Pontos de Supervisão e Controle, Instrumentos associados e de Escopo do Fornecimento.

Por exemplo, a um ventilador se associarão os pontos de ligação do equipamento, supervisão de atracamento do contactor, supervisão do sensor de fluxo de ar, falta de fase no quadro elétrico, supervisão de estado local remoto da chave que controla se o ventilador

está ou não conectado ao sistema. É parte do *retrofit* a indicação da necessidade e a execução da alteração dos quadros elétricos de comando dos equipamentos a serem controlados, para que estes possam ser conectados aos controladores prediais e integrados ao sistema. Ou seja, é necessário criar e implementar o diagrama de comando dos mesmos, ao nível dos quadros elétricos.

Na existência de equipamentos e sistemas inteligentes ou controlados por computador, devem ser feitos os estudos necessários para serem incluídos no projeto a interface correta com os mesmos, por canal serial de comunicação ou rede de dados. Por exemplo, se houver um Gerador com controle micro-processado, dotado de canal para supervisão e controle por sistema de automação predial, a interface correta é incluída no Caderno de Especificações a ser gerado. Com as funções totalmente definidas, bem como as interações entre as mesmas e as interfaces a serem implementadas, é efetuada a Concepção do Sistema Integrado de Automação, Segurança e Informação destinado ao empreendimento a ser *retrofitado*.

A partir disso, deverá ser elaborada a arquitetura do sistema, contemplando o Centro de Operações Prediais, níveis de rede de dados interligando o Centro a Controladoras de Rede, redes de dados secundárias conectando sub-controladores específicos As controladoras de rede, os subsistemas específicos (como por exemplo, detecção de fumaça, circuito fechado de televisão) e a conectividade dos mesmos, conexão com equipamentos e sistemas existentes por comunicação serial e por pontos de supervisão e controle.

2.8.5.4 – Retorno do Investimento através do *retrofit*

O retorno de investimento através do *retrofit* em empreendimentos imobiliários tem proporcionado resultados bastante interessantes, com economias geradas pelo Sistema Predial pagando os custos em prazos aproximados de três anos e, em seguida, passando a contribuir de forma significativa para a diminuindo as despesas com o Prédio. Estima-se que em oito anos, a utilização da automação representa um retomo adicional no mesmo valor do investimento efetuado, o que permite a substituição do sistema ou, simplesmente, a sua modernização.

Atualmente estima-se que o prazo de duração de equipamentos aplicado tanto a indústrias como prédios gira na faixa 10 a 15 anos, enquanto o empreendimento em si pode ser pensado para 80 a 100 anos, pode-se concluir com absoluta segurança que:

a) A instalação de Sistemas de Automação Predial, além de trazer vantagens operacionais e de segurança ao Edifício, corresponde a um item importante do ponto de vista de economia de custos, com retorno garantido em relação ao investimento realizado.

b) O fato da tecnologia de controle e dos equipamentos envolvidos evoluir com rapidez e implicar, neste sentido, na substituição dos sistemas em operação deve ser

encarada com absoluta naturalidade, uma vez que ao fim do prazo de sua durabilidade e possível obsolescência, o sistema já se pagou.

Os percentuais do sistema de automação a serem considerados em relação ao custo global do empreendimento giram em torno de 3,5% a 5%, com retorno garantido. Assim a evolução do setor de obras civis de todos os portes na direção da utilização de sistemas de automação, segurança e cabeamento estruturado podem ser considerados irreversíveis, uma vez que está inteiramente baseado nos três pilares que viabilizam a integração destes sistemas aos negócios: evolução tecnológica, otimização operacional e benefício financeiro.

2.9 Comentários Finais

Neste capítulo foi apresentada uma revisão bibliográfica na área de Domótica, com ênfase na apresentação de conceitos básicos e aplicações associadas à área de Automação Hospitalar. No final deste capítulo são apresentadas aplicações direcionadas a Automação predial com ênfase no cabeamento estruturado e *retrofit*, fornecendo assim subsídios para o próximo capítulo, onde serão apresentadas ferramentas matemáticas para modelagem de sistemas domóticos.

Capítulo 3

Modelagem e Integração de Sistemas Automatizados

3.1 Introdução

As aplicações direcionadas a área de Domótica, direcionam ao projeto de Sistemas Automatizados com estrutura de controle e arquitetura de comando distribuída e requer na sua concepção uma especificação de uma arquitetura de comando. Assim, durante a fase inicial de projeto, o projetista deverá escolher uma arquitetura de comando que atenda os pré-requisitos funcionais, tais como os tempos de resposta do sistema. Dentro desse contexto diferentes metodologias podem ser utilizadas para validar um modelo de arquitetura de comando distribuído através da construção de modelos de Análise Estruturada e de sua posterior implementação num CLP – Controlador Lógico Programável.

Neste capítulo são apresentados conceitos teóricos e definições básicas referentes à Modelagem de Sistemas Discretos e Contínuos, com ênfase na utilização dessas ferramentas para modelagem e Integração de Sistemas Automatizados utilizando o GRAFCET – Grafo de Comando Etapa e Transição e utilização de CLP's industriais.

3.2 Sistemas Automatizados – Conceitos e Definições

3.2.1 – Conceitos Básicos de Sistema

Para modelagem de um sistema torna-se necessário entender o conceito de sistema assim como os limites do mesmo. Um sistema é qualquer coleção de interação de elementos que funciona para alcançar um objetivo comum e que evoluiu com o tempo.

A definição acima indica que aquilo que pode ser definido como sistema num contexto, pode ser apenas um componente de um outro sistema, dando origem ao conceito de subsistema. Assim o universo parece estar formado de conjuntos de sistemas cada qual contido em um outro ainda maior.

Sistema é um conjunto complexo de coisas diversas que ordenadamente relacionadas entre si, contribuem para determinado objetivo ou propósito.

Sob um ponto de vista mais prático, define-se um sistema como um conjunto de elementos dinamicamente relacionados entre si, formando uma atividade para atingir um objetivo, operando sobre entradas (informação, energia ou matéria) e fornecendo saídas (informação, energia ou matéria) processadas. As principais componentes de um sistema são:

1. **Fronteiras:** limites do sistema, que podem ter existência física ou apenas uma delimitação imaginária para efeito de estudo.
2. **Subsistemas:** elementos que compõem o sistema.
3. **Entradas:** Representam os insumos ou variáveis independentes do sistema.
4. **Saídas:** Representam os produtos ou variáveis dependentes do sistema.
5. **Processamento:** Engloba as atividades desenvolvidas pelos subsistemas que interagem entre si para converter as entradas e saídas.
6. **Retroação (feedback):** É a influência que as saídas do sistema exercem sobre as suas entradas no sentido de ajusta-las ou regula-las ao funcionamento do sistema.

3.2.2 - Simulação e Modelagem de Sistemas Automatizados

Simulação de um sistema pode ser definida como a capacidade de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo de forma a compreender o comportamento do sistema e avaliar estratégias para a operação do mesmo. , Define-se simulação, como a técnica de resolver problemas seguindo as variações ocorridas ao longo do tempo num modelo dinâmico do sistema. A Simulação de Sistemas normalmente é utilizada para:

a) projeto de sistemas ainda não existentes;
b) impossibilidade de realização experimental com o sistema real;
c) Experimentação com o sistema real é indesejável;
d) para compressão ou expansão da escala de tempo;
e) para avaliação do desempenho de sistemas;
f) para treinamento e instrução.

Modelagem de um Sistema pode ser definido como a representação de um objeto, sistema ou idéia em uma forma diferente da entidade propriamente dita. Eles podem ser classificados como: Modelos físicos e Modelos matemáticos , enquanto, define Modelo de Sistema como um conjunto de informações sobre um sistema coletado com o propósito de entender este sistema.

No sentido literal da palavra, modelo é a representação de alguma coisa. Pode ser definido também como a representação simplificada de um sistema com o propósito de estudar o mesmo.

Um modelo é uma réplica ou uma abstração da característica essencial de um processo. Assim, problemas que desobedecem a soluções diretas por causa do tamanho, complexidade ou estrutura, são freqüentemente avaliados através de modelos de simulação. Modelo, então, vem a ser uma representação simplificada de alguma parte da realidade de sistemas, podendo ser eles de diferentes tipos.

Os modelos podem ser classificados como: físico (escala natural e reduzida) e matemático (numérico/algorítmico). As principais etapas necessárias para a obtenção de modelos consistem na realização de:
a) análise do sistema (identificar entidades, atributos, etc);
b) simplificação (desconsiderar entidades e atributos irrelevantes).

Como exemplo de aplicações de Simulação de Sistemas podemos destacar atividades nas áreas de Administração, Economia, Engenharias, Biologia, Medicina, Informática e Entretenimento.

Como principais limitações de simulação podemos destacar:
a) Resultados são dependentes dos estímulos: modelos estocásticos e determinísticos;
b) Desenvolvimento de bons modelos pode ser oneroso.
c) Falta de precisão/qualidade da modelagem fornecem o valor das variáveis em todos os instantes de tempo.

3.2.3 – Modelagem de Sistemas Dinâmicos

Sistemas Dinâmicos podem ser entendidos dentro da Mecânica Newtoniana Clássica como "forças e energia produzindo um movimento". Dentro desse conceito: forças aplicadas a massas geram acelerações que definem os movimentos dos corpos no espaço; tais fenômenos são regidos por equações diferenciais ou de diferenças, em que o tempo é a variável independente. Por analogia, estende-se o termo "dinâmico" a todos os fenômenos, térmicos, químicos, fisiológicos, ecológicos etc., que também sejam regidos por equações do mesmo tipo. São sistemas "intrinsecamente dinâmicos", como que "acionados pelo tempo" ("time-driven"). A tabela 3.1 apresenta uma classificação das diferentes classes de Sistemas Dinâmicos.

ACIONADOS POR	DESCRIÇÃO MATEMÁTICA	TIPO DE SISTEMA
Tempo	**Equações diferenciais no tempo**	**Contínuos no tempo**
Tempo	**Equações de diferenças no tempo**	**Discretas no tempo**
Eventos	**Álgebra de Boole, Álgebra dióide, Autômatos finitos, Redes de Petri, Programas Computacionais**	**A Eventos Logísticos**

Tabela 3.1 – Classes de Sistemas Dinâmicos.

No campo da Automação, Sistemas Dinâmicos estão relacionados com um conceito mais amplo da evolução de um fenômeno com o tempo, tornando essencial, nas últimas décadas, devido aos inúmeros e importantíssimos sistemas artificiais que não se podem descrever através de equações diferenciais ou de diferenças. São os sistemas de chaveamento manual ou automático, as manufaturas, as filas de serviços, os computadores, etc. Sua estrutura impõe principalmente regras lógicas, de causa e efeito, e seus sinais são números naturais representantes de quantidade de recursos ou entidades.

São sistemas "dinâmicos latu sensu", acionados por eventos ("event-driven"); poderiam ser também chamados de logísticos.

As maiorias dos sistemas físicas reais são não-lineares, mas muito deles admitem aproximações lineares, especialmente quando os sinais de interesse são pequenas flutuações em torno de dados níveis de operação. Os sistemas a eventos são essencialmente não lineares.

Quanto à classificação dos sistemas em determinísticos e estocásticos, estes últimos são caracterizados pela presença de alguma variável ou de algum parâmetro, cuja definição exige estatística, como por exemplo:

a) sinal de entrada contínuo no tempo, de origem atmosférico;
b) sinal de entrada discreto no tempo, em que os intervalos entre pulsos ou impulsos sucessivos são aleatórios, como a chegada de clientes a urna fila de serviço;
c) alguma transmissão interna alterada em função de probabilidades, como a parada da produção por falha de máquina e o retorno após tempo de reparo.

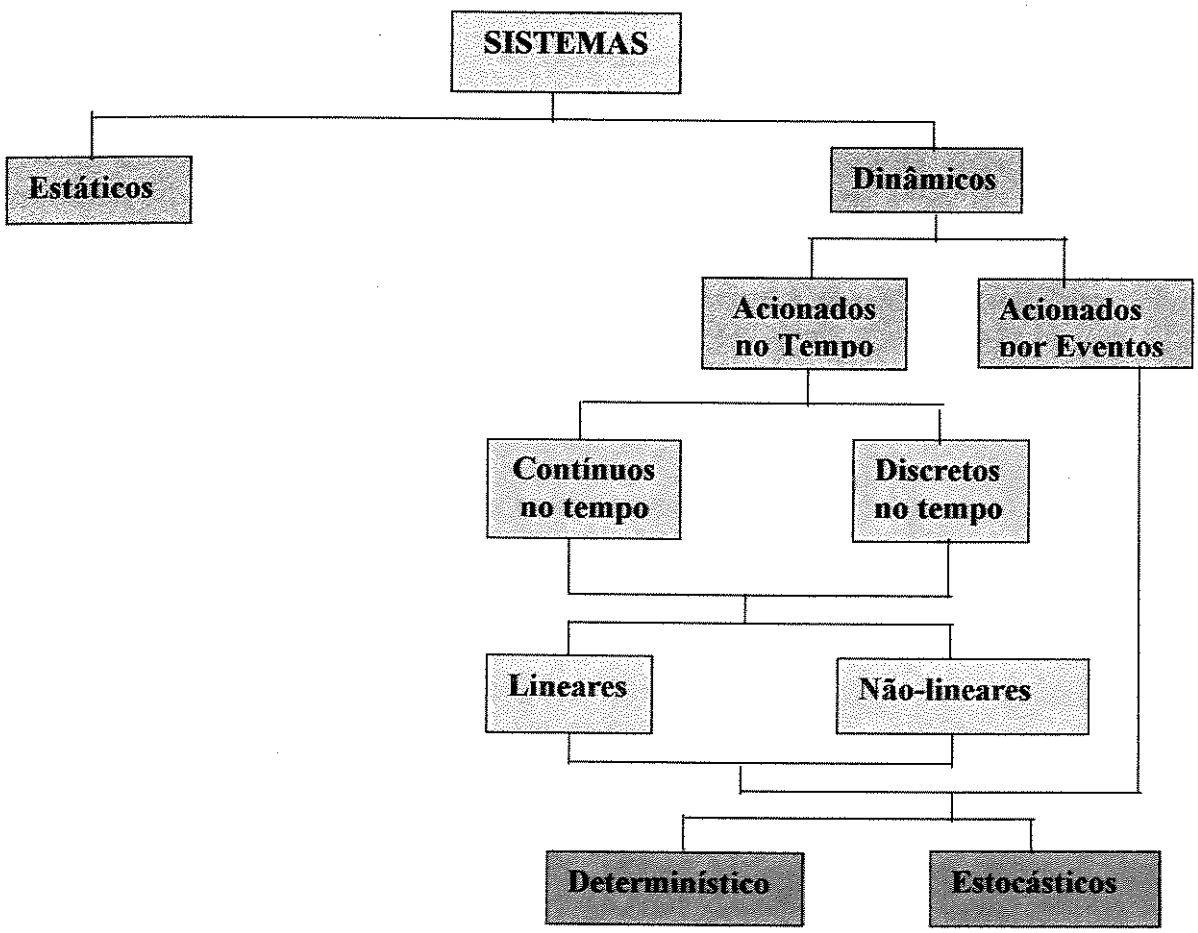


Figura 3.1 – Classificação Geral de Sistemas.

A figura 3.1 apresenta uma classificação de Sistemas. Os sistemas de maior interesse em Controle são os dinâmicos "acionados pelo tempo", e em Automação, são os "acionados a eventos", especialmente a eventos discretos

3.2.4 – Elementos de um Sistema Automatizado

A complexidade crescente dos sistemas automatizados implica numa grande dificuldade por parte do usuário, na definição de uma maneira clara, concisa e não ambígua das especificações funcionais associadas a esses sistemas. Esta complexidade tende aumentar ainda mais, com a utilização de um número elevado de informações de entradas e saídas. Desta forma é necessário descrevermos o sistema através de uma ferramenta de descrição adequada. Atualmente é necessário que estas linguagens sejam:

- Do ponto de vista do homem, uma forma que expresse de modo natural à especificação do sistema;
- Do ponto de vista do dispositivo de controle, uma descrição simples que seja fácil de ser interpretada e executada.

Com o objetivo de padronização de uma linguagem na descrição dos sistemas automatizados a norma internacional [IEC 1131-3] estabelecida pelo "International Electrotechnical Committe", que estabelece uma nomenclatura internacional para sistemas automáticos, dividindo um Sistema Automatizado (SA) em duas partes distintas (figura 3.2), que são:

- **Parte Operativa (PO)** – corresponde ao processo físico a automatizar, que opera sobre a matéria prima e o produto. É constituída pelos atuadores que realizam as operações, agindo sobre componentes e dispositivos de automação, tais como válvulas, atuadores, motores, lâmpadas, etc;
- **Parte Comando (PC)** – caracterizado por receber as informações vindas do operador e/ou do processo a ser controlado e emitir informações ao sistema controlado, coordenando assim, as ações da Parte Operativa (PO).

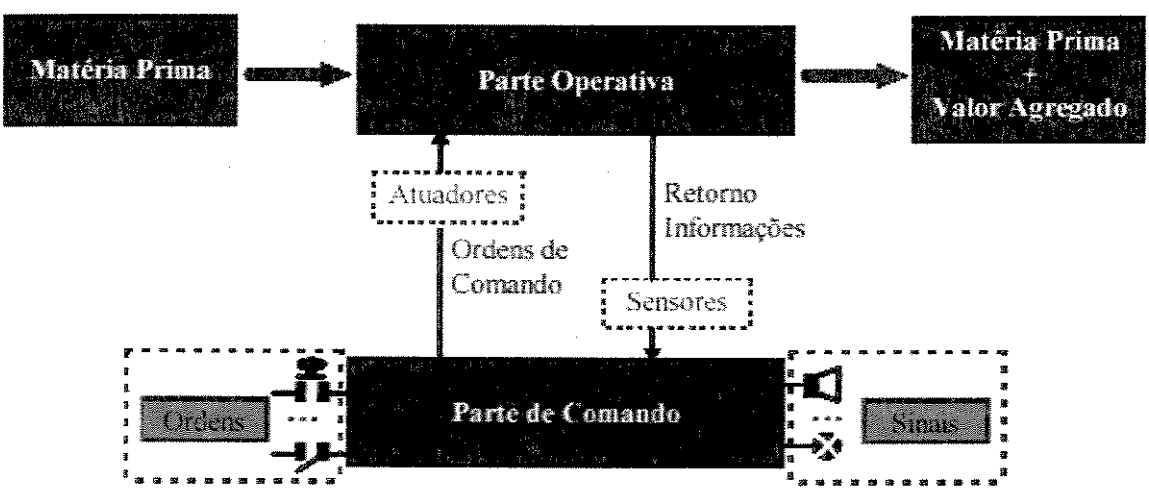


Figura 3.2 – Sistema Automatizado (SA) – Parte Operativa e Comando.

Para cada processo a ser controlado é necessário escolher, dentre as diferentes tecnologias de comando disponíveis, as mais adequadas e as que melhor se adaptam ao processo. Dentre as diferentes tecnologias existentes, podemos citar, comandos pneumáticos, hidráulicos, relés e Controladores Lógicos Programáveis (CLP).

Através das informações fornecidas pela Parte Operativa (PO), a Parte Comando (PC) é mantida informada sobre o estado das operações. A Parte Comando (PC) pode trocar informações com o exterior do sistema, de onde pode receber indicações, ordens (botões de comando, chaves, etc.) e fornecer sinalizações sonoras e/ou luminosas (buzinas, lâmpadas, etc.).

A primeira etapa do desenvolvimento de um SA consiste em descrevê-lo de modo à não ficar nenhuma dúvida sobre os objetivos a serem atingidos no projeto proposto, onde deve prevalecer o conjunto, sem a preocupação com detalhes tecnológicos, quando então deve-se descrever os elementos específicos do sistema de automação. É nesta etapa que surgem as maiores dificuldades, porque as informações devem chegar ao projetista, com todos os detalhes necessários.

A comunicação verbal não é a forma mais indicada, isso porque pode levar a mais de uma interpretação, e até mesmo a informações ambíguas. Para sistemas complexos, com ações simultâneas e decisões com múltiplas possibilidades, deve-se evitar a utilização de textos. Sempre que possível e necessário às descrições de sistemas automatizados, deverão ser representadas de forma gráfica, que são mais fáceis de serem interpretadas e executadas, porém, encontrar uma forma que seja aceita e entendidas por todos, torna-se muito difícil.

Os Sistemas Automatizados podem ser classificados como:

i) **Automatismos Combinatórios:** O estado das saídas depende do estado das entradas, ou seja as saídas são determinadas unicamente em função do estado corrente das entradas, conseqüentemente o funcionamento do sistema não depende do tempo, conforme mostra a figura 3.3a.

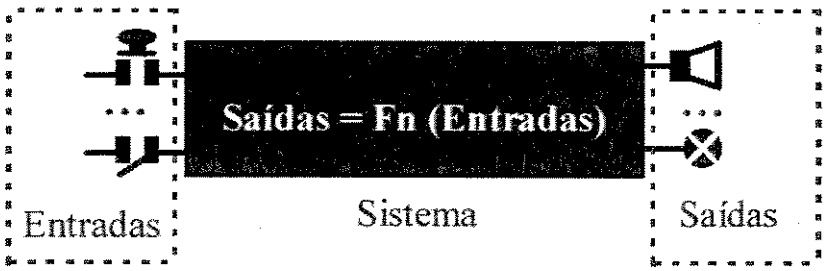
ii) **Automatismos Seqüenciais:** O estado das saídas depende do estado atual das entradas do sistema. O funcionamento depende do seu passado. Conseqüentemente, o estado das saídas no instante t é função do estado das entradas neste tempo t e dos estados das saídas no tempo (t-1), conforme mostra a figura 3.3b.

3.2.5 - Linguagens utilizadas para Modelagem de Sistemas Automatizados

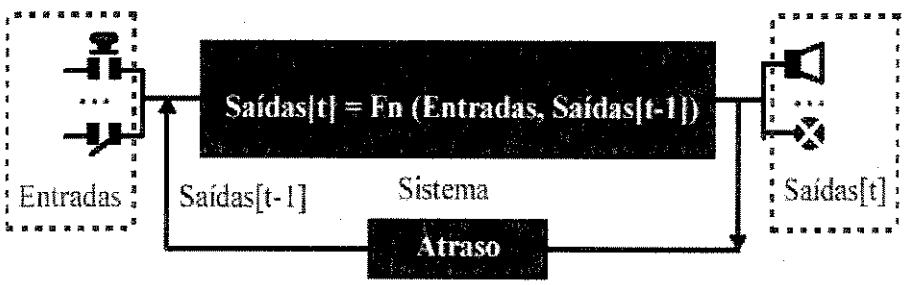
Uma linguagem para modelagem de sistemas é o meio pelo qual se expressam modelos, tendo como principal objetivo, a descrição de sistemas. Suas principais características são:

a) Possuir uma base formal, visando obter uma interpretação exata e precisa;
b) Clareza, visando facilitar a comunicação entre todos os envolvidos numa modelagem;

c) Possibilitar a construção de modelos que obedeçam aos requisitos de conceitualização (contendo apenas propriedades desejadas do sistema modelado) e de totalidade (todas as propriedades desejadas do sistema modelado).



a) Automatismos Combinatórios.



b) Automatismos Seqüenciais.

Figura 3.3 – Classificação de Sistemas Automatizados.

É comum nos sistemas encontrar componentes que apresentem atividades concorrentes ou paralelas. Neste sentido, as Redes de Petri são uma linguagem de modelagem que foi desenvolvida especificamente para modelar sistemas discretos que possuem componentes que interagem concorrentemente (Peterson 1981; Agervala 1979).

Sistemas a Eventos Discretos (SED) são aqueles cujas variáveis de estado mudam só num conjunto discreto de pontos no tempo. Por exemplo: Um banco é um exemplo de sistema discreto desde que a variável de estado, o número de clientes no banco, muda só quando um cliente chega ou quando o serviço prestado a um cliente é completado.

A motivação para estudar métodos matemáticos para representação especificação, "design", modelagem e simulação de sistemas discretos está associada à necessidade de se estabelecer limites e prever o comportamento destes sistemas, notadamente os sistemas automatizados, comportamento este que está intimamente ligado ao seu ciclo de vida e à utilidade destes sistemas, quer seja como extensão da capacidade humana de operação e transformação de objetos (manufatura), quer seja como forma de substituir completamente o elemento humano em atividades perigosas, tais como a manutenção de centrais nucleares,

as operações de inspeção, reparos, soldagem em grandes profundidades, ou mesmo a manipulação de carga em grandes alturas nas construções civis, ou ainda os sistemas de coleta de dados em ambientes como, por exemplo, em hospitais são alguns exemplos simples e intuitivos destes casos onde a substituição completa ou parcial do homem pelos sistemas automatizados lembra mais segurança e respeito à vida do que simplesmente desemprego.

Entretanto, nestas atividades, bem como nos sistemas antroprocêntricos, onde o forte é a extensão da capacidade humana, melhorando a precisão de intervenção, repetibilidade, confiabilidade, etc., torna necessário que o processo de automatização represente um avanço ao invés de uma "modernização reflexa". Para isso, fatores tais como controlabilidade e previsibilidade deverão se considerados.

A controlabilidade associada à capacidade de relacionar causa e efeito, envolvendo planta e instrumentos de controle, estando também ligada à capacidade de prever a ocorrência de eventos não controláveis e antecipar a sua ocorrência como o bloqueio de outros eventos que exacerbam seus efeitos ou a capacidade de forçar outros eventos que anulem ou minimizem tais efeitos. Este é o caso dos sistemas de segurança, onde eventos são forçados ante a ocorrência de estados que são considerados indesejáveis, tais como os estados que antecipam as perdas de energia (elétrica) ou vazamentos, no caso de sistemas domóticos, implicam na interrupção do processo e suspensão das atividades.

Portanto, a controlabilidade está relacionada (no caso de sistemas discretos) com a relação existente entre estados identificáveis dos sistemas, relação estas que não podem ser classificadas por funções, nem de variáveis discretas nem de variáveis contínuas. Associado a isto está a possibilidade de prever, não somente a existência dos eventos não-controláveis, mas os pontos em que estes se manifestam de forma decisiva de modo a desencadear ações de prevenção de falhas maiores. O planejamento de quais as atividades ou estados considerados desejáveis e qual a sua seqüência de ocorrência, isto é, qual os processos devem ser reforçados em cada instante.

Estes aspectos de controlabilidade e previsibilidade só poderão ser devidamente representados, modelados, simulados ou mesmo provados formalmente, se a relação de causa e efeito que lava a mudança de estados for matematicamente representada, segundo o paradigma já conhecido de que sistemas artificiais de engenharia controláveis podem ser completamente (com as devidas restrições ao significado atribuído à completeza) representados por um sistema de estados, eventos ou ações, representáveis pela mudança de um estado para outro.

A maneira mais direta de representar formalmente um sistema controlável é mapear o seu comportamento - ou pelo menos os processos principais - com autômatos finitos. Neste caso todo o sistema, incluindo as suas partes, é considerado uma representação única, chamada estado, e a evolução destes estados, isto é, uma transição de um estado para outro, é representada por um arco direcionado ligando estes estados.

Esta forma pictórica de representar a evolução dos estados é somente uma representação alternativa e talvez mais fácil de interpretar (talvez por ter uma comunicação

quase subliminar sobre a evolução do sistema e sobre o conceito de processo). Entretanto, a formalização mais acabada do sistema e seu funcionamento esta associada à definição do que se conhece como um autômato.

Um autômato finito é definido como sendo um conjunto finito de estados, um dos quais é identificado como o estado inicial, e um outro (eventualmente nenhum) é considerado como o estado final, onde está associado o final do processo (ou de todos os processos representados). Também é parte do autômato um conjunto de eventos denotados por letras de um alfabeto Σ. Neste caso um processo, inicialmente identificado como uma seqüência de eventos, pode ser associado a "strings" formadas por letras neste alfabeto.

Finalmente, um autômato, como a formalização da sucessão de estados e transições é composta de um conjunto finito de transições, um mapeamento que, para cada estado e para cada evento associa um outro estado, resultado da transição ocasionada pelo evento (letra de entrada) em apreço.

3.2.6 – Norma Internacional IEC 61131-3

A Parte de Comando de um Sistema Automatizado deverá ser bem especificada e documentada, de modo a evitar ambigüidades e dúvidas durante a sua implementação e/ou manutenção. Para unificar e padronizar os símbolos gráficos e a seqüência do sistema, e também o que concerne os diferentes componentes de automação e CLP's distribuídos por diferentes fabricantes, foi criado um comitê internacional da IEC responsável pela especificação das etapas de projeto dos CLP's, incluindo desde o projeto de hardware, teste, documentação, programação, comunicação e até instalação, resultando a norma internacional [IEC 61131-3] (tabela 3.1).

Tabela 3.2 – Norma IEC 61131.

Parte	*Título*	*Descrição*
1	Informações Gerais	Definições de terminologias e conceitos básicos
2	Requisitos de Equipamentos e Testes	Construção eletrônica e mecânica e testes
3	Linguagens de Programação	Estrutura do software do CLP, linguagens de programação e execução do programa
4	Guia do Usuário	Guia sobre seleção, instalação e manutenção de CLP's
5	Especificação do Serviço de Mensagens	Facilidades de software para comunicar com outros dispositivos utilizando comunicação baseada na MAP MMS (*Manufacturing Message Specifications*)
6	Comunicação via Fieldbus	Facilidades de software de comunicação de CLP utilizando IEC Fieldbus
7	Programação para Controle Fuzzy	Facilidades de software para manipulação de lógica fuzzy dentro de CLP's
8	Guia para Implementação de Linguagens para CLP's	Guia para aplicação e implementação das linguagens do IEC 61131-3

Assim, no desenvolvimento da norma internacional [IEC 61131] (tabela 3.2) procurou-se definir os pontos de intertravamento de sistemas seqüenciais, baseada nos seguintes objetivos: Visibilidade, Equipamentos, Linguagens de programação, Manuais ou guias do usuário e Sistemas de Comunicação.

Ao mesmo tempo foram definidas as cinco linguagens descritas a seguir, onde duas são textuais e outras três linguagens gráficas, utilizadas atualmente na maioria dos controladores lógicos programáveis disponíveis no mercado, customizados de acordo com cada fabricante, e apesar dessa diversidade de implementações, e por estarem baseadas nesta padronização, sempre permitem meios para especificar todos os procedimentos e intertravamentos de controle inerente ao sistema a ser automatizado.

- **IL: "Instruction List" - Lista de Instruções (figura 3.4):** Linguagem textual, de baixo nível, semelhante à linguagem Assembler, baseada em comandos "load", "store", "move", "add", que apresentam alta eficiência em pequena aplicações (como sensores/atuadores inteligentes) ou na otimização de partes de uma aplicação.

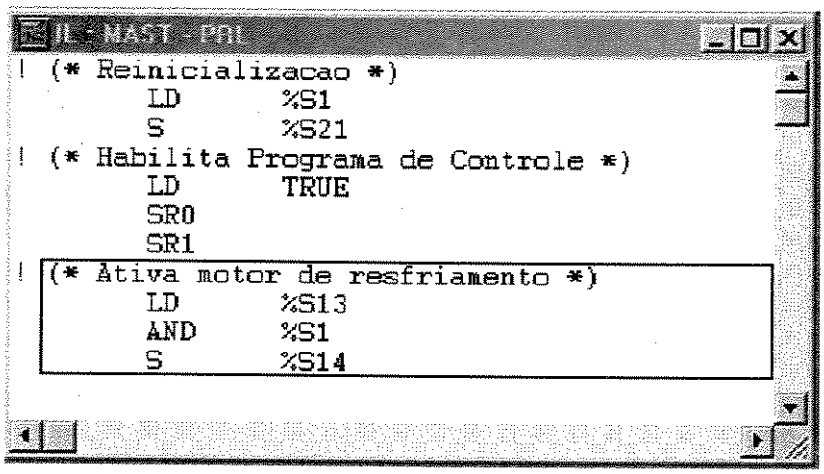


Figura 3.4 – Programação utilizando Lista de Instruções (IL).

- **ST: "Structured Text": Texto Estruturado:** Linguagem textual de alto nível similar ao Pascal, porém incorporando uma série de conceitos intuitivos ao engenheiro de automação. Seu uso é bastante interessante na implementação de procedimentos complexos, que são difíceis de expressar com linguagens gráficas tais como linguagem de algoritmos de otimização de processo e inteligência artificial.

- **LD: "Diagram Ladder" - Diagrama Ladder (figura 3.5):** Trata-se de uma linguagem gráfica baseada em símbolos e esquemas elétricos, tais como relês, contatos e bobinas, proporcionando um entendimento intuitivo das funções de intertravamento, sendo muito bem aceita pelos profissionais da área de automação e controle de processos.

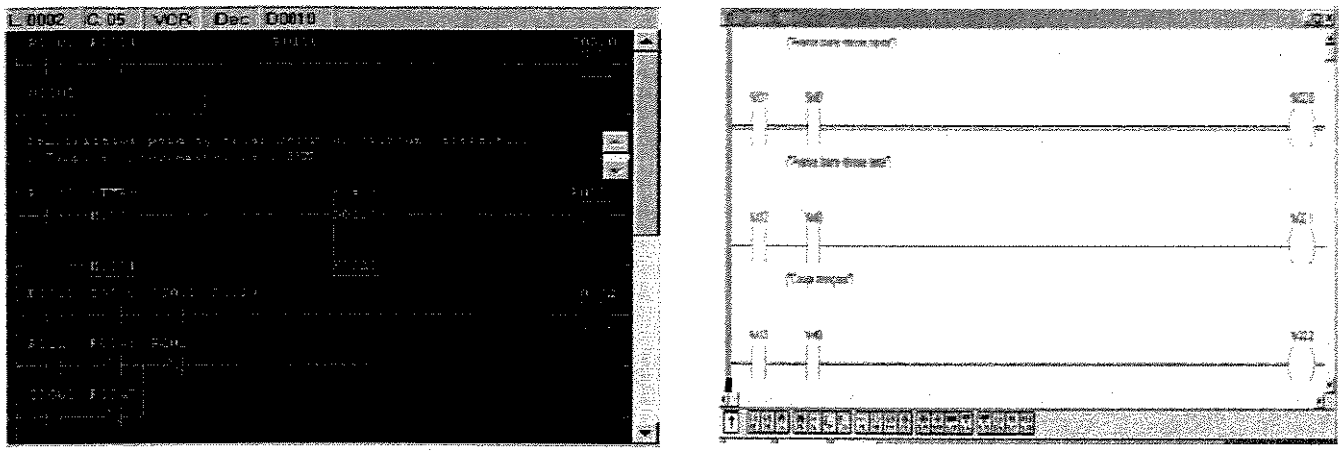


Figura 3.5 – Telas típicas de Diagramas Ladder (LD).

- **FDB: "Function Block Diagram" - Diagrama de Blocos de Função (figura 3.6):** Linguagem gráfica que permite ao usuário construir procedimentos combinacionais complexos utilizando-se de blocos padrões como, AND, OR, NOT, etc. Muito utilizado no desenvolvimento de dispositivos automatizados de baixo custo.

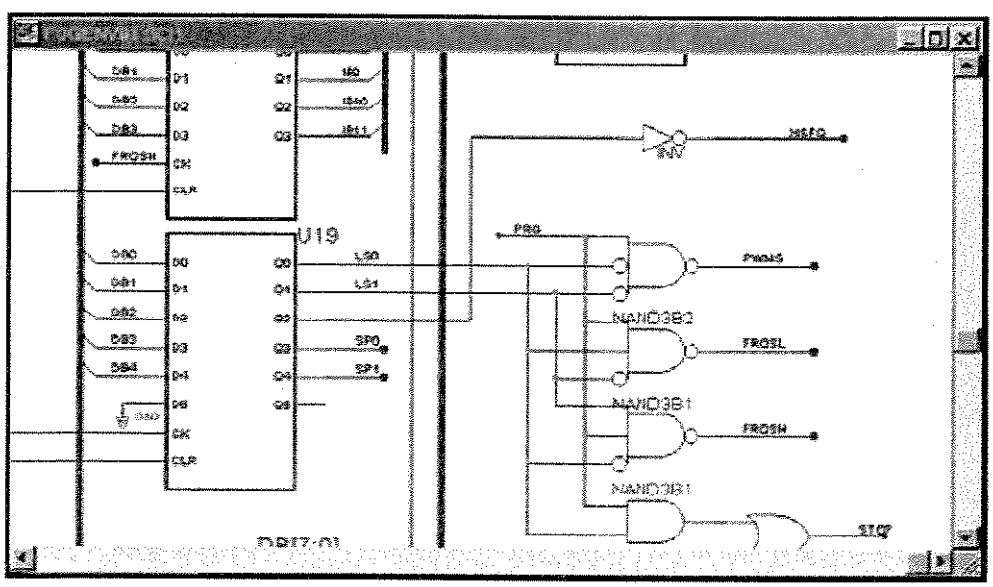


Figura 3.6 – Diagramas de Blocos de Funções (FDB).

- **SFC: "Sequential Function Chart" - Diagrama Funcional Seqüencial (figura 3.7):** Também conhecida pelo nome de GRAFCET, divide o processo em um número definido de passos separados por transições. É o núcleo do IEC 61131-3, pois as outras linguagens são utilizadas apenas para descrever as ações realizadas a cada passo, bem como as lógicas combinatórias envolvidas.

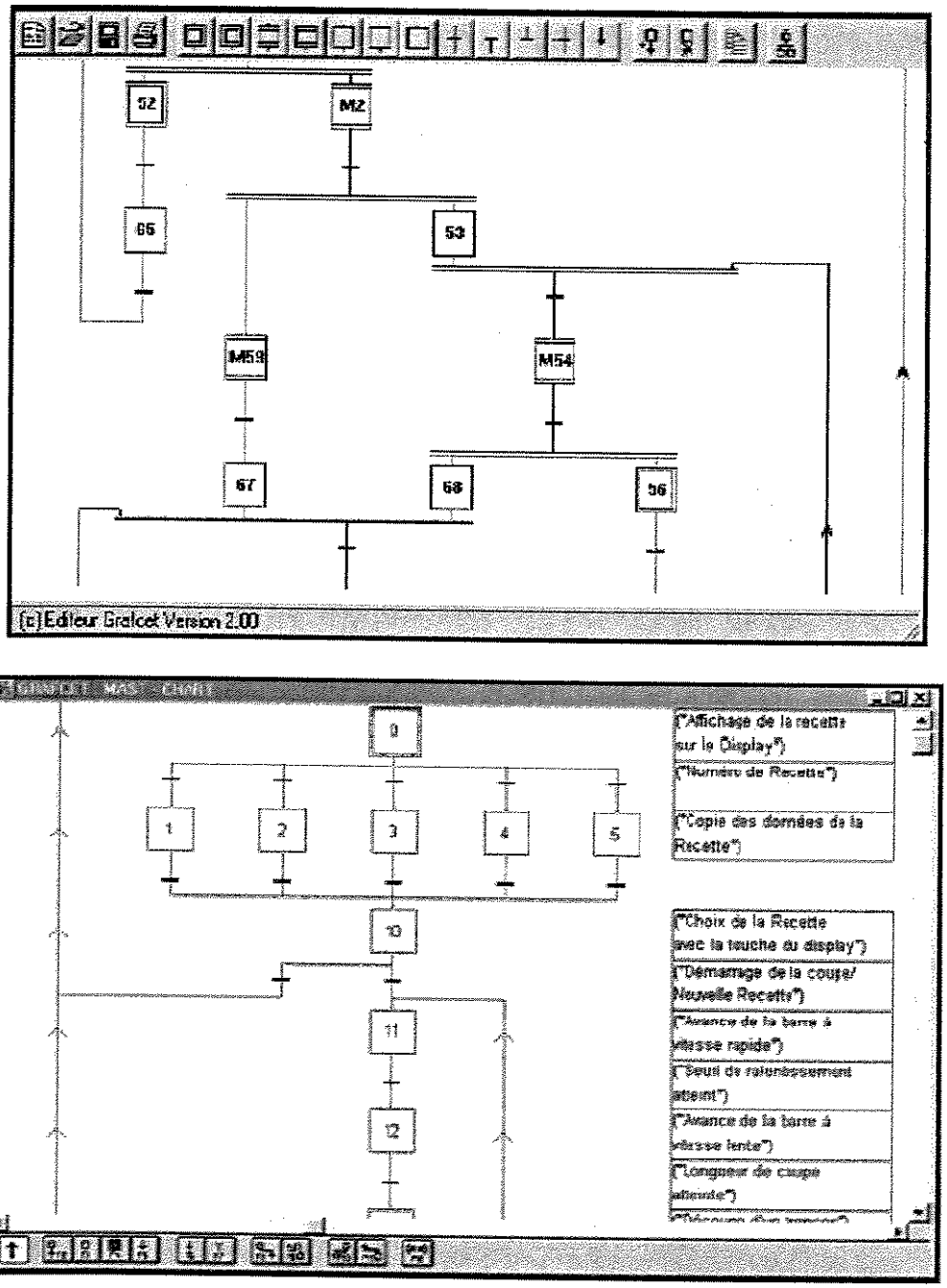


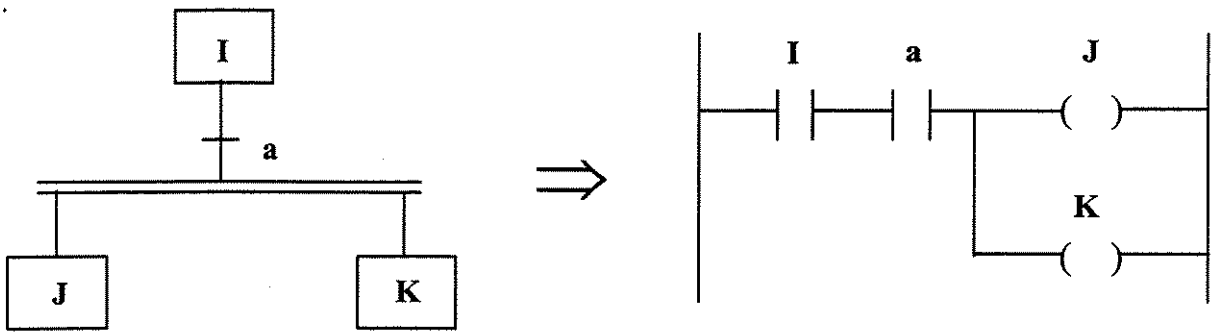
Figura 3.7 – Exemplos de telas de programação utilizando SFC.

3.2.7 - Programação Estruturada em CLP's utilizando o GRAFCET

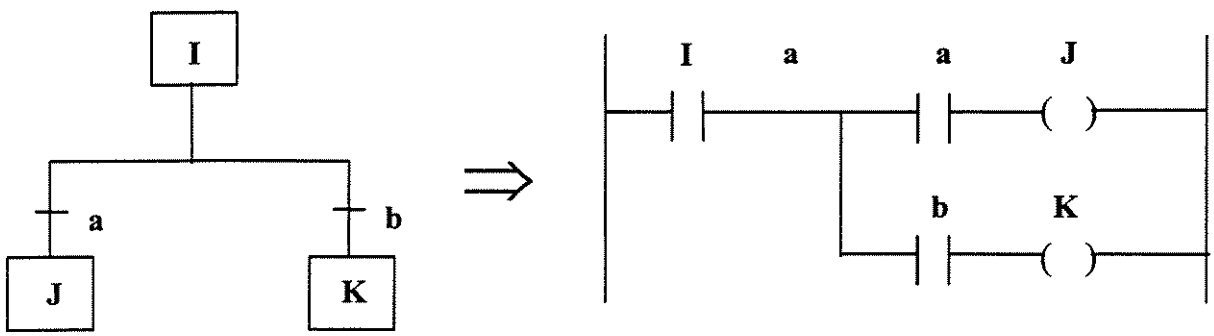
A programação de CLP's para Sistemas Automatizados (SA) a partir da utilização do GRAFCET na estruturação do problema assegura ao software uma arquitetura hierárquica. A hierarquia entre os níveis de detalhamento garante que um sub-estado somente dependa dos seus sub-estados, não estando sujeita à forma com que os outros situados no mesmo

nível foram implementados, tal procedimento aumenta a confiabilidade como um todo e facilita sua manutenção.

Concluída a parte de modelagem de SA's através do GRAFCET, podemos implementar num CLP que não possua essa especificação a mesma lógica de funcionamento do GRAFCET. Para exemplificarmos o problema, na figura 3.8 é apresentada a implementação num CLP de um AND convergente e um OR divergente.



(a) AND Convergente



(b) OR Divergente

Figura 3.8: Implementação de uma transição utilizando Ladder.

Para validação do problema, o diagrama funcional GRAFCET deverá atender as seguintes exigências:

- Aplicabilidade a todo sistema lógico de controle para descrição de um automatismo industrial, não importando sua complexidade ou tecnologia utilizada (elétrica, eletrônica através de software ou hardware dedicado, mecânica, pneumática, etc.);

- Possibilidade de uma descrição completa do sistema, onde as evoluções poderão ser expressas seqüencialmente, ou seja, a possibilidade de uma decomposição das etapas;

- Possibilidade de ser utilizada na descrição de processos combinatórios, fornecendo assim ao automatismo uma descrição seqüencial mais fácil de ser analisada e compreendida.

- O GRAFCET permite que um caderno de tarefas seja traduzido em sub-programas, desde que seja mantida a condição de não haver simultaneidade de chamadas a um mesmo sub-programa.

3.3 - Grafo de Comando Etapa e Transição - GRAFCET

A complexidade crescente dos sistemas automatizados industriais implica numa grande dificuldade por parte do usuário, na definição de uma maneira clara, concisa e não ambígua das especificações funcionais associadas a esses sistemas. Esta complexidade tende a aumentar ainda mais, com a utilização de um número elevado de informações de entradas e saídas.

Outro aspecto a ser considerado é variedade de CLP's existentes no mercado, exigindo o desenvolvimento de programas utilizando um ambiente de programação e ferramentas de descrição adequadas, que permita o desenvolvimento de tarefas, independente da PC utilizada e que adicionalmente ofereça a opção de se programar em uma linguagem mais natural para os vários níveis de usuários.

Esta especificação oferece muitas vantagens aos usuários e programadores, principalmente na modelagem de problemas complexos de automação, pois podemos dividir o problema em várias partes, tornando mais simples a programação, ficando fácil visualizarmos as seqüências de operações, alteração de especificação e a detecção de falhas conceituais no programa.

Hoje em dia é necessário que estas linguagens sejam:
- Do ponto de vista do homem, uma forma que expresse de modo natural a especificação do sistema;
- Do ponto de vista do dispositivo de controle, uma descrição simples que seja fácil de ser interpretada e executada.

O SFC - "Sequential Function Chart" ou Diagrama Funcional Seqüencial, também conhecida pelo nome de GRAFCET, oferece muitas vantagens aos usuários e programadores, principalmente na modelagem de problemas complexos de automação, pois podemos dividir o problema em várias partes, tornando mais simples a programação, ficando fácil visualizarmos as seqüências de operações, alteração de especificação e a detecção de falhas conceituais no programa.

O diagrama funcional GRAFCET deverá atender as seguintes exigências:

- Aplicabilidade a todo sistema lógico de controle para descrição de um automatismo industrial, não importando sua complexidade ou tecnologia utilizada (elétrica, mecânica, pneumática, eletrônica através de software ou hardware dedicado, etc.);
- Possibilidade de uma descrição completa do sistema, onde as evoluções poderão ser expressas seqüencialmente, ou seja, a possibilidade de uma decomposição das etapas;
- Possibilidade de ser utilizada na descrição de processos combinatórios, fornecendo assim ao automatismo uma descrição seqüencial mais fácil de ser analisada e compreendida.

3.3.1 - O GRAFCET na concepção de Sistemas Automatizados

O GRAFCET permite que um caderno de tarefas seja traduzido em sub-programas, desde que seja mantida a condição de não haver simultaneidade de chamadas a um mesmo sub-programa.

Algumas técnicas utilizadas atualmente para descrever comportamento seqüencial em sistemas automatizados, incluem fluxogramas, diagramas de variáveis de estado, rede de PETRI, diagrama trajeto-passo e o GRAFCET.

O GRAFCET (Grafo de Comando Etapa - Transição) foi criado na França em 1975, através de um grupo de pesquisadores e gerentes industriais, envolvidos com sistemas discretos de grande complexidade, sendo coordenados pela AFCET – "Association Française pour la Cybernètique, Economique, Technique" e posteriormente padronizado pela ADEPA – "Agencie Nationale pour la Developpement de la Prodution Automatisée", sendo considerado uma particularização das redes de Petri, pois as redes possuem uma possibilidade de aplicações bem superior às que estão restritos os comportamentos cíclicos das máquinas e sistemas automáticos.

Após ser testado em sistemas educacionais e em empresas privadas francesas, mostrou ser muito interessante e eficaz para representação de sistemas seqüenciais. Em 1988 ele foi incorporado a norma IEC 60848 (Preparação e Diagramas Funcionais para Sistemas de Controle), sob a sigla SFC conforme publicação 848, e regularizado pela norma Francesa NF C03 190.

Posteriormente os fabricantes de CLP e produtores de software escolheram o GRAFCET como linguagem de entrada para controle seqüencial booleano e propuseram implementações em computadores e controladores. Seu uso industrial vem se ampliando, assim como o interesse em pesquisá-lo quanto ao valor teórico desse modelo. O nome GRAFCET derivou-se de GRAF, devido a representação gráfica e, AFCET, que deu suporte ao trabalho de definição, em 1982, onde o GRAFCET foi incorporado como norma pela AFNOR - Association Française de Normatization.

3.3.2 - Elementos do GRAFCET

O GRAFCET é um modelo de representação gráfica do comportamento de comando de um sistema automatizado. Ele é constituído por simbologias em arcos orientados que interligam as etapas e transições, interpretadas por variáveis de entrada e saída da Parte Comando, identificadas como receptividade de ações e por seqüências de evolução que caracterizam o comportamento dinâmico dos elementos comandados.

O GRAFCET se baseia em um conjunto de definições sobre as quais são estabelecidas suas regras fundamentais, baseadas em álgebra booleana (verdadeiro ou falso). Podemos dizer que ele é um método de descrição do caderno de tarefas de sistemas seqüenciais, formado basicamente por um conjunto de etapas, transições e ligações orientadas. A figura 3.9 representa os principais elementos do GRAFCET.

Esta linguagem de descrição é baseada na descrição do caderno de tarefas do sistema a ser automatizado, este transmite as necessidades do usuário para o fornecedor. Porém, antes de fazermos a representação dos postos da plataforma através do GRAFCET, foi preciso fazer uma descrição funcional de cada um dos postos (caderno de tarefas). Nesta descrição todas as operações dos elementos que formam a plataforma foram especificadas detalhadamente, utilizando esta metodologia à passagem para qualquer tipo de representação de sistemas seqüenciais, se torna bem simplificada.

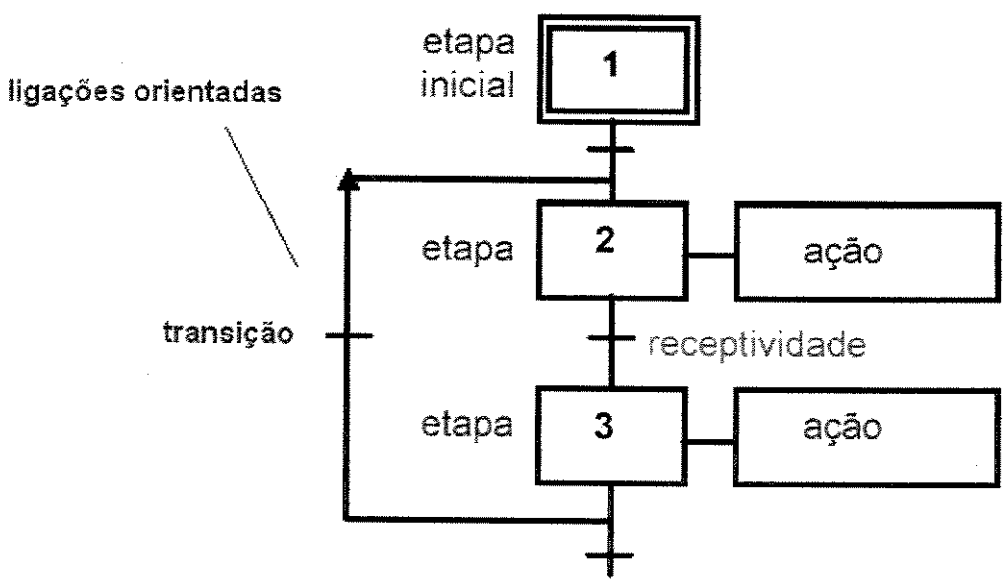


Figura 3.9: Esquema ilustrativo de um GRAFCET.

3.3.2.1 - Etapas

Uma etapa corresponde a uma situação durante a qual o comportamento da totalidade ou parte do sistema em relação às suas entradas e saídas é invariável, ou seja, a Parte Comando permanece numa mesma etapa, enquanto o comportamento do sistema se

mantém constante. A inicialização fixa as etapas ativas no início. Estas etapas são ativadas incondicional e referenciadas no GRAFCET duplicando os lados do símbolo correspondente à etapa.

A etapa é representada por um quadrado referenciado numericamente, aos quais estão associados uma ou mais ações (figura 3.10). As ações a serem realizadas quando uma etapa está ativa são descritas de modo literal ou simbólico no interior de um retângulo associado à etapa. Portanto torna-se necessário representar uma etapa ativa num instante determinado, isto é feito colocando-se uma marca na parte inferior do símbolo que representa a etapa.

Uma etapa pode ser ativa ou inativa em um determinado instante e portanto, o sistema será representado pelo conjunto de etapas ativas. As ações associadas a uma só serão efetuadas quando esta ativada.

A utilização de macro-etapas é possível, sendo representada num diagrama em separado. As macro-etapas são representadas num GRAFCET por um quadrado com traço vertical duplo.

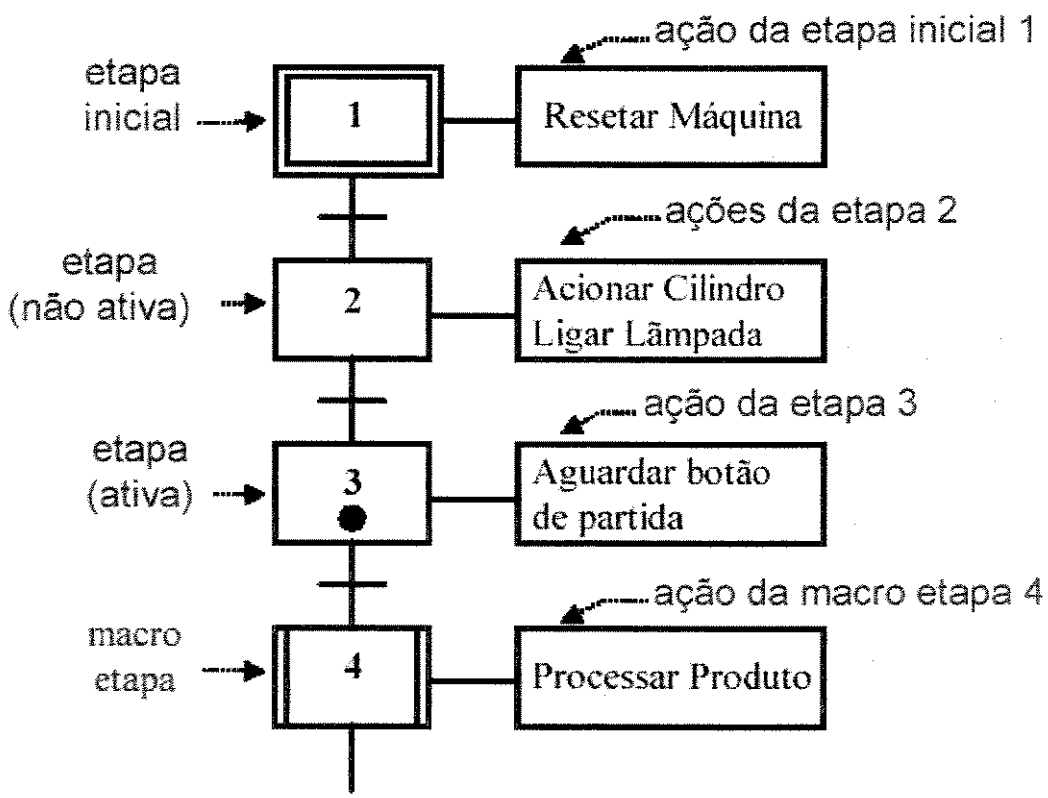


Figura 3.10: Etapas e Ações de um GRAFCET.

A figura 3.11 apresenta uma situação, onde quando a etapa 4 estiver ativa, a ação 1 será executada se a variável XX for verdadeira, a ação 2 será executada se a condição M1 for falsa, e a ação 3 será executada incondicionalmente, assim que a etapa 4 tornar ativa.

A execução de uma determinada ação pode estar associada a uma condição lógica entre uma variável de entrada ou de outra etapa qualquer. Assim, uma etapa mesmo estando ativa, pode existir "ações condicionais" que não sejam executáveis, pois sua condição é momentaneamente falsa.

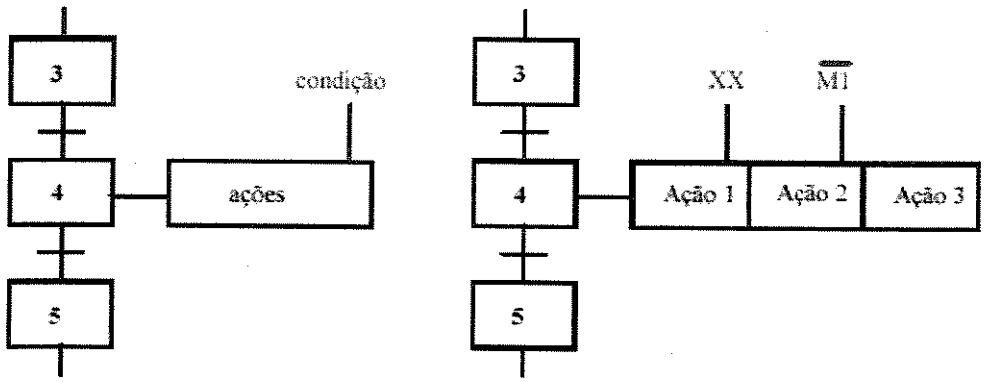


Figura 3.11: Ação Condicional num GRAFCET.

3.3.2.2 – Tipos de ações associadas às Etapas

Normalmente ações devem ser associadas às etapas. As ações podem ser classificadas como:

a) **Condicionais:** A execução de uma ação pode ser submissa a uma condição lógica entre variável de entrada ou de outra etapa, isto é, mesmo o estado de uma etapa sendo ativo pode haver ações condicionais que não sejam executadas pois sua condição é momentaneamente falsa.

b) **Impulsionais:**. A ativação da ação ocorrerá durante um tempo determinado, quando a etapa torna-se ativa;

c) **Contínuas:** A ação permanece sendo executada enquanto a etapa estiver ativa.

3.3.2.3 – Transições e Receptividades

Transições são funções lógicas que coordenam a evolução entre as etapas, em um determinado instante uma transição pode ser válida ou não. A cada transição é associada uma receptividade, esta é a condição lógica que permite distinguir entre todas as informações disponíveis num dado instante, apenas aquelas que permitem a evolução da Parte Comando. Ela é representada por um traço perpendicular aos arcos orientados e indica uma provável evolução do GRAFCET de uma situação para a posterior.

As receptividades associadas às transições são escritas numa forma lógica (figura 3.12), sendo uma função de conjunto de informações exteriores, de variáveis auxiliares do estado ativo ou inativo de outras etapas.

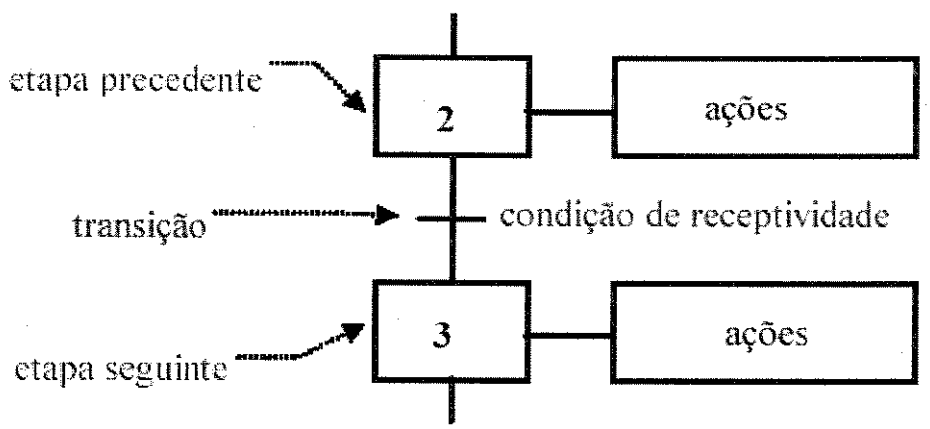


Figura 3.12: Transição e Receptividade de um GRAFCET.

Quando a transição é valida, possibilita a ativação das etapas destino e a desativação das etapas que a precedem. A receptividade pode ser influenciada pelo tempo, isto é, um temporizador será iniciado pela ativação da etapa especificada, desde que a receptividade associada a etapa anterior esteja válida (figura 3.13).

Para que o tempo possa intervir numa receptividade, basta indicar após a referência t, a sua origem e duração, a origem será o instante do começo da última ativação de uma etapa anterior, a simbologia é descrita desta forma t/ origem/ duração.

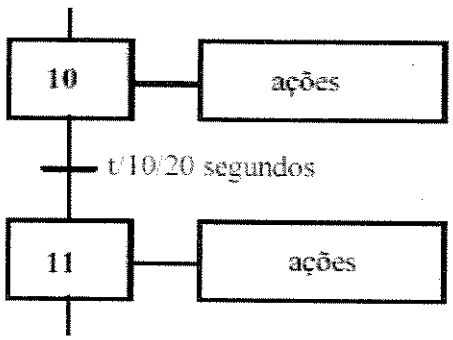


Figura 3.13: Exemplo de Temporização num GRAFCET.

3.3.2.4 – Principais Funções associadas às Receptividades

a) **Funções Lógicas:** As receptividades podem ser compostas por mais de uma variável, ligada através de uma das funções lógicas AND, OR ou NOT. As variáveis podem ser representadas por etapa, transição, entrada ou saída.

b) **Temporizador:** Uma receptividade pode se tornar verdadeira, após um determinado tempo de ativação de uma determinada etapa.

c) **Mudança de Estado:**Uma receptividade pode avaliar ou mudar o estado de uma variável. As variáveis podem ser uma determinada etapa, transição, entrada ou saída.

3.3.2.5 - Ligações Orientadas

As ligações orientadas indicam o caminho de evolução de estado do GRAFCET. São representadas por linhas que possuem sentido de orientação de cima para baixo (figura 3.13). Quando o sentido de evolução inverso será necessário a inclusão de uma seta.

As ligações entre as etapas são orientadas e irreversíveis. As ligações entre as etapas podem ser seqüenciais, com Divergências em OU, com Divergências em E, com Convergências em OU e com Convergências em E.

a) **Ligação Seqüencial:** Numa ligação seqüencial, a transição diz-se validada quando a etapa precedente está ativa. A figura 3.14, mostra que para a transição seja transposta é necessário que esta esteja validada e que simultaneamente a receptividade R1 que lhe está associada seja verdadeira. Neste caso, a etapa precedente é desativada e a etapa seguinte é ativada.

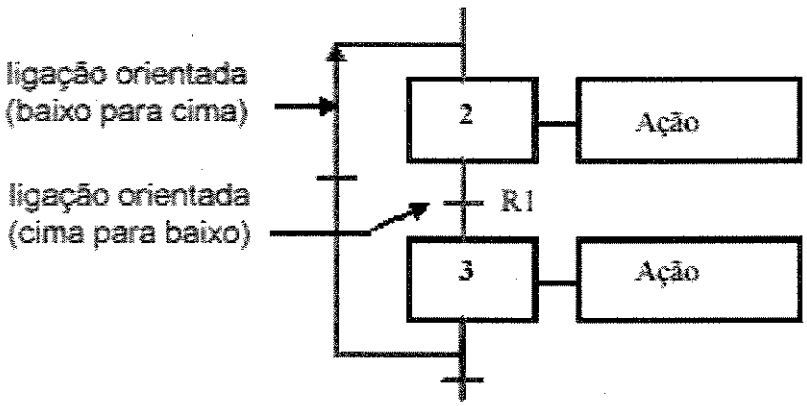


Figura 3.14: Ligações Orientadas Seqüenciais.

b) **AND Divergente:** Uma distribuição possui seu arco de ligação de saída conectado a duas ou mais etapas que se tornam ativas ao mesmo instante, conforme mostra a figura 3.15.

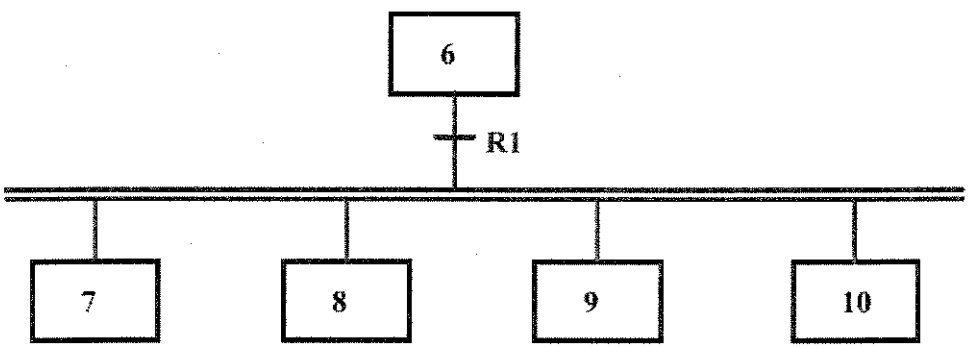


Figura 3.15: Ligação Orientada AND Divergente.

c) **AND Convergente:** Uma transição possui seu arco de ligação de entrada conectado a duas ou mais etapas que deverão estar ativas em um mesmo instante, para que a receptividade seja avaliada, conforme mostra a figura 3.16.

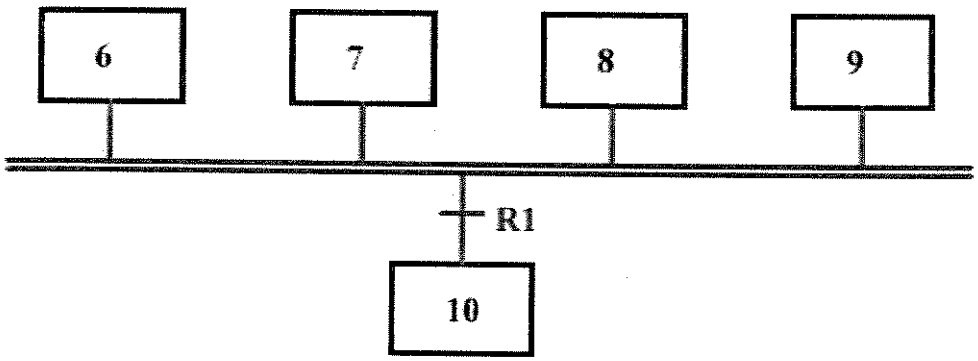


Figura 3.16: Ligação orientada AND Convergente.

d) **OR Divergente:** Uma etapa pode estar conectada a duas ou mais transições que serão testadas em um mesmo instante podendo ou não ser ativadas, de acordo com a avaliação de suas receptividades, conforme mostra a figura 3.17.

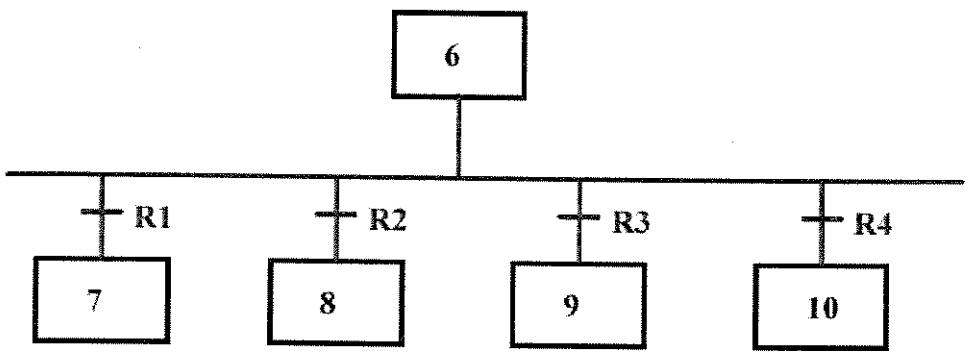


Figura 3.17: Ligação Orientada OR Divergente.

e) **OR Convergente** Uma ou mais transições estão com seus arcos de ligação de saída conectados à mesma etapa, a qual se tornará ativa assim que primeira transição se tornar verdadeira, conforme mostra a figura 3.18.

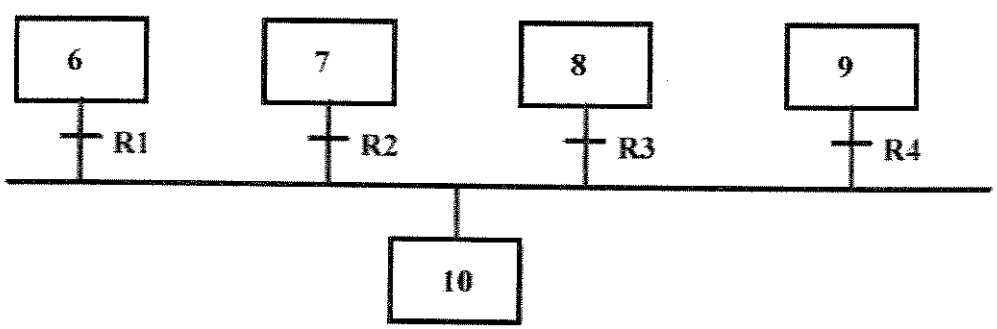


Figura 3.18: Ligação Orientada OR Convergente.

3.3.2.6 – Salto de Etapas

As ligações seqüenciais podem representar salto de etapas com a retomada das etapas anteriores. O salto condicional permite saltar uma ou mais etapas. A figura 3.19 mostra que a receptividade R1 for verdadeira salta-se as etapas 5, 6 e 7, passando diretamente da etapa 4 para a etapa 8, deixando de executar as ações 11, 12 e 13.

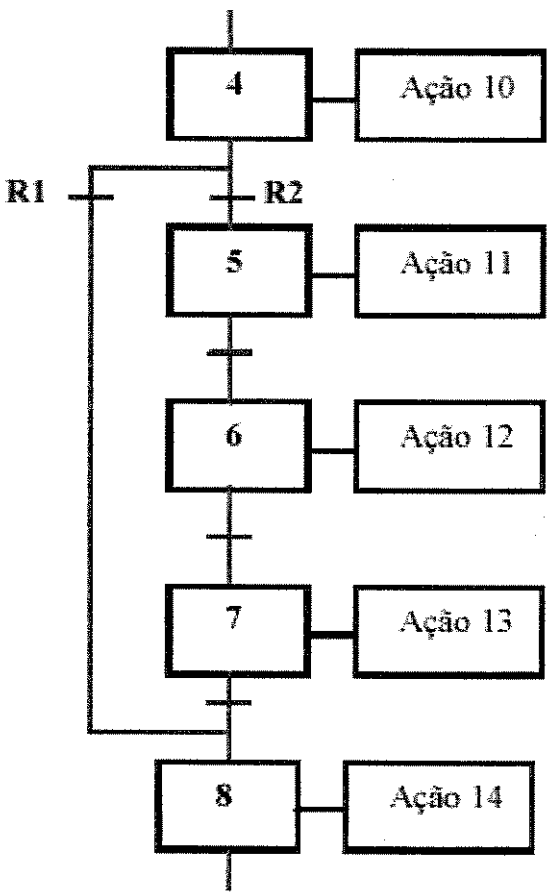


Figura 3.19: Representação de um Salto de Etapas.

3.3.2.7 – Retomada de Etapas

O GRAFCET apresentado na figura 3.20, apresenta um exemplo de retomada de etapas, permitindo retornar uma ou mais etapas tantas vezes enquanto uma determinada receptividade for verdadeira. Por exemplo, enquanto a receptividade R3 for verdadeira retorna-se as etapas 41, 42 e 43 e conseqüentemente as ações 41, 42 e 43 associadas, até que a receptividade R3 seja falsa e a receptividade R4 seja verdadeira.

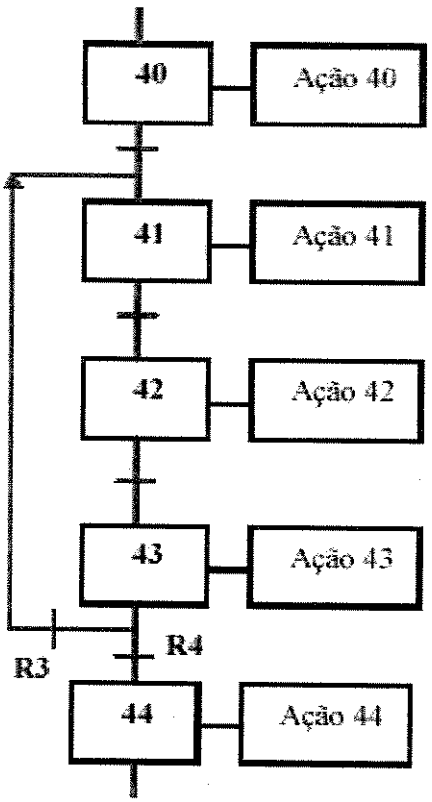


Figura 3.20: Retomada de Etapas.

3.3.3 - Regras de Evolução

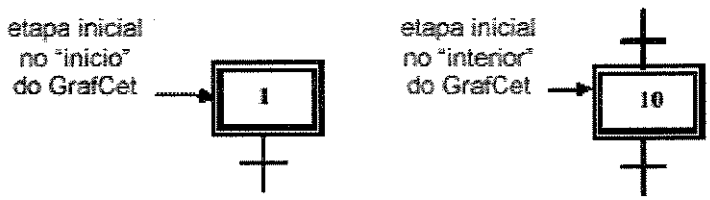
Com relação às regras do GRAFCET, pode se dizer que elas são representadas pela alternância entre etapas e transição e vice-versa. Cabe ser ressaltado que nenhuma ação é realizada ou nenhuma receptividade é avaliada em um espaço de tempo nulo, isto é estas operações não são instantâneas.

O comportamento do GRAFCET é baseado em cinco regras de evolução, as quais são:

1. A inicialização fixa as etapas ativas no início do funcionamento;
2. Uma transição pode ser validada ou não validada;
3. A transposição de uma etapa provoca a ativação de todas as etapas imediatamente a seguir e a desativação de todas as etapas imediatamente precedentes;
4. Várias transições simultaneamente transponíveis são simultaneamente transpostas;
5. Se no decurso do funcionamento, uma mesma etapa deve ser desativada e ativada simultaneamente, ela permanece ativa.

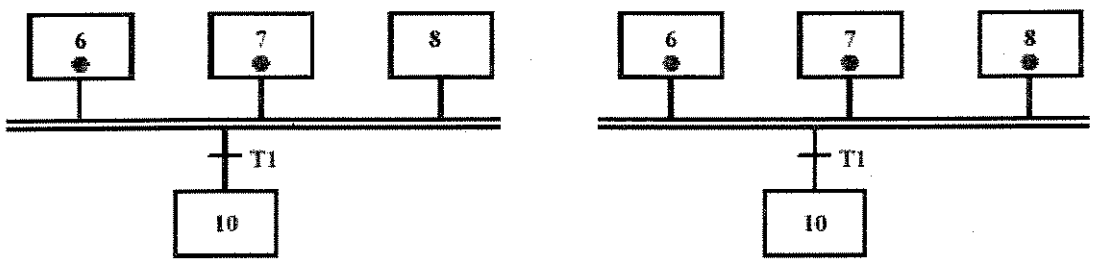
- **Regra 1** : Situação Inicial

No início de funcionamento somente as etapas iniciais estão ativas. Existe pelo menos uma etapa inicial, sendo todas incondicionalmente ativadas no início do funcionamento. As etapas iniciais podem estar no "início" efetivo e/ou no "interior" do sequenciamento do GrafCet.



Representação de Etapas Iniciais

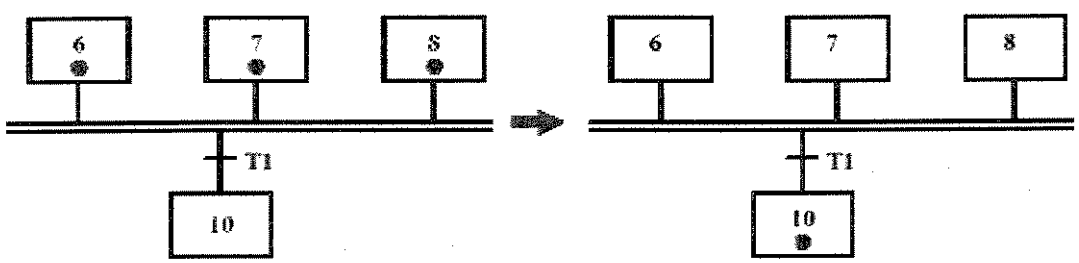
- **Regra 2** : Validação de uma Transição



Transição Não Válida *Transição Válida*

- **Regra 3** : Evolução de Etapas Ativas

Assim que uma transição é validada, ocorre a transposição de uma transição. Neste momento todas as etapas que precedem a transição são imediatamente desativadas, e todas as etapas que se seguem são imediatamente ativadas.



- Antes da Evolução *- Depois da Evolução*

•**Regra 4** : Transposição Simultânea de Transições

Todas as transições simultaneamente transponíveis são simultaneamente transpostas.

• **Regra 5** : Ativação e desativação simultânea de um passo

Uma etapa mantém-se ativa se esta for simultaneamente ativada e desativada. Ou seja, se durante o funcionamento do sistema, uma mesma etapa deve ser desativada e ativada simultaneamente, ela permanece ativa.

Cabe ressaltar que nenhuma ação é realizada ou nenhuma receptividade é validada em um espaço de tempo nulo, isto é, estas operações não são instantâneas.

Uma vez estabelecidas às definições fundamentais assim como as regras de evolução de um GRAFCET, a figura 3.21 exemplifica algumas particularidades dos elementos do GRAFCET (ações, receptividades e ligações orientadas), que tornam melhor descrição de um sistema automatizado.

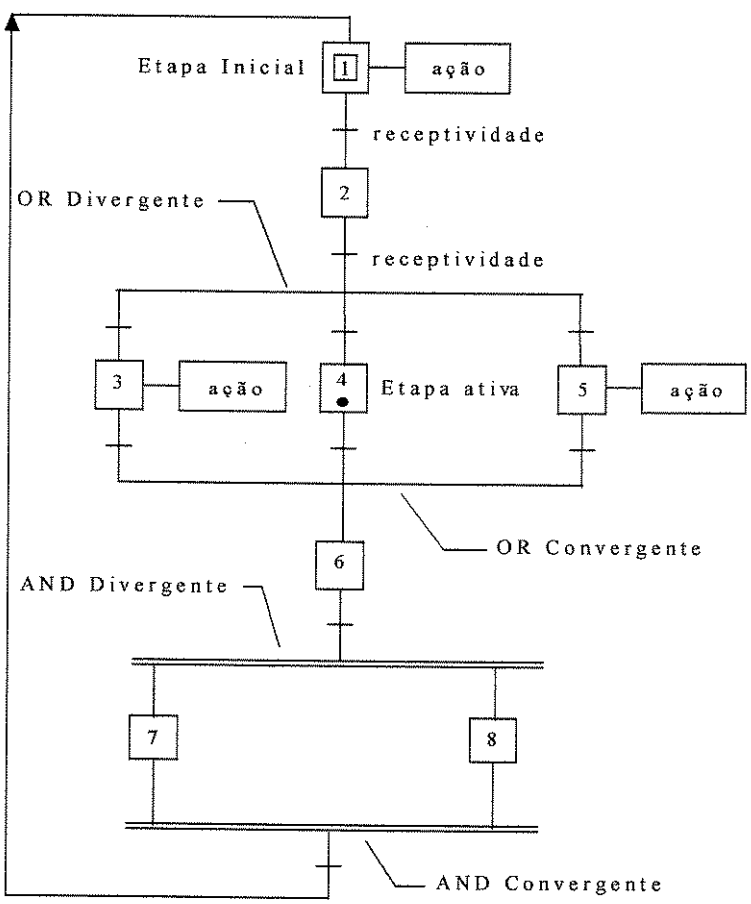


Figura 3.21: Regras de Evolução de um GRAFCET.

3.4 - Controlador Lógico Programável – CLP

O PLC (Programmable Logic Controller) também conhecido no Brasil como CLP (Controlador Lógico Programável) ou CP (Controladores Programáveis), é um dispositivo físico e eletrônico que possui uma memória interna programável, capaz de armazenar seqüências de instruções lógicas binárias além de outros comandos.

Historicamente podemos dizer que os primeiros CLP's surgiram em 1968 quando a Divisão Hydromatic da GM determinou os critérios para projeto do CLP, sendo que o primeiro dispositivo a atender às especificações foi desenvolvido pela Gould Modicon em 1969. Em 1971, ocorreram as primeiras utilizações fora da indústria automobilística. Em 1975, foi introduzido o controlador PID (Proportional, Integral, Differential) . Até 1977 eram construídos com componentes eletrônicos discretos; a partir desta época estes passaram a ser substituídos por microprocessadores, sendo daí em diante largamente aceito industrialmente.

Um CLP possui dispositivo para conectar–se com outros equipamentos externos o que permite o recebimento e/ou envio de variáveis de entrada ou variáveis de saída (figura 3.22), tais que:

- **variáveis de entrada**: são sinais externos recebidos pelo CLP, os quais podem ser oriundos de fontes pertencentes ao processo controlado ou de comandos gerados pelo operador. Tais sinais são gerados por dispositivos como sensores, chaves ou botoeiras, transdutores, etc.

- **variáveis de saída:** são os dispositivos controlados por cada ponto de saída do CLP. Tais pontos poderão servir para intervenção direta no processo controlado por acionamento próprio, ou também poderão servir para sinalização de estado em painel sinótico. Podem ser utilizados como exemplos de variáveis de saída, para o acionamento de válvulas, solenóides, displays, chaves e até mesmos sinais para outros CLP's, dentre outros.

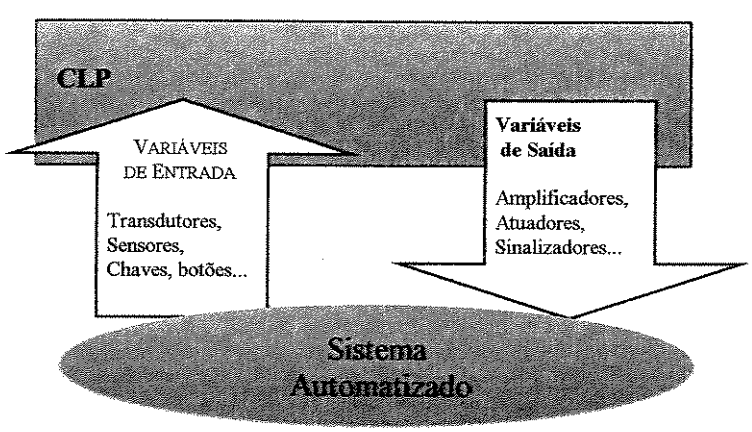


Figura 3.22 - Aplicação Genérica do Controlador Lógico Programável (Georgini, 1999).

O princípio de funcionamento fundamental do CLP é a execução dentro de uma CPU de um programa (Firmware), desenvolvido pelo fabricante, que realiza sistematicamente ações de leitura das variáveis de entrada através do módulo de entrada do CLP, em conjunto executa um programa armazenado e desenvolvido pelo usuário, onde o mesmo é destinado para controle e monitoração de tarefas específicas, no qual, através de uma lógica, faz ou não intervenções nas variáveis de saída através do módulo de saída do CLP, conforme mostra a figura 3.23.

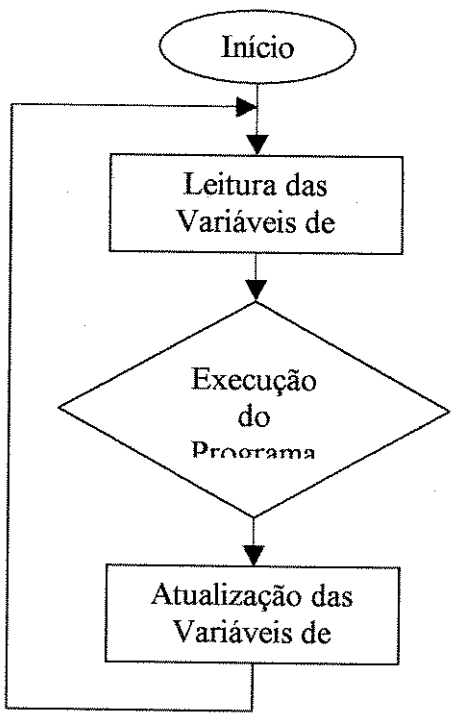


Figura 3.23 – Funcionamento de um CLP.

Os Controladores Lógicos Programáveis industriais possuem a seguinte arquitetura básica (figura 3.24):

1. **Unidade Central de Processamento (CPU - *Central Processing Unit*):** integra esta unidade o processador (microprocessador, processador dedicado ou micro-controlador), o sistema de memória (ROM e RAM) e os circuitos internos;
2. **Fonte de Alimentação:** parte responsável pelo fornecimento de tensão de alimentação fornecida à CPU e aos circuitos / módulos de E/S (entrada e saída);
3. **Circuitos de E/S (*Input/Output* – I/O):** circuitos para o recebimento ou envio de sinais. Podem ser discretos (sinais digitais, contatos normalmente abertos ou fechados) ou sinais analógicos.

4. **Base:** é responsável em proporcionar conexão mecânica e elétrica entre a CPU, os módulos de entrada e/ou saída e a fonte de alimentação. Possui o barramento de comunicação entre eles, no qual os sinais de dados, endereço, controle e tensão de alimentação estão presentes.

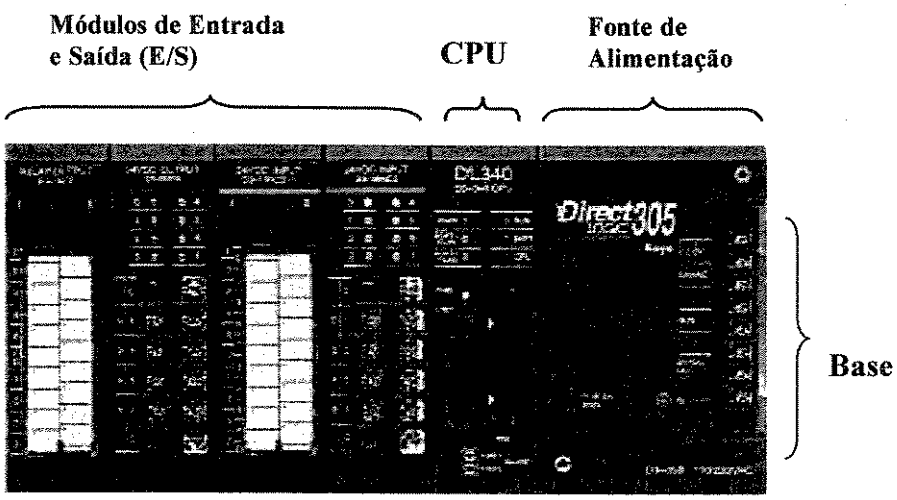


Figura 3.24 – Exemplo de um CLP industrial Koyo™.

Para a existência da comunicação do CLP com o PC é necessário que dois aspectos sejam observados tanto ao nível de hardware, como de software.

Quando se fala em **hardware de comunicação**, normalmente as CPU's possuem pelo menos uma porta de comunicação serial que pode ser conectada a dispositivos externos. A quantidade pode variar de acordo com o modelo e fabricante de CLP's.

Através das portas de comunicação pode-se estabelecer uma conexão entre o usuário e o controlador ou mesmo interligar a outras CLP's. Nesta porta pode-se interligar um computador (PC) ou um dispositivo portátil de programação, cujos quais, quando utilizados, permitem que se façam auto-diagnóstico, programação ou reprogramação de instruções, alterações de configurações do dispositivo, monitoração, gravação e apagamento da memória.

A comunicação entre o computador e um CLP é realizada através de uma porta serial padrão RS-232, utilizadas para transmissão de dados até 15m. Todavia alguns CLP´s utilizam o padrão RS-422 na qual a transmissão de dados é feita a distâncias maiores (até 1200m), maior velocidade e por algumas de suas características como maior imunidade a ruídos e comunicação do tipo full-duplex (podem enviar e receber dados simultaneamente), necessitando, no entanto, de conversor RS-232/RS-422. Existe ainda CLP´s que utilizam padrão próprio e necessitam de interfaces dedicadas instaladas no PC.

O outro fator mencionado acima é **o software**, neste caso estamos falando em protocolo de comunicação, o qual determina a forma de transmissão dos dados, ou seja, ele

é responsável pelo sinal de comunicação entre a CLP e o PC. Os protocolos são fornecidos pelos fabricantes os quais geralmente adotam Protocolos de Comunicação próprios, os quais normalmente são conhecidos como "Protocolo Proprietário". Alguns são "abertos" (o usuário pode ter acesso ao formato da transmissão de dados utilizada, podendo desenvolver seus próprios programas de comunicação) e outros o fabricante não fornece nenhum dado sobre o seu Protocolo Proprietário.

Entretanto existe a possibilidade de certos CLP's suportarem protocolos padrões como, por exemplo Modbus, o que permite a comunicação com dispositivos e softwares adotador por outros fabricantes, além de permitir a conexão em rede

As linguagens mais utilizadas na programação para CLP's podem ser representadas em três formas:

- Redes de contato (Ladder): similar aos esquemas elétricos de reles e contatores;
- Blocos funcionais similares aos esquemas elétricos de circuitos digitais (AND, OR, NOT, XOR, etc.);
- Lista de instruções: é a programação diretamente apoiada nas funções lógicas binárias e se assemelha bastante aos programas escritos em Assembler.

A mais utilizada é a linguagem Ladder (figura 3.25), que está presente praticamente em todos os CLP's disponíveis no mercado. Esta linguagem baseia-se nas redes de contatos dos esquemas elétricos, sendo por isso, uma linguagem gráfica de fácil manipulação e, mesmo existindo diferenças entre os fabricantes quanto às representações das instruções, são facilmente assimiladas pelo usuário.

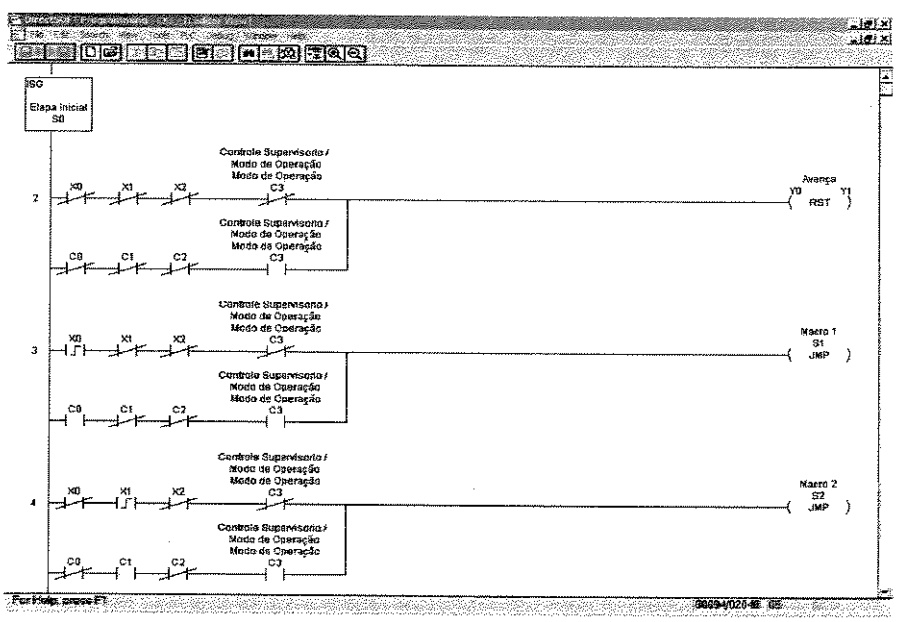


Figura 3.25 – Programa em Ladder (DirectSoft).

Na linguagem Ladder, cada contato ao assumir dois estados (fechado ou aberto), representa uma variável booleana, ou seja, uma variável que assume dois estados: verdadeiro ou falso. Como mostrado na figura 4.5 o símbolo -[ ]- significa contato normalmente aberto o qual a variável associada é 1. No símbolo -[/]- contato normalmente fechado o estado da variável associado é zero. Cada linha "Ladder" permite programar desde funções binárias até funções digitais complexas.

3.5 - Comentários Finais

Neste capítulo foram apresentadas ferramentas de modelagem de sistemas automatizados discreto, sendo enfatizado o GRAFCET e uma revisão de conceitos de Controladores Lógicos Programáveis (CLP's).

Para um bom projeto em automação há muitas das vezes necessidade de integração de ferramentas. GRAFCET é reconhecido e aceito pela industria por sua capacidade de representação e descrição das funções de controle local. No próximo capítulo será enfatizada a modelagem de sistemas automatizados a eventos discretos utilizando Redes de Petri que por sua vez, permite a coordenação e sincronização da dinâmica do sistema (modelo). Os dois possuem equivalentes e assim podem com mínimo esforço servir para diferentes visões de um sistema.

Capítulo 4

Modelagem de Sistemas Automatizados utilizando Redes de Petri

4.1 Introdução

O projeto da arquitetura de comando de Sistemas Automatizados (SA) com estrutura de controle e arquitetura de comando distribuída requer na sua concepção uma especificação de uma arquitetura de comando, que será determinante no ciclo de vida do sistema. Durante a fase inicial de projeto, o projetista deverá escolher uma arquitetura de comando que atenda os pré-requisitos funcionais, tais como os tempos de resposta do sistema.

Neste capítulo são apresentadas metodologias utilizadas para validação de um modelo de arquitetura de comando distribuído através da construção de modelos de Análise Estruturada e de sua posterior simulação através de Redes de Petri Coloridas e Temporizadas. No final deste capítulo será realizado um estudo de caso, direcionado a Domótica, com ênfase em Automação Hospitalar.

4.2 Sistemas Automatizados

Os Sistemas Automatizados (SA) são cada vez mais complexas e diversas têm sido as formas utilizadas para os caracterizar. Uma atitude possível, amplamente utilizada, é a de considerar o sistema dividido em vários componentes ou sub-sistemas (no sentido que podem ser caracterizados individualmente como um sistema), que interagem mutuamente através de um conjunto de interligações "bem caracterizadas". Correspondendo à atitude de "dividir para reinar".

Um modelo simples resultante desta atitude é o largamente utilizado modelo baseado na decomposição num sub-sistema de controle e num sub-sistema controlado (figura 4.1). Como caso particular, é de particular interesse caracterizar o sub-sistema controlado como uma componente de processamento de dados, sendo-se conduzido às arquiteturas micro-controladas típicas, com as suas componentes de dados e de controlo, interoperantes e com funcionamento concorrente [Demongodin & Koussoulas, 1998].

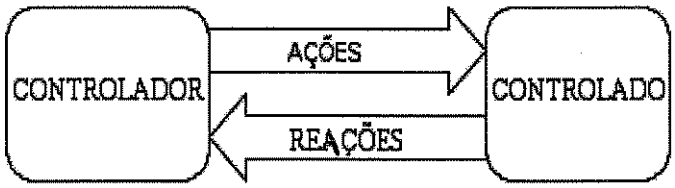


Figura 4.1: Caracterização de um sistemas nas suas partes "mestre" e "escravo"

Cada componente destes sistemas pode operar independentemente, isto é, de forma concorrente. Deste modo, a análise completa do sistema deverá considerar estas características de funcionamento concorrente dos vários sub-sistemas.

Esta natureza concorrente do funcionamento da maioria dos sistemas complexos cria diversos problemas ao longo do seu processo de desenvolvimento, nomeadamente nas tarefas associadas à sua modelação, validação e implementação. Por outro lado, dado que os sub-sistemas interagem condicionando mutuamente os seus comportamentos, torna-se necessária alguma forma de sincronização entre os modelos que os representam. Por exemplo, é comum que alguns sub-sistemas necessitem de aguardar por resultados de outros sub-sistemas antes de prosseguirem no seu funcionamento [Antsaklis & Nerode, 1998].

De um modo mais geral, a interação entre os vários sub-sistemas, traduz dependências lógicas que podem ser classificadas num dos seguintes casos [Antunes, Martins & Rodrigues]:

- troca de informação: no caso de um sistema necessitar de um recurso produzido ou tornado disponível por outro;
- sincronização: no caso de se necessitar de estabelecer relações de ordem entre o funcionamento dos sistemas;
- exclusão mútua: no caso de um recurso partilhado por vários sistemas não poder ser utilizado simultaneamente por mais do que um deles.

4.3 – Ciclo de Vida de um Sistema Automatizado

O ciclo de vida de um Sistema Automatizado (SA) começa com uma *fase de especificação e projeto*, que consta do Diagrama de Atividades e Desenvolvimento de um Sistema Automatizado (figura 4.2). Esta fase consiste nas seguintes atividades:

- Análise das necessidades do sistema, resultando na definição de seu *Caderno de Tarefas*;
- Projeto preliminar do sistema, com a especificação de suas propriedades gerais;
- Especificação e projeto da *Parte de Comando*;
- Especificação e projeto da *Parte Operativa*;
- Validação das diferentes etapas do sistema, tendo em vista que cada atividade de projeto gera modelos que devem ser validados antes de passar à *fase de realização do sistema* e ao restante de seu ciclo de vida.

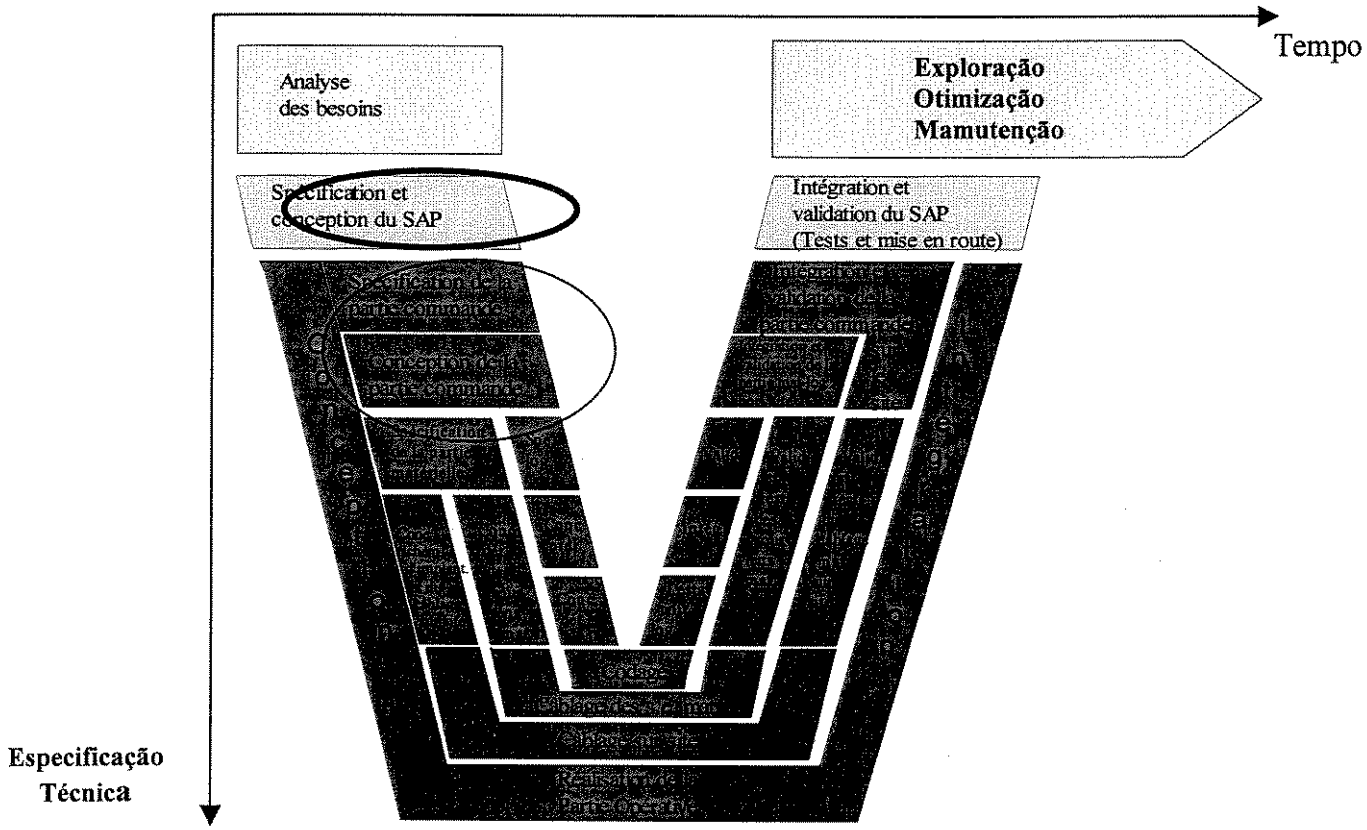


Figura 4.2 – Diagrama de Atividades de Desenvolvimento de um Sistema Automatizado.

4.4 Sistemas a Eventos Discretos

A complexidade crescente dos sistemas automatizados industriais implica numa grande dificuldade por parte do usuário, na definição de uma maneira clara, concisa e não ambígua das especificações funcionais associadas a esses sistemas, esta complexidade tende a aumentar ainda mais, com a utilização de um número elevado de informações de entradas e saídas [Ramadge & Wonham, 1989]. Sistemas a eventos discretos são sistemas em que os sinais:

a) assumem valores num conjunto discreto, tais como on/off, verde, amarelo,vermelho, 1, 2, 3, ;
b) as alterações de valor quando ocorrem são tão rápidas que se podem modelar como instantâneas, em qualquer instante t;
c) alteram-se por duas possíveis razões: ocorrência de eventos instantâneos externos, isolados e independentes; ocorrência de eventos internos, definidos por rigorosas cadeias lógicas.

Uma questão de nomenclatura: eventos são por natureza discretos no tempo, mas justifica-se o nome de sistemas a eventos discretos para salientar a idéia de eventos de amplitudes pertencentes a um conjunto discreto. Em inglês, é corrente o uso do nome Discrete Event Systems – DES, e na língua portuguesa Sistemas a Eventos Discretos - SED.

Nos sistemas SED, há que considerar diferentes métodos de analise em razão de circunstâncias específicas. Os eventos externos podem ocorrer freqüentemente, em razão de outros processos aleatórios o que sugere, como ferramenta ideal de análise, a Estatística; mas os eventos externos podem ser raros e, portanto, de inexpressiva descrição estatística (por exemplo, o aperto de um botão Emergência). De outro lado, o funcionamento interno desses sistemas usualmente obedece a regras lógicas rígidas e exige tempos de reação que, se fixos, sugerem o tratamento determinístico; se aleatórios, requerem uma análise Estatística [Ho,1991].

Na realidade, tanto uma análise determinística quanto à estatística são desejáveis, desde que utilizadas no momento certo, devendo ao engenheiro de automação, garantir conseqüências bem definidas, seguras, em presença de eventos externos, sejam eles raros ou freqüentes; garantidas essas conseqüências, ele vai desejar analisar desempenhos econômicos e de confiabilidade, por meio da Estatística e de simulações [Antsaklis & Nerode, 1998].

Atualmente são inúmeros os sistemas a eventos discretos [Cassandras; 1990], sendo fundamental importância na ordenação da vida civilizada contemporânea; ocorrem em todas as indústrias, nos serviços prestados ao público, nos processos burocráticos, nos softwares de tempo real e dos bancos de dados, nas manufaturas. Em tais sistemas, em geral intervém eventos externos importantes, enquanto internamente existe uma lógica rigorosa de causas e efeitos.

A figura 4.3 apresenta um exemplo de controle de trafego através de um semáforo num cruzamento de ruas em T. As chegadas cij e as saídas sij, de veículos são eventos, com quatro tipos de possibilidades de trajetos:

(1,2) = veículos vindo da direção 1 e virando para a direção 2;
(1,3) = veículos vindo da direção 1 e virando para a direção 3;
(2,3) = vindo da direção 2 e indo para a direção 3
(3,2) = vindo da direção 3 e indo para a direção 2

Podemos observar que existem duas situações para o semáforo S:

a) mostrando o sinal vermelho R para (1,2) e (1,3), o sinal verde G para (2,3) e (3,2);
b) mostrando o sinal verde G para (1,2) e (1,3), o sinal vermelho R para (2,3) e (3,2).

As transições R -> G e, G -> R também são eventos, internos. Uma automação do semáforo deveria levar em conta as filas formadas a partir dos eventos cij e sij, e definir os instantes dos eventos controlados R -> G e G -> R.

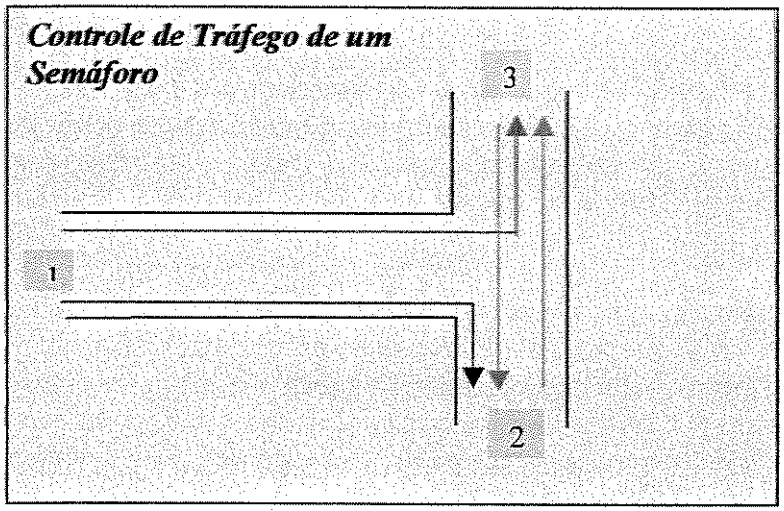


Figura 4.3: Exemplo de Sistema a Evento Discreto.

O projeto da arquitetura de comando do SA consiste em repartir as funções de comando do sistema entre os diversos equipamentos de controle-comando disponíveis. Tradicionalmente, esta atividade esta inserida dentro das atividades de especificação e projeto da parte de comando. Esta atividade deverá ser realizada, mesmo para sistemas de arquitetura de comando simples, muitas vezes reduzido a um só equipamento de controle.

No entanto, visando melhores níveis de flexibilidade e reatividade no meio industrial, os sistemas de controle-comando de um SA são freqüentemente organizados de forma distribuída: as partes operativas comandadas por diversos Controladores Lógicos Programáveis (CLP), estes, por sua vez, muitas vezes dirigidos por um sistema de supervisão; as trocas de dados entre as diversas estruturas físicas de comando sendo realizadas por meio de uma rede local. Portanto, torna-se extremamente "penoso" ao projetista escolher uma arquitetura de comando adequada a sistemas distribuídos, principalmente no que diz respeito ao tempo de resposta do sistema como um todo. Isso porque, de forma geral, os fabricantes de equipamentos conhecem perfeitamente os componentes de seus sistemas de controle individualmente, mas não dispõem de informações sobre a interação entre diferentes componentes ou parâmetros de influência.

Assim, para SA's que apresentam estrutura de comando fortemente distribuída, a escolha de uma arquitetura de comando adequada torna-se fundamental para a realização de todas as atividades existentes no seu ciclo de vida. O projetista deve, então, considerar o projeto da arquitetura de comando suficientemente cedo durante a fase de projeto e especificação do sistema em questão: mais precisamente, durante o projeto preliminar do sistema.

4.5 Redes de Petri - Conceitos Básicos e Definições

A metodologia de modelagem de Sistemas a Eventos Discretos (SED), utilizando Redes de Petri, (RdP) foram propostas em 1962, por Carl. Petri, matemático alemão, que através de uma tese de doutoramento foi criado esse método de estudo para sistemas dinâmicos a evento discreto, direcionado às Comunicações com Autômatos (1962),

originando posteriormente, duas grandes linhas de desenvolvimento nas áreas de Ciências da Computação e em Engenharia de Sistemas. [Huber, Jensen & Shapiro 90] padronizaram as Redes de Petri.

As RdP's são um instrumento de modelação e análise de sistemas, permitindo a construção do seu modelo de funcionamento; a sua aplicabilidade imediata em diversas áreas transformaram-nas em tema alvo de desenvolvida investigação básica e aplicada, e sua utilização para Modelagem de Sistemas Automatizados apresentam algumas vantagens na sua utilização:

- capturam as relações de precedência e os vínculos estruturais dos sistemas reais;
- são graficamente expressivas; permitindo a modelagem de conflitos e filas;
- têm fundamento matemático e prático;
- admitem várias especializações (RP's temporizadas, coloridas, estocásticas, de confiabilidade etc.).

Redes de Petri (RdP's) podem ser definidas por meio de conjuntos, funções e também por grafos, de maneira que suas propriedades possam ser obtidas pela teoria dos conjuntos e/ou pela teoria dos grafos.

As Redes de Petri são grafos orientados constituídas de quatro tipos de entidades: lugares, transições, arcos e marcas. Graficamente, os lugares são representados por círculos e as transições por traços ou retângulos. Os arcos são orientados e ligam os lugares às transições, e vice-versa [Reizig, 1982;Murata, 1989;Peterson,1981]. Este conjunto forma um gráfico bipartido: cada lugar só é ligado a transições e cada transição só é ligada a lugares. Estes lugares contém um número inteiro (positivo ou nulo) de marcas. Cada transição é ligada a uma dada quantidade de lugares denominados "entradas" e "saídas" representando, respectivamente, as pré-condições e as pós-condições deste subsistema. Cada arco é designado como "arco de entrada" ou "arco de saída", tem associado a ele um determinado número de marcas, denominado seu "peso".

A regra fundamental da teoria das Redes de Petri é a do disparo das transições. Uma transição é dita "habilitada" se cada um dos lugares a montante desta transição contém uma quantidade de marcas igual ou superior ao peso do arco de entrada correspondente.

O disparo de uma transição consiste em retirar de cada lugar a montante desta um número de marcas igual ao peso do arco de entrada correspondente, e em adicionar a cada lugar a jusante um número de marcas igual ao arco de saída correspondente.

As RdP, do ponto de vista matemático, possuem propriedades que se dividem em dois grupos propriedades dependentes da marcação (propriedades comportamentais) e as não dependentes da marcação (propriedades estruturais).

As propriedades já mencionadas ("*liveness*", limitação, alcançabilidade e reversibilidade), entre outras, pertencem ao primeiro grupo. Entre as propriedades estruturais, por sua vez, podem ser citadas as limitações estruturais, conservação, repetitividade e persistência, [BRA83].

Essas propriedades da RdP são extremamente úteis para analisar os sistemas modelados. Um importante aspecto a ser considerado durante análise é se existe correspondência biunívoca entre o modelo sob forma de RdP e os pré-requisitos funcionais da aplicação em questão. Este é um ponto crítico, principalmente quando modelos de extensão são construídos para sistemas complexos [Zurawski & Zhou, 1994].

A simulação pode ser realizada através dos métodos: eventos discretos, árvore de cobertura, análise de invariantes e redução de redes.

O método da "árvore de cobertura" consiste, basicamente, em enumerar todas as possíveis marcações passíveis de serem atingidas a partir da marcação inicial de uma RdP. Começando da marcação inicial, procura-se construir um conjunto de cobertura através do disparo de todas as transições sucessivamente habilitadas.

A "análise de invariantes" parte do princípio de que os arcos descrevem relações entre os lugares e as transições, e podem ser representados por duas matrizes. Estudando as matrizes e as equações lineares baseadas na regra de execução das RdP, pode-se encontrar subconjuntos de lugares nos quais a soma de marcas permanece inalterada (conceito de invariante de lugar). De forma análoga, pode-se encontrar uma seqüência de disparos de transições que faz uma marcação voltar a um mesmo valor.

A abordagem de "redução de redes" consiste em simplificar a estrutura de uma rede complexa preservando suas propriedades e, através da rede reduzida, derivar as propriedades da rede original.

Finalmente, a simulação como método de análise, faz a RdP evoluir através da execução de seu algoritmo. Esta não é um método adaptado para provar a correção do modelo em casos gerais (ponto forte de métodos baseados da técnica de validação analítica, como a análise de invariantes), mas permite derivar o desempenho de um sistema sob premissas bastante realistas.

As extensões das Redes de Petri que possibilitam a construção e a avaliação de modelos de sistemas dinâmicos complexos são a coloração de marcas e a temporização associada às entidades da RdP.

Durante a modelagem de um sistema real, freqüentemente o tamanho da RdP se torna muito grande. Este fenômeno de crescimento, na maioria dos casos, nasce da repetição de sub-redes de estrutura idêntica que servem unicamente para indicar estados diferentes do sistema. As RdP coloridas são uma das abreviações do conceito original que possibilitam, sem mudar o poder do algoritmo deste conceito, nem suas propriedades, uma economia de escrita e de leitura extremamente necessária à representação de sistemas complexos.

As RdP coloridas seguem o princípio que a marcação de uma rede representa em geral o número de acontecimentos de eventos de um mesmo tipo. Associando a cada tipo de evento um atributo distintivo (que por razões históricas foi chamado de cor), a marcação de um único lugar pode então modelar diversos acontecimentos de eventos de tipos diferentes, através de marcas de cores diferentes (na verdade, segundo a definição das RdP coloridas,

um lugar deve ter a cor das marcas que pode conter definida a priori [JEN87]; este lugar poderá conter, no entanto, todas as sub-cores que tenham sido definidas como "filhas" desta "cor mãe").

Para as RdP coloridas, uma transição é habilitada não somente se os lugares a montante possuem o número de marcas exigidas pelos arcos de entrada, como no conceito original, mas ainda se estes lugares contêm marcas de tipos, ou seja, portando as cores, exigidas pelos arcos de entrada.

O conceito de tempo não é abordado na definição original das RdP. No entanto, para a avaliação de desempenho de sistemas, torna-se necessário introduzir intervalos temporais às transições e/ou lugares dos modelos. As RdP temporizadas possibilitam avaliar quantitativamente o desempenho temporal dos sistemas estudados.

As RdP temporizadas são redes não-autônomas [BRA83], ou seja, elas pertencem à classe de extensão das RdP cuja evolução dinâmica não depende unicamente do estado da rede em questão mas também do ambiente associado a ela. No caso específico das Rdp temporizadas, este ambiente é caracterizado por um relógio global que determina a disponibilidade das marcas depois do disparo das transições.

Estas RdP são chamadas de "temporizadas" (determinísticas) se os intervalos são especificados de forma determinística ou "estocásticas" se estes intervalos são especificados de forma probabilística.

Nas RdP temporizadas, as regras de disparo de transições foram modificadas para levar em consideração a duração das atividades, ações ou estados de um modelo. Assim, se uma marca chega a um lugar num instante **t** e a transição TI (cujo disparo gerou esta marca) especifica uma atividade de duração **z**, esta marca somente estará "pronta" para disparar a transição TII seguinte no instante **t+z**. Isto porque as marcas em RdP temporizadas apresentam dois estados: disponível ou indisponível. A passagem dos estado disponível ao estado indisponível acontece quando uma transição dispara, ou seja, as marcas colocadas pela transição em um lugar de saída estão em estado indisponível. o estado indisponível corresponde à situação em que o disparo de uma transição representa uma atividade sendo executada. Considerando novamente as transições TI e TII, as marcas em um lugar passam do estado indisponível ao estado disponível exatamente como nas RdP autônomas.

Fundamentalmente, a evolução das RdP temporizadas depende do "relógio global". Os valores deste relógio representam o tempo no modelo. Além de portar cores, as marcas podem portar um valor de tempo, chamado também de selo de tempo. O selo de tempo de uma marca indica o mínimo valor de tempo do modelo em que a marca pode se utilizada, ou seja, retirada do lugar em que ela está para disparar uma transição.

Em uma RdP colorida e temporizada, uma transição é "habilitada" quando as marcas apresentam-se portando as cores e em número exigidos por cada arco de entrada. As marcas estão disponíveis, ou seja, os selos de tempo das marcas serem retiradas devem ter valor menor ou igual ao tempo do modelo.

A modelagem de uma atividade/operação de (delta r) unidades de tempo é feita por meio de uma transição T que gera para os lugares de saída, marcas cujos selos de tempo são (delta r) unidades de tempo superiores ao valor do relógio em que T é disparado. Como resultado do disparo, as marcas geradas por T serão indisponíveis durante (delta r) unidades de tempo.

A execução de RdP coloridas e temporizadas é similar às filas de eventos encontradas em várias linguagens de programação destinadas à simulação a eventos discretos. O modelo permanece num instante enquanto houver transições a disparar. Quando não há mais, o relógio é avançado até o próximo instante em que haverá transições disparáveis (logo, em que haverá marcas disponíveis).

4.5.1 Redes de Petri - Conceitos Básicos e Definições

Algumas tentativas de aplicação a novas áreas tiveram como conseqüência o aparecimento de extensões ao modelo inicialmente proposto. O elevado número de classes de RdP resultante de extensões e reduções, comporta-se como dialetos de uma mesma linguagem, permitindo, no entanto, um meio comum de comunicação entre comunidades ou sectores diversos.

As redes de Petri permitem modelar sistemas constituídos por componentes que apresentem características de funcionamento concorrente e interatuantes. A sua utilização poderá ser realizada de modos diversos [Peterson 81], dependendo do objetivo em vista.

A primeira abordagem considera as RdP como uma ferramenta auxiliar de análise. Neste caso, outras técnicas e formalismos são usados para especificar o sistema; com base nessa especificação, o sistema é então modelado através de uma RdP que será posteriormente analisada. Se forem detectados problemas, proceder-se-á a alterações na especificação e o ciclo será repetido até que mais nenhum problema "grave" seja detectado (figura 4.4).

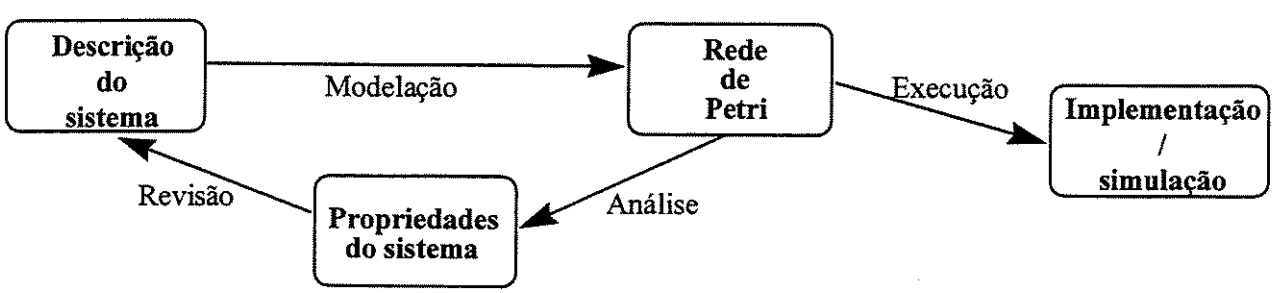


Figura 4.4 - Utilização de redes de Petri na modelação e análise de sistemas.

A primeira abordagem considera as RdP como uma ferramenta auxiliar de análise. Neste caso, outras técnicas e formalismos são usados para especificar o sistema; com base nessa especificação, o sistema é então modelado através de uma RdP que será posteriormente analisada. Se forem detectados problemas, proceder-se-á a alterações na especificação e o ciclo será repetido até que mais nenhum problema "grave" seja detectado (figura 4.4).

Como exemplo de problema grave refira-se uma situação de bloqueamento ("*deadlock*") na comunicação entre dois sistemas concorrentes. Outros problemas que podem aparecer serão identificados posteriormente.

Nesta abordagem tornam-se necessárias conversões consecutivas entre a RdP equivalente e a especificação do sistema (realizada num formalismo distinto). Para evitar esta situação, uma abordagem alternativa pode ser utilizada, utilizando as RdP em todas as fases do processo de desenvolvimento. As técnicas de análise são utilizadas como ferramenta para se obter uma rede de Petri isenta de erros que será diretamente transformada num sistema pronto a operar.

Na primeira abordagem, a ênfase é colocada em transformar uma especificação de sistema na sua representação através de uma rede de Petri. Na segunda, igual ênfase é colocada nas técnicas de tradução das RdP que permitirão obter uma implementação do sistema a partir da sua representação em RdP. Em qual delas, no entanto, a utilização de técnicas de análise das RdP desempenha um importante papel, dado permitirem determinar algumas propriedades do modelo utilizado.

4.5.2 Representação das Redes de Petri

Uma possível representação das redes de Petri é através de um grafo possuindo dois tipos de nós, designados por lugares e transições. Os lugares são representados por círculos enquanto as transições por barras (ou retângulos). Lugares e transições são ligados através de arcos dirigidos, de modo que um arco inicia-se num tipo de nó e chega (sempre) a um nó do tipo complementar. A RdP é, assim, um grafo bipartido, ou seja, um grafo constituído por dois conjuntos de nós, em que nenhum dos nós constituintes de um conjunto se interliga a outro nó pertencente ao mesmo conjunto.

Nesta representação será possível associar eventos e condições do sistema que se pretende modelar às transições e lugares do grafo. Para além das propriedades e dependências estáticas representadas pelas ligações (arcos) do grafo, uma RdP apresenta propriedades dinâmicas que resultam da sua execução.

A RdP apresentada na figura 4.5, apresenta a modelagem de um sistema simples, com significado em vários domínios [Peterson, 77, Reisig, 82] e que será utilizado como exemplo introdutório aos conceitos envolvidos. Uma interpretação da RdP apresentada poderá ser associada a um sistema contendo um produtor e um consumidor, em que os lugares p1 e p2 modelam as atividades do produtor, os lugares p4 e p5 as do consumidor,

enquanto p3 se encontra associado ao processo que armazenará temporariamente os "produtos produzidos".

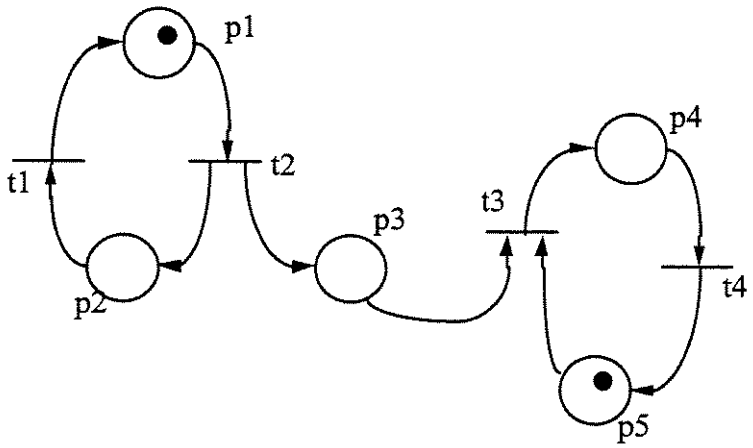


Figura 4.5 – Rede de Petri marcada.

Nessa RdP, alguns dos lugares contêm uma marca (ponto negro), pelo que a rede de Petri se diz marcada. Pensando nos lugares da rede como estados do sistema (ou condições a verificar), a marca permite indicar se o estado (ou condição) se verifica ou não.

Como exemplo, a presença de uma marca em p1 modela a disponibilidade de "produtos produzidos" prontos para serem transferidos para o armazém, enquanto que a marca em p2 revela uma condição de "em produção". A distribuição de marcas numa RdP marcada denomina-se marcação da RdP e define o seu estado. De forma análoga, às transições t1 e t2 poderão ser associados os eventos de "produzido" e "transferido para armazém".

As marcas poderão mover-se pela rede, através do disparo de uma transição. Isto é, o estado da rede pode ser alterado pela ocorrência de eventos. Uma transição para poder ser disparada deverá estar habilitada (autorizada ou permitida), isto é, todos os seus lugares de entrada deverão conter uma marca. O disparo da transição provocará o desaparecimento de uma marca em todos os seus lugares de entrada e o aparecimento de uma marca em todos os seus lugares de saída.

Convém enfatizar que a regra de disparo enunciada, faz depender a habilitação de uma transição unicamente do conjunto de condições (marcação dos lugares) presentes nos seus arcos de entrada. Esta é a regra de disparo utilizada em grande parte das classes de RdP, em particular naquelas de maior interesse para a modelação de sistemas complexos de controle.

No entanto, RdP mais simples, por exemplo as RdP condição-evento (proposto no trabalho inicial de C. Petri) incluem na sua regra de disparo, a condição de todos os lugares

ligados a arcos de saída não conterem marcas; nesta classe, os lugares podem conter zero ou uma marca. A capacidade dos lugares é de uma marca.

De referir, ainda, os casos em se associa uma capacidade (número inteiro positivo) a cada lugar da RdP e as regras de disparo das transições são, implicitamente, condicionados por essa capacidade; as RdP assim definidas denominam-se por RdP de capacidade finita [David 91]. Normalmente a regra de disparo depende unicamente das condições associadas aos arcos de entrada.

Supondo que se pretende adicionar um segundo consumidor ao sistema, o modelo de RdP resultante é apresentado na figura 4.6, em que os lugares p6 e p7 modelam os estados do segundo consumidor.

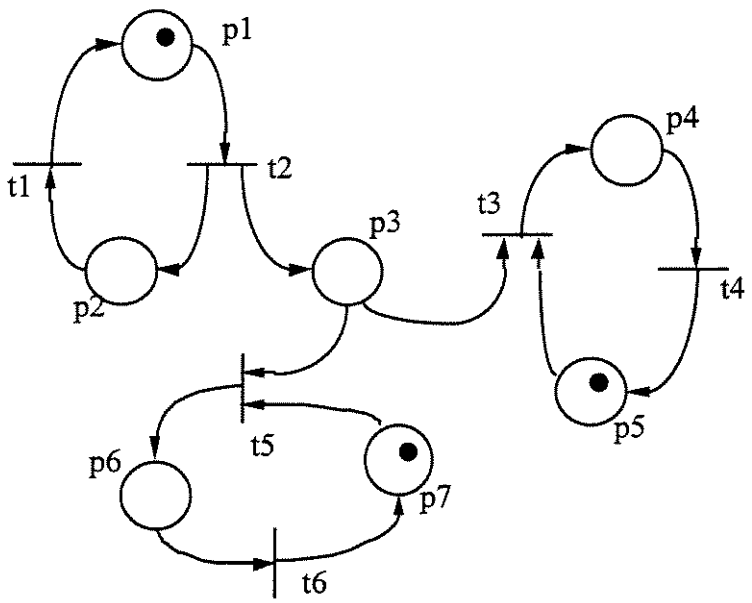


Figura 4.6 - Rede de Petri marcada.

Na situação de marcação, ilustrada na figura 4.6, só a transição t2 poderá ser disparada, dada ser a única habilitada. O seu disparo originará a RdP marcada da figura 4.7. Nesta RdP resultante já existem várias transições habilitadas, concretamente t1, t3 e t5. O disparo de uma transição (única habilitada no estado inicial) conduziu-nos a uma rede com três transições habilitadas.

Se nesta nova situação, a transição t3 for disparada, o disparo da transição t5 deixará de estar permitido. Estamos em presença de uma situação de conflito entre as transições t3 e t5. No entanto, o disparo da transição t1 continua a ser possível. Ou seja, enquanto os disparos de t1 e t3 não se condicionam mutuamente, podendo ocorrer concorrentemente, os disparos de t3 e t5 são mutuamente exclusivos.

De um modo geral, o disparo de uma transição poderá conduzir a uma nova marcação que contem mais, menos ou igual número de transições habilitadas e de marcas. Em particular, nalguns casos poderá conduzir a uma marcação em que nenhuma transição esteja permitida, isto é, a uma situação de bloqueio ("*dead-lock*"). É impossível observar essa situação como evolução da RdP da figura 4.6.

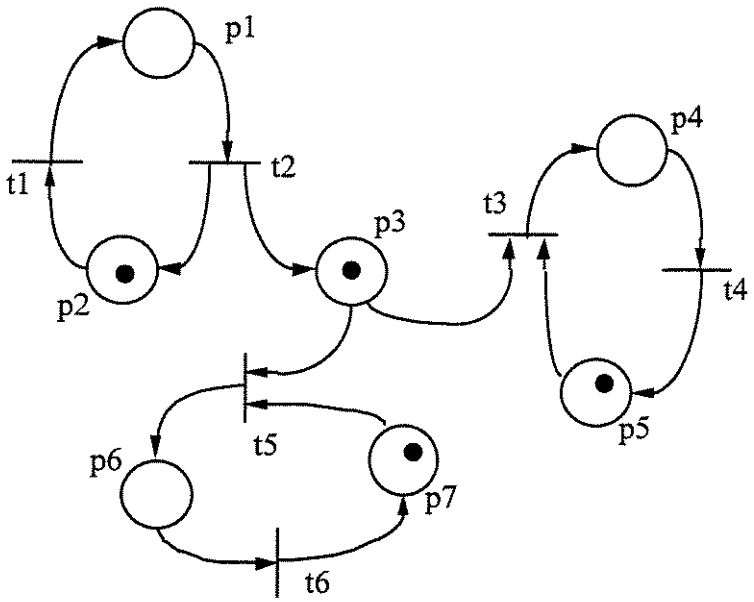


Figura 4.7: Marcação resultante do disparo de t2 na RdP da figura 4.6.

No caso de um sistema de produção automatizado, a RdP apresentada poderá descrever o funcionamento de um sistema com um produtor, dois consumidores e um armazém. Estes quatro componentes podem ser encarados individualmente como sub-sistemas que evoluem seqüencialmente e que interagem. Tomando como exemplo o sub-modelo do produtor, os lugares p1 ou p2 possuirão uma marca em regime de exclusão mútua, indicando, numa possível interpretação da RdP, se o produtor está a executar tarefa de produção ou de despacho de produto. Na realidade, esta descrição poderia ser facilmente realizada de forma isolada através de uma máquina de estados, contendo dois estados, em que a marca indicaria o estado atual. Situação semelhante ocorre com os dois consumidores.

A RdP apresentada na figura 4.6 poderia aparecer como uma representação compacta das várias máquinas de estado interligadas, se não fosse a presença do lugar p3, o armazém.

Na realidade, dado que a transição t2 poderá ser disparada independentemente de t3 ou t5 o terem sido, isto é, poderá ser produzido novo trabalho sem que o anterior tenha sido entregue a um dos consumidores, o lugar p3 poderá acumular várias marcas (um número

indeterminado, na realidade) e este sub-sistema não poderá ser representado por uma máquina de estados finita.

Tal como foi modelado, o sistema não é realizável (fisicamente) dado não poder ser garantido um "armazém" de tamanho infinito para armazenar o trabalho produzido. A inclusão neste modelo de um "armazém" de dimensão finita, por exemplo quatro, seria possível através da introdução de um novo lugar, p8, sendo conduzidos a RdP da figura 4.7. A este novo lugar, p8, interligado a RdP inicial por igual número de arcos que p3, porém de sentido simétrico, denomina-se complementar de p3.

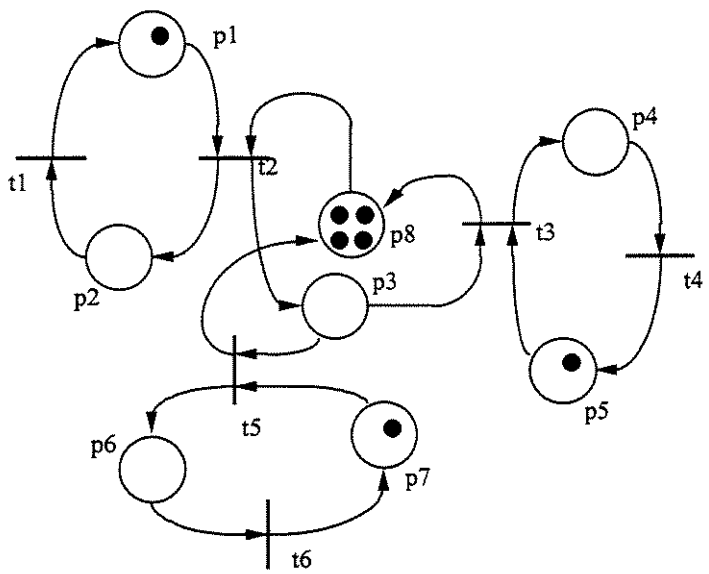


Figura 4.8 - RdP onde o número de marcas em qualquer lugar é limitado.

Considerando o modelo da figura 4.7 e de modo semelhante à situação da figura 4.8, a única transição que está habilitada para disparar é t2. Por cada disparo de t2 será retirada uma marca de p8 e "transferida" para p3, até ao limite de 4 (marcação inicial de p8). Observa-se que o número de marcas se conserva ao longo da evolução da rede, pelo que a rede se diz conservativa. Deste modo, o quarto sub-sistema, constituído por p3 e p8, também poderá ser descrito por uma máquina de estados finita (com 5 estados).

Da breve análise realizada poderemos reter que na RdP final alguns lugares (p1, p2, p4, p5, p6 e p7) poderiam conter 0 ou 1 marca enquanto que outros (p3 e p8) poderiam reter entre 0 e 4 marcas. Os lugares do primeiro grupo são denominados seguros, enquanto os do segundo limitados (ou k-limitado com k=4). Esta caracterização dá indicações sobre algumas restrições a impor à implementação do sistema. Em particular, se o objetivo for o de implementar a RdP através de um sistema digital, então um lugar seguro poderá ser "traduzido" diretamente para uma posição de memória binária, em que o "1" lógico será associado à presença da marca, enquanto que um lugar k-limitado poderá ser convertido num contador de módulo k+1.

Em resumo, o sistema representado numa RdP através de 8 lugares e 6 transições poderá ser visto como correspondendo a quatro máquinas de estados com 2, 2, 2 e 5 estados, respectivamente, que interagem. Uma tentativa de representação unificada do mesmo sistema através de uma única máquina de estado levaria a uma representação com 40 estados potenciais (2x2x2x5)!.

No anexo II são apresentados formalismos matemáticos e exemplos de aplicação utilizando RdP.

4.6 Projeto da Arquitetura de Comando

A escolha de uma arquitetura de comando para um Sistema Automatizado consiste na determinação das componentes que serão utilizadas, e como as diversas tarefas e pré-requisitos funcionais de uma aplicação poderão ser repartidos no conjunto de equipamentos disponíveis. Considerando tanto o aspecto funcional como o aspecto material da parte de comando, a arquitetura de comando de um sistema distribuído é a modelagem segundo três pontos de vista diferentes: Funcional, Material e Operacional [Denis & Meunier, 1997].

4.6.1 Arquitetura Funcional

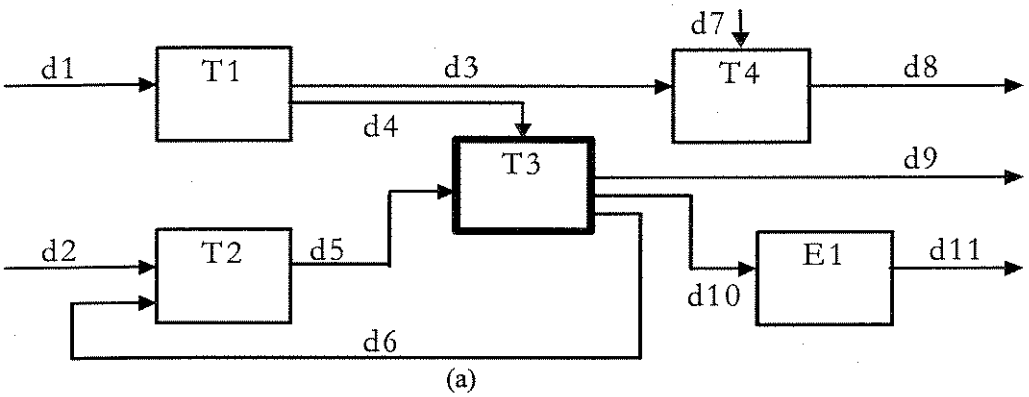
A arquitetura funcional representa o conjunto dos tratamentos de informações proveniente dos pré-requisitos funcionais de controle-comando. Seus modelos são geralmente construídos como se a estrutura física do sistema fosse constituído de um só equipamento, ou seja, não se leva em conta sua distribuição física. Ela deve assegurar as seguintes funções:

- representar todas as funções realizadas pelo programa (software) de comando assim como todos os dados que devem ser estocados, ou circular entre as funções de tratamento;
- precisar quando as funções de controle devem ser ativadas, ou seja, quais são os eventos necessários para a realização de uma função;
- precisar o tempo de vida dos diferentes dados, ou seja, se os dados são consumidos na transferência entre duas funções (função produtora e consumidora), ou se é preciso prever um ponto de estocagem para a perenidade da informação.

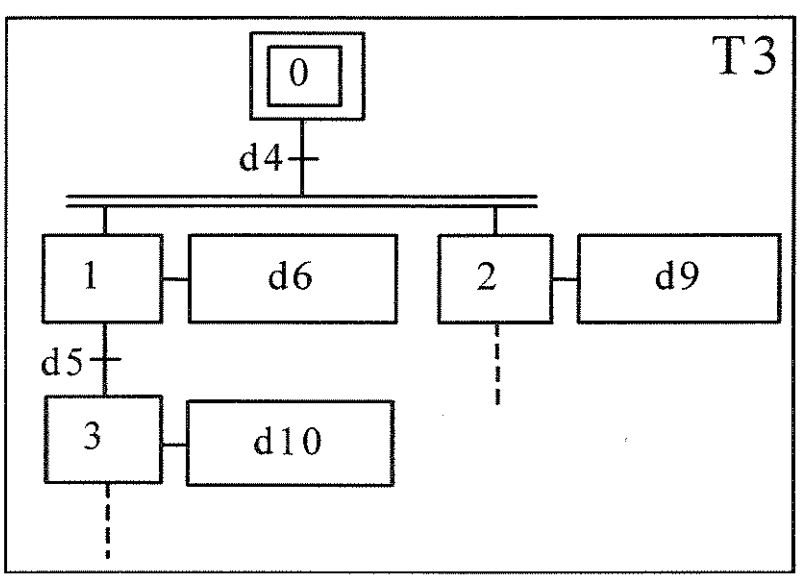
A arquitetura funcional é, portanto, expressa por um conjunto coerente de modelos *funcionais* (que descrevem funções ou tratamentos), *comportamentais* (que descrevem a evolução e ativação das funções) e de *informação* (que descrevem a relação entre os dados). Assim, diferentes métodos podem ser utilizados para descrever integralmente a arquitetura funcional.

Atualmente, opta-se pela abordagem conhecida como *Análise Estruturada* [Gane & Sarson, 1979, DeMarco, 1979], sendo esses três tipos de modelos combinados no sentido da obra de Yourdon (1989). A modelagem da arquitetura funcional de um SAP poderá ser realizada através de diagramas de fluxos de informações e estado e transição.

O diagrama de fluxo de informações (representação funcional) é realizado através do método SADT - *Structured Analysis and Design Technique* , enquanto que o diagrama "estado-transição" (representação comportamental) , através do Grafo de Comando Etapa-Transição, o GRAFCET (*SFC - Sequential Flow Chart*). A figura 4.9 A Figura 1 mostra um exemplo de modelo de arquitetura funcional, utilizando o método SADT (*Structured Analysis and Design Technique).*



(a)



(b)

Figura 4.9 – Modelo Esquemático da Arquitetura Funcional:
(a) fluxo de dados entre funções;
(b) GRAFCET correspondente ao processo T3.

4.6.2 Arquitetura Material

A arquitetura material é mais precisamente uma representação dos meios físicos disponíveis para responder a um problema específico. Estes meios são equipamentos de controle-comando e de informática industrial. A figura 4.10 apresenta um exemplo ilustrativo da arquitetura material de um SAP.

Apesar da diversidade dos equipamentos utilizáveis em um SAP, os diferentes componentes da arquitetura material podem ser agrupados em categorias genéricas:

- processadores (CLP, computadores industriais, postos de supervisão, computadores, etc.);
- interfaces homem-máquina (consoles de comando, terminais de diálogo, sistemas de supervisão, etc.)
- meios de comunicação (ligações ponto-a-ponto, redes, etc.)

Figura 4.10 - Exemplo de arquitetura material.

4.6.3 Arquitetura Operacional

A arquitetura operacional representa a repartição dos tratamentos e dos dados do sistema de comando nos equipamentos disponíveis através da associação das entidades da arquitetura funcional com os componentes da arquitetura material. A Figura 4.11 mostra um exemplo de arquitetura operacional derivado dos exemplos precedentes.

Para cada um dos tratamentos (Ti), determina-se qual processador deve assegurar sua execução. Cada função de estoque de dados (Ei) pode ser especificada ou para um equipamento de tratamento (para sua área de memória), ou para um equipamento específico de armazenamento de dados. Os fluxos de informações circulam entre os diferentes tratamentos e estoques através de um meio de comunicação.

No projeto da arquitetura de comando de um SAP, diversas *arquiteturas operacionais* podem ser implementadas. Cada uma delas apresenta comportamentos distintos, principalmente no que se refere a tempos de resposta do sistema. Assim sendo, o projetista precisa ***validar*** o comportamento dinâmico dos modelos de arquitetura operacional para em seguida poder avaliá-los quanto a seu desempenho temporal e, finalmente, definir a arquitetura de comando para o SAP em questão.

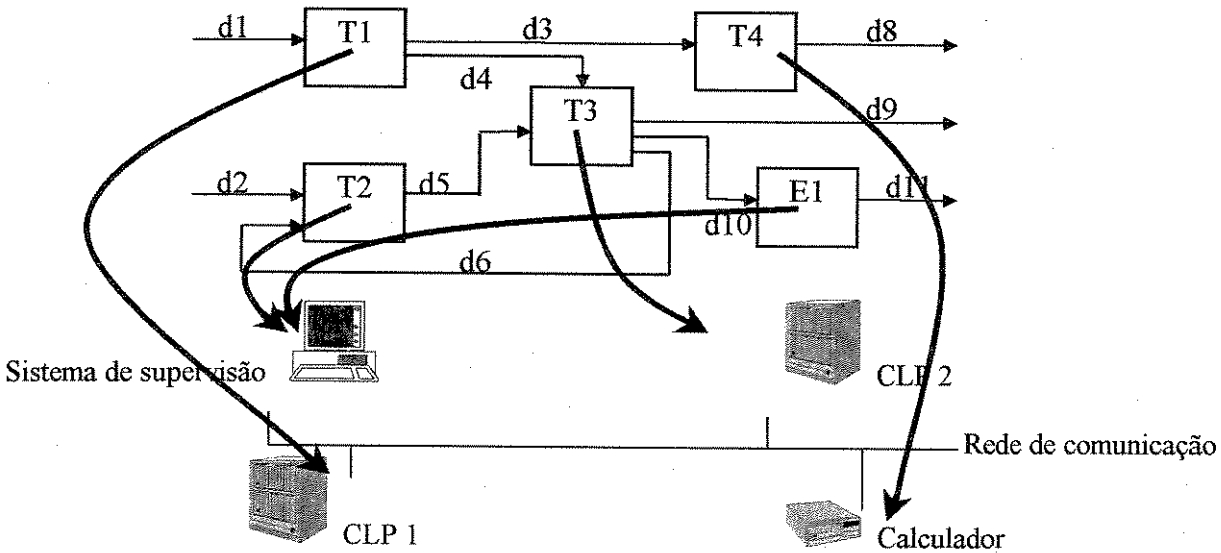


Figura 4.11 - Exemplo de arquitetura operacional.

4.7 Validação do Comportamento temporal através de RdP

Para validar o comportamento temporal das diferentes arquiteturas operacionais deve-se construir um modelo dinâmico através do acoplamento de modelos dos diversos tratamentos e dos diversos componentes [Denis & Meunier, 1997].

Estes modelos devem ser genéricos para poderem ser livremente acoplados entre si, segundo as diferentes arquiteturas propostas.

As *Redes de Petri* (RdP) *Coloridas e Temporizadas* são particularmente adequadas à construção de tal modelo dinâmico. A *coloração* permite criar modelos genéricos, pois uma sub-rede pode ter uma única estrutura (*lugares*, *transições* e *arcos*) independentemente de seu posicionamento na arquitetura: apenas as diferentes cores das marcas (representando, por exemplo, diferentes tipos de dados) indicam seu papel em relação às outras sub-redes. Já a *temporização* é indispensável para descrever o comportamento temporal do modelo dinâmico. A figura 4.12 apresenta as sub-redes modelizando as funções provenientes da arquitetura funcional, as quais são acopladas às sub-redes dos equipamentos.

Para simular e avaliar os modelos de arquitetura operacional, optou-se pelo programa computacional Design/CPN, software mantido pelo grupo CPN da Universidade de Aarhus, Dinamarca. Design/CPN é um editor e simulador de RdP Coloridas e Temporizadas. Além disso, o programa permite a construção de modelos hierárquicos através dos seguintes mecanismos [Maciel , 1996]:

- *transições* podem conter em seu interior sub-redes, o que permite uma modelagem estruturada tipo *top-down* ou *bottom-up*;

- *lugares* de sub-redes diferentes podem ser fundidos entre si como se fossem um só, mesmo estando em regiões diferentes do modelo, o que permite que sub-redes distintas sejam ligadas entre si formando uma rede única.

No aplicativo Design/CPN as *marcas* carregam consigo um selo de tempo, indicando o instante em que chegaram a seu último *lugar*. Por meio destes selos, durante a simulação os tempos dos fluxos de dados podem ser coletados ou mesmo *plotados* para a avaliação de uma arquitetura de comando adequada.

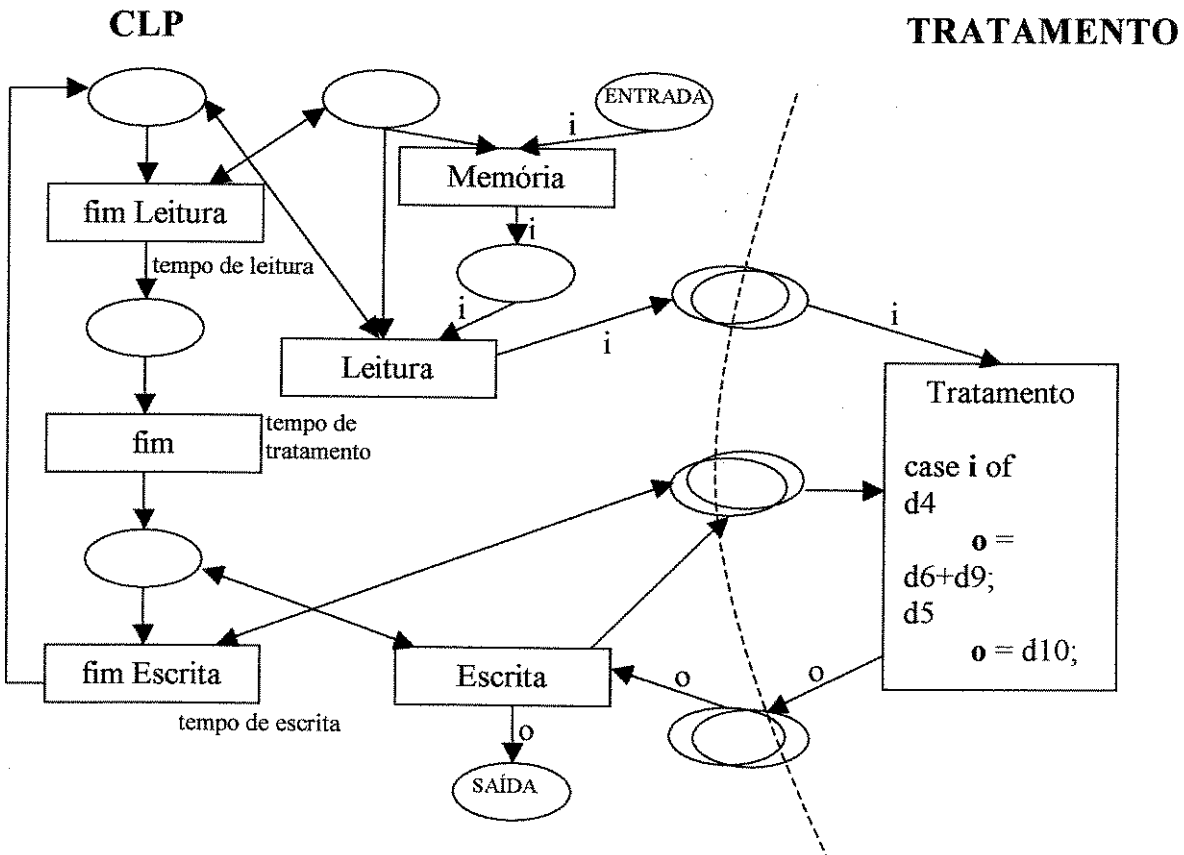


Figura 4.12 - Projeção do modelo de um tratamento sobre o de um CLP.

4.8 Estudo de caso I: Sistema Automatizado de Controle de Acessos

Como exemplo de aplicação desta metodologia, foi utilizada parte de uma Aplicação Domótica - um Sistema Automatizado de Controle de Acessos [Rosário et al, 1996]. Este sistema foi implementado em diferentes acessos do Laboratório de Automação Integrada e Robótica da UNICAMP. Trata-se de uma maquete servindo de suporte experimental para pesquisas na área de Domótica, apresentado na figura 4.13.

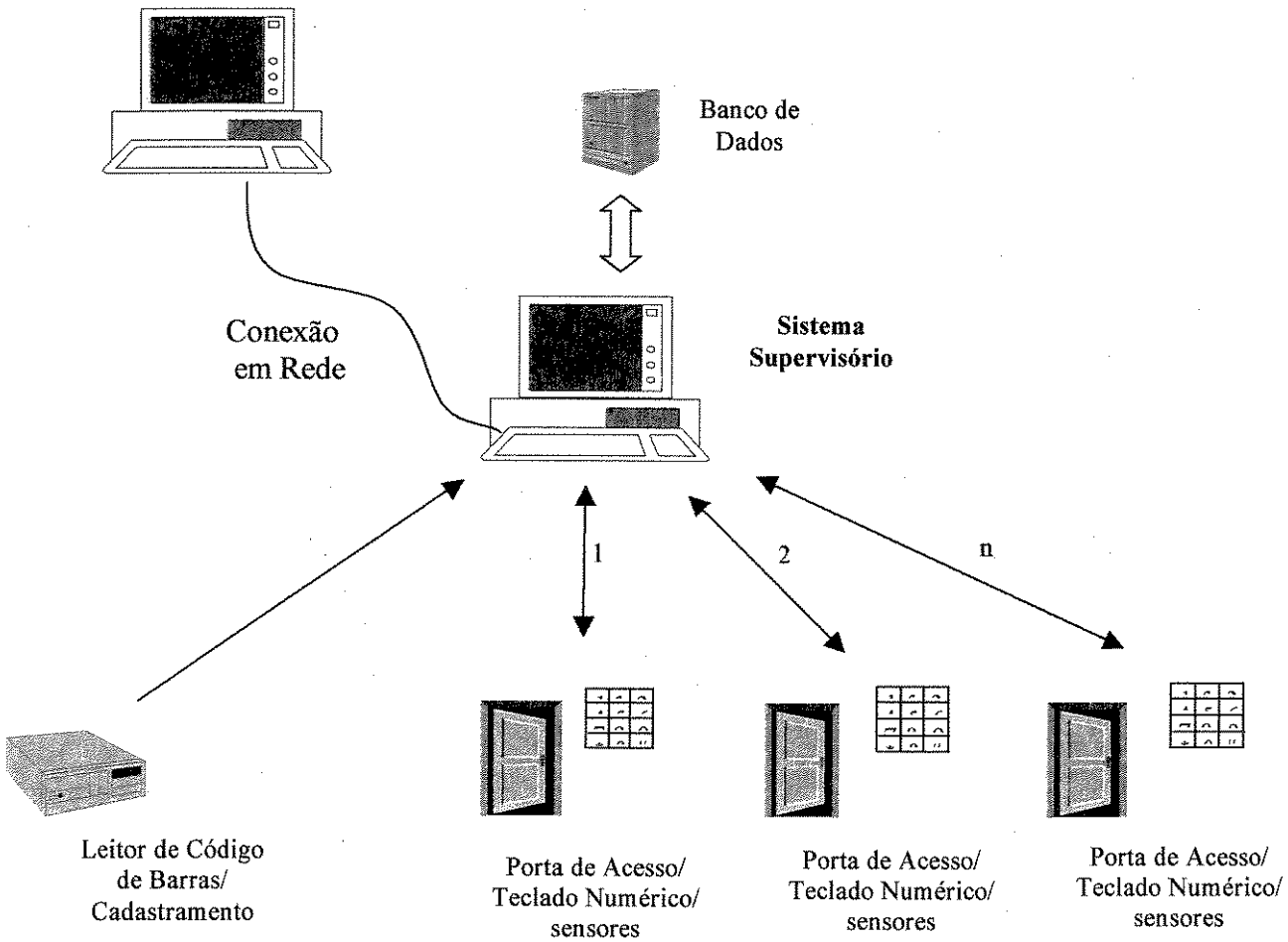
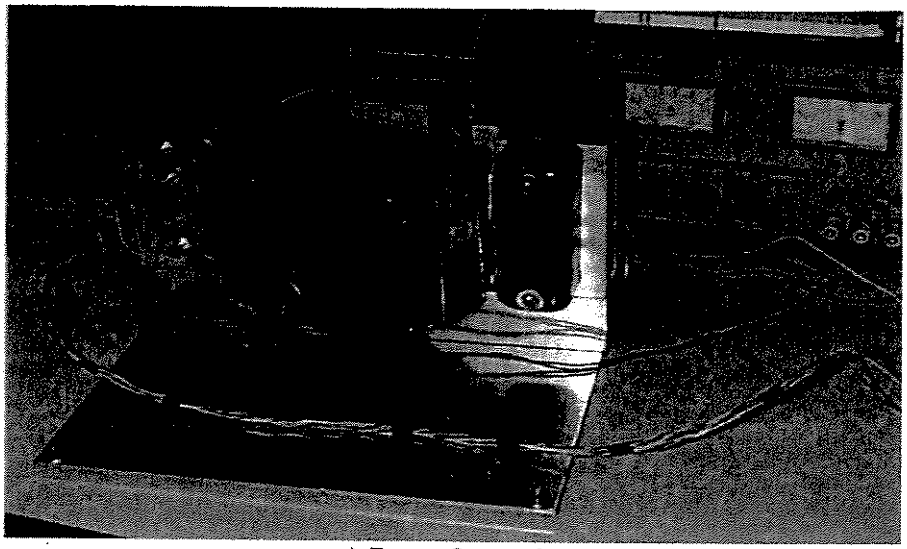


Figura 4.13 - Sistema de Controle de Acessos - Arquitetura Operacional.

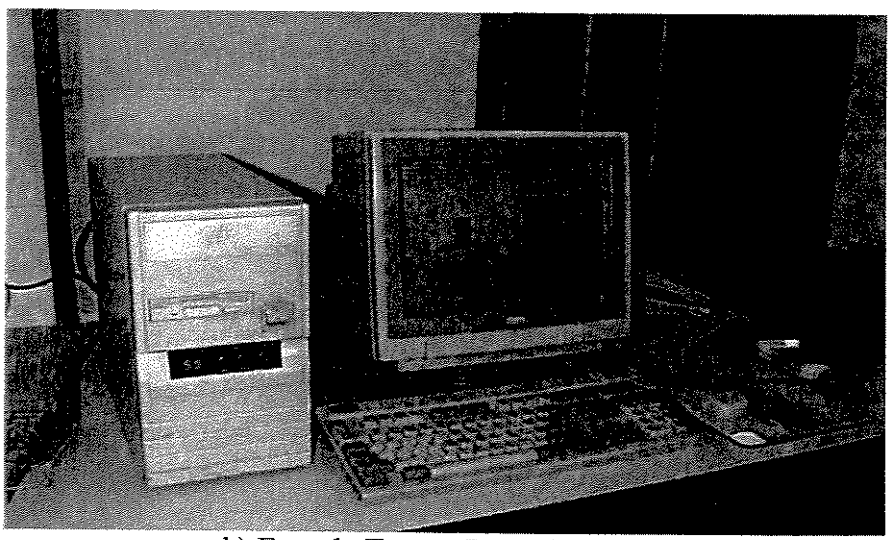
4.8.1 Caderno de Tarefas

Tendo em vista o alto grau de estruturação desse projeto de pesquisa, o mesmo foi desenvolvido através de módulos integráveis. Foram implementadas várias etapas de testes, visando o funcionamento individual e conjunto de cada um dos elementos de nossa aplicação voltada a Domótica.

A Parte Operativa do sistema estudado se constitui basicamente dos seguintes elementos: fechadura com trava magnética, sensor indutivo para verificação se a porta esta aberta ou fechada, led's de sinalização de entrada/saída, alarme (campainha) e leitor de código de barras. A figura 4.14 apresenta a arquitetura operativa utilizada para validação e testes funcionais.



a) Parte Operativa



b) Fase de Testes: Parte Comando

Figura 4.14 - Protótipo desenvolvido

Ainda nesse contexto foram definidos dois modos de funcionamento do sistema proposto inicialmente no estudo:

Modo Normal: a porta abre e fecha independente do sistema supervisório desenvolvido, ou seja, independente da leitura de cartão magnético.

Modo Código de Barras: é exigida a leitura do código de barras e teclado numérico; somente indivíduos com acesso permitido podem passar pela porta, sendo registrada a movimentação.

O sistema de controle de acessos realiza a abertura da porta, após leitura do código afixado no cartão de entrada (código de barras ou etiqueta magnética), o qual especifica a porta de acesso.

- O individuo chega à uma porta de acesso e passa o cartão magnético no leitor de entrada e seu código é lido;
- em seguida em função do código lido, um *led verde* de acesso ou *led vermelho* de advertência é aceso,
- o individuo nesse momento deverá entrar com um código de acesso no teclado existente. A porta de acesso é aberta, tornando possível à entrada do indivíduo;
- *um banco de dados* registra o acesso, habilitando por sua vez o sistema.

4.8.2 Implementação da Arquitetura de Comando

4.8.2.1 Arquitetura funcional

As principais funções de comando do Sistema de Controle de Acessos foram modeladas por meio do método SADT. Um modelo destas funções consiste em (figura 4.15):

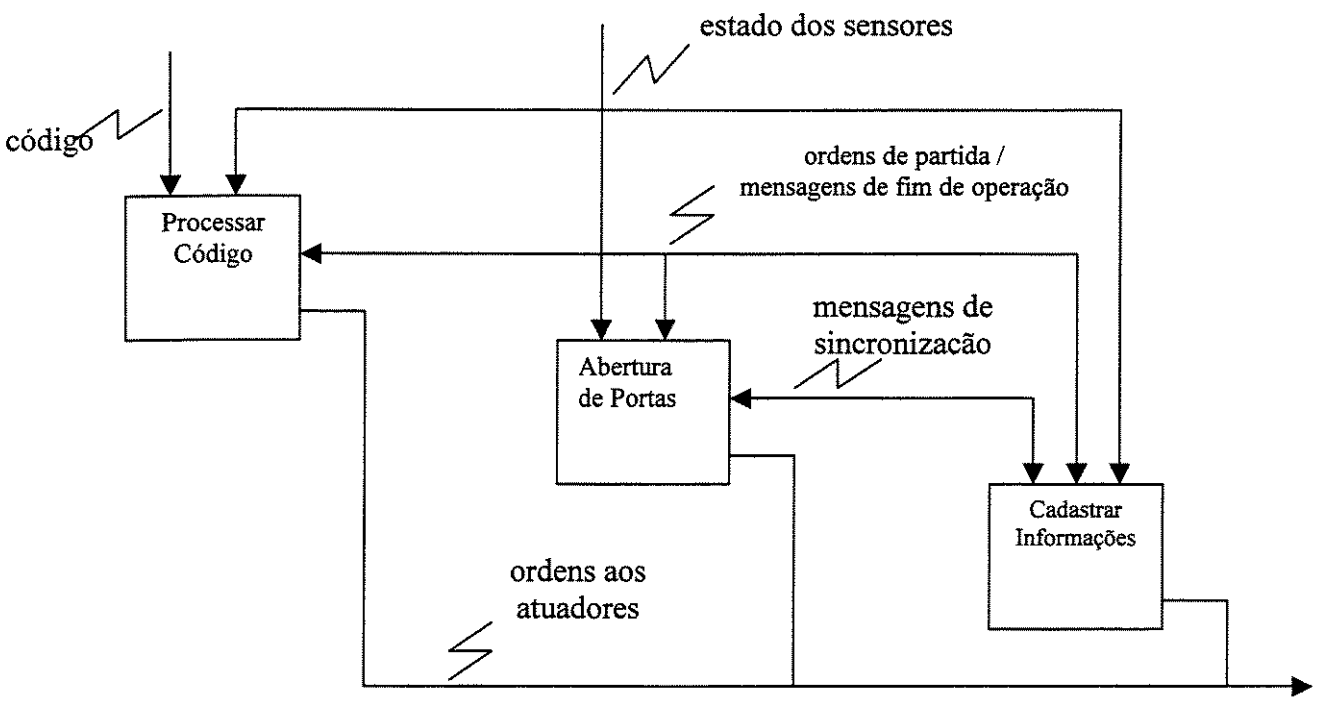


Figura 4.15 - *Actigrama SADT* - Arquitetura funcional do Posto de Montagem Central.

- **"Processar Código":** após identificação do código de acesso e estado dos sensores, transmitir a informação relacionada ao tipo de acesso atribuído a um individuo, às outras funções do comando;
- **"Abertura de Portas":** comandar a operação de abertura de portas, a saber, o recebimento da placa e sua evacuação depois de montado o produto;
- **"Cadastrar Informações"**, armazenamento de informações em banco de dados, referentes ao estado de sensores e variáveis de controle de acesso.

Estas duas últimas funções são interdependentes e trocam entre si mensagens de sincronização que asseguram a coordenação entre o fluxo de pessoas e sensores externos.

O comportamento dessas funções, sobretudo a seqüência dos fluxos de dados entre elas são expressos pelos respectivos GRAFCET Funcional, que descreve o comportamento da Parte Comando em relação a Parte Operativa, e nesse nível, prevê aspectos de segurança para o funcionamento do Sistema, sem depender diretamente da tecnologia empregada. O GRAFCET apresentado na figura 4.16 ilustra as especificações funcionais implementadas nesse protótipo (sistema de abertura/fechamento de uma porta automatizada).

4.8.2.2 Arquitetura Material

Duas configurações de arquitetura material são propostas para executar o comando do Sistema Automatizado de Acessos:

- a primeira consiste em **três CLP's** interligados por rede *UNITELWAY*, cujo protocolo tem controle de acesso do tipo *mestre/escravo*;
- a segunda arquitetura material, por sua vez, em **dois CLP's e um módulo programável** dedicado para leitura/gravação de código de barras ou etiquetas magnéticas, ligados entre si por rede *UNITELWAY*; o módulo programável suporta conexão nesta rede apenas como escravo.

4.8.2.3 Arquitetura Operacional

São os cenários a serem simulados e avaliados, e derivam da projeção das funções sobre as duas arquiteturas materiais propostas anteriormente. A figura 4.16 exemplifica a **"Arquitetura 1"** como sendo:

- função *Processar Leitura de Código* no CLP mestre da rede;
- função *Manipular placa* e *montar cubos* em cada um dos CLP's escravos.

A partir da implementação da especificação funcional do problema em estudo escrita a seguir e utilizada para gerenciamento das entradas e saídas do sistema:

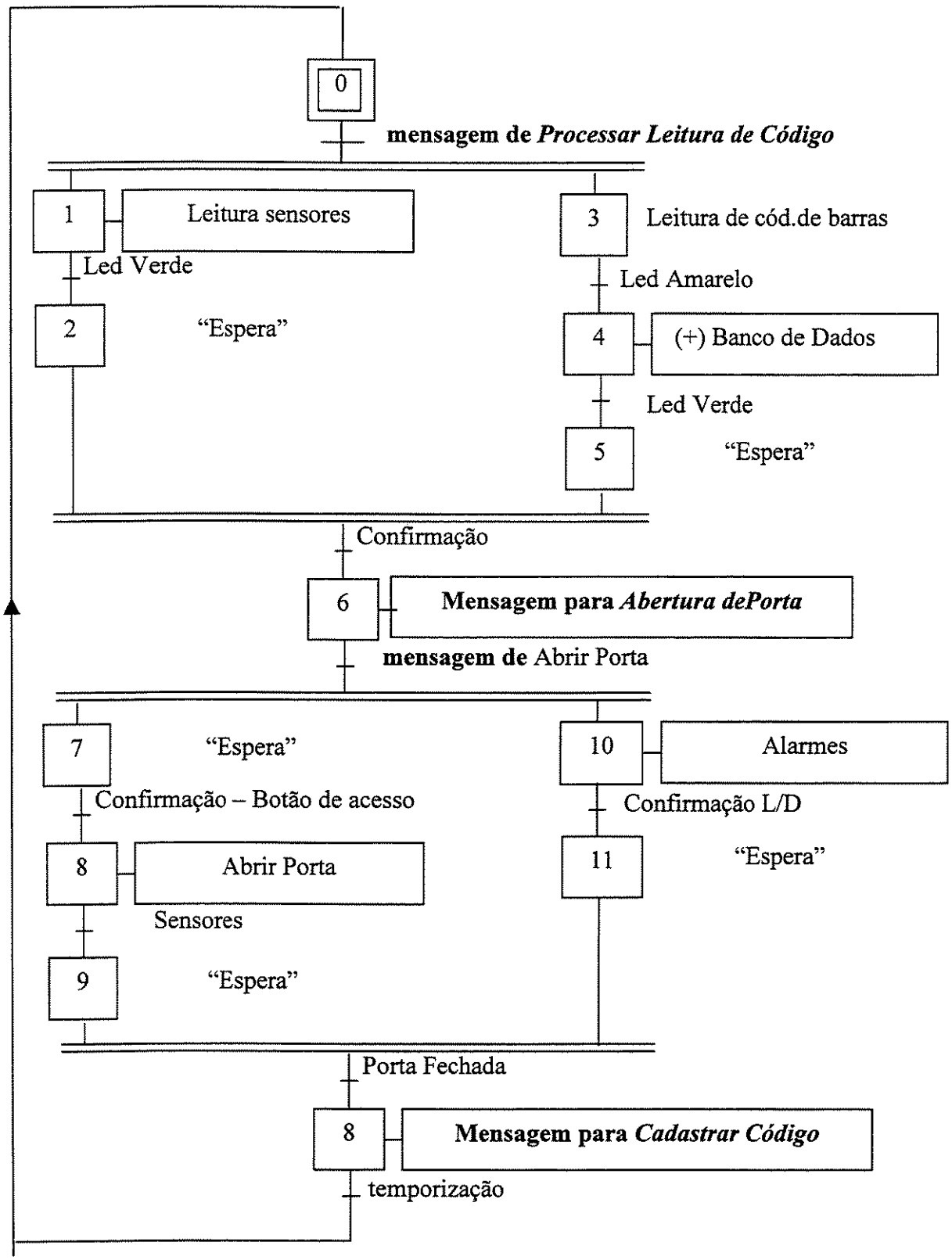


Figura 4.16 - GRAFCET da função: *Processar Leitura de Código*. Arquitetura funcional do Sistema de Controle de Acesso.

4.8.3 Arquitetura de Comando

Como visto no modelo da arquitetura funcional (figura 4.16), entre as funções da parte de comando existem fluxos de dados. Ou seja, há comunicação entre elas por meio de mensagens de ativação e/ou sincronização. Os tempos de resposta a serem coletados durante a simulação são aqueles **entre causa e efeito em duas funções diferentes**. Por exemplo, o tempo entre a identificação do indivíduo ou estado dos sensores (em *Processar Código*) e a ação de abrir a porta (comandada por Abrir *Porta*), estas estando separadas pela emissão e recebimento de uma mensagem.

4.8.4 Simulação e Resultados

Com a adição de algumas linhas de código, Design/CPN também permite plotar em forma de gráficos valores selecionados da RdP. A seguir estão os resultados de um dos tempos de resposta do sistema (figura 4.17).

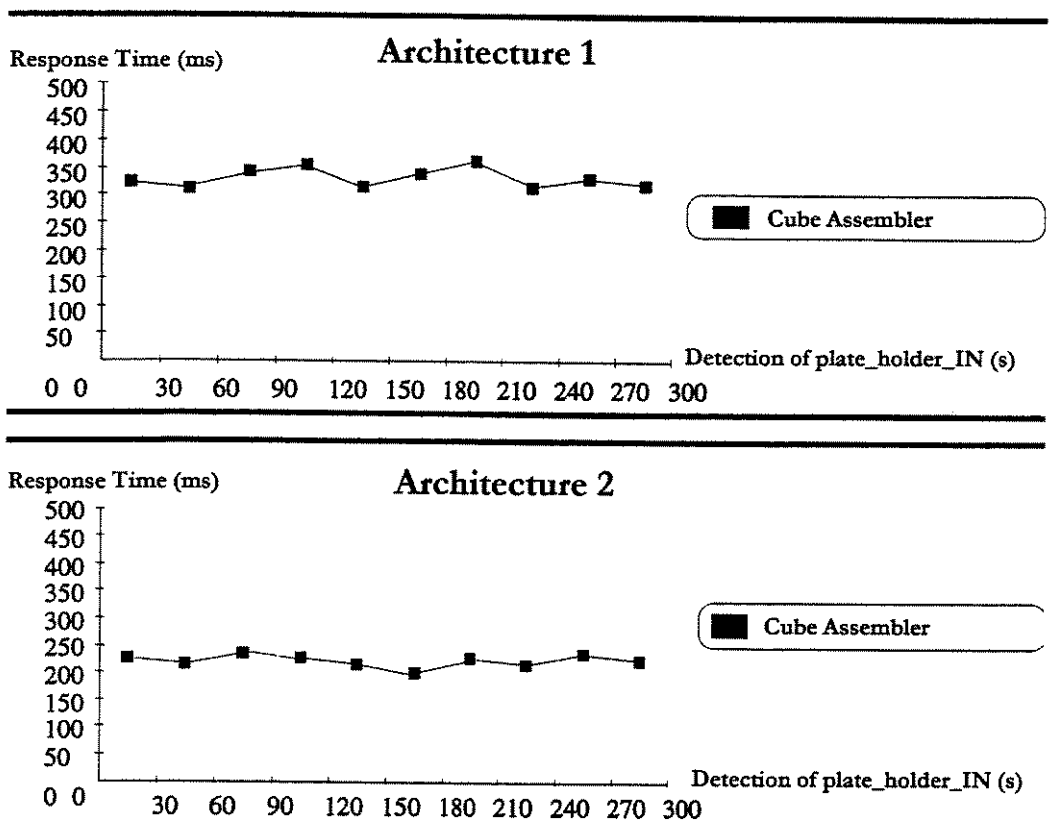


Figura 4.17 – Tempos de resposta para as duas arquiteturas de comando.

A Figura 4.17 mostra, no eixo das ordenadas, o tempo decorrido desde o momento em que se inicia o processo de leitura do código de acesso ou algum sinal de alarme dos sensores até que o alarme ou *Abertura da Porta* seja acionado, passando por uma comunicação entre dois equipamentos distintos. Neste caso, levando em conta o tráfego da informação pela rede e a hierarquia dos componentes no acesso a esta (mestre ou escravo) a Arquitetura 2 oferece um menor tempo de resposta para este parâmetro, de aproximadamente 220 ms, comparados aos 300 ms da Arquitetura 1.

4.9 Estudo de caso II: Sistema de Climatização

Dentro da abordagem de Hospitais Inteligentes, a integração de sistemas é considerada um elemento essencial para a otimização dos serviços de um edifício. Entre os diversos sistemas de um edifício, neste tópico consideraremos a integração do sistema de climatização, cuja importância é evidenciada, entre outras coisas, pela necessidade de manutenção do conforto térmico dos usuários. Neste contexto, a metodologia apresentada tem como principal objetivo, fornecer dados para a análise do ambiente e do sistema de refrigeração considerando estratégias de controle cuja evolução é determinada, entre outras coisas, pela ocorrência de eventos em outros sistemas.

Para atingir o objetivo acima foi introduzida, uma, abordagem híbrida, onde aspectos discretos e contínuos são considerados. Os sistemas híbridos são um tópico de estudo relativamente recente, quando comparado, com os sistemas a eventos discretos ou com os sistemas de variáveis continuas. Existem ainda muitas controvérsias a respeito de definições de conceitos para estes sistemas, a começar da própria definição de sistemas híbridos, e a respeito, da adaptação de conceitos utilizados em sistemas discretos para sistemas contínuos e vice-versa. Um exemplo típico refere-se ao problema encontrado no presente trabalho para a definição do que é uma atividade e o que é uma interatividade em um fluxo continuo de material.

Quanto à modelagem de sistemas híbridos, muitas técnicas já foram propostas. No entanto, estes modelos geralmente são adequados para, a modelagem de uma classe especifica de sistemas. Através dos estudos realizados, conclui-se que para uma ferramenta de modelagem ser aplicável a uma grande gama de tipos de sistemas, ela não deve tentar incorporar em modelos discretos elementos que representem variáveis continuas (como lugares e transições contínuos para as Redes de Petri) ou tentar incorporar em modelos contínuos elementos que representem eventos discretos (como variáveis discretas em equações), mas sim definir uma interface entre os dois modelos de modo a permitir maior flexibilidade de modelagem tanto da parte continua quanto da parte discreta. A rede de Petri Predicado-Transição Diferencial utilizada neste, tópico um exemplo de modelo onde se procurou conservar as características iniciais dos dois modelos: redes de Petri e sistemas de equações diferenciais e algébricas

A metodologia proposta é baseada no detalhamento sucessivo do modelo do sistema, de acordo com uma abordagem hierárquica e modelar, que, em comparação a uma abordagem não hierárquica, apresenta maior facilidade de construção, compreensão e utilização.

4.9.1 Definição das estratégias

Neste tópico focalizou-se a utilização da metodologia para o estudo de caso do do sistema de climatização de um Hospital Inteligente. No entanto, observa-se que um campo, onde a metodologia apresenta grande potencial de aplicação na otimização do consumo de energia, sendo que este também é um dos principais objetivos dos Hospitais e Edifícios e que o ar condicionado está entre os sistemas que apresentam maior consumo de energia dentro de um edifício.

As principais etapas a serem analisadas são apresentadas na figura 4.18, onde o retorno às etapas anteriores é considerado no decorrer da metodologia sempre que necessários.

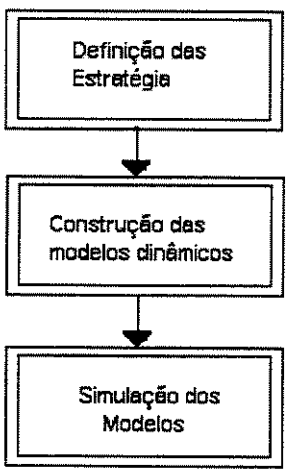


Figura 4.18 - Etapas gerais da metodologia.

As estratégias a serem analisadas deverão ser definidas de forma descritiva contemplando os seguintes aspectos:

- a seqüência de eventos e ações da estratégia;
- sobre quais equipamentos do Hospital ela atua;
- em que condições é realizada;
- em que condições deixa de ser realizada.

Após a definição das estratégias os seguintes aspectos deverão ser analisados:

- Influência da estratégia sobre o ambiente, ou seja, como evoluem as propriedades relacionadas aos resultados das implementações, como temperatura, umidade, movimentação, acesso, etc., uma vez que a estratégia é inserida no sistema de climatização do Hospital.
- Influência da estratégia sobre o seqüenciamento de eventos, os estados dos equipamentos uma vez que a estratégia é inserida no gerenciamento do sistema de climatização do Hospital.
- Influência da estratégia sobre o sistema de gerenciamento, ou seja, como evolui o sistema de gerenciamento do Hospital quando a estratégia é inserida.
- Influência da estratégia sobre sistemas de outros edifícios/hospitais, ou seja, qual o efeito sobre outras atividades hospitalares automatizadas, geradas pela estratégia no sistema de gerenciamento deste Hospital.

A partir dos aspectos a serem analisados define-se a abrangência do modelo a ser desenvolvido: englobando todo o sistema de climatização do Hospital ou alguns setores, se é necessário modelar o ambiente, se é necessário modelar a relação entre as diversas estratégias de controle, quais as propriedades do ambiente a serem modeladas, quais as propriedades dos fluxos de materiais, movimentações a serem modeladas, etc.

Neste tópico não abordaremos a interação do sistema de climatização com outros sistemas, que englobaria a modelagem de outros sistemas relacionados, que não faz parte do escopo apresentado nesse capítulo.

4.9.2 Construção dos Modelos

A modelagem do sistema climatização de um Hospital e das estratégias de controle associadas pode ser realizada paralelamente. A figura 4.18 apresenta as principais atividades desta etapa da metodologia proposta.

4.9.3 Modelagem do Sistema de Gerenciamento

O sistema de gerenciamento a ser modelado pode ser considerado como um SED, pois a evolução do sistema é determinada pela ocorrência de eventos discretos como recebimento de um sinal de uma sala de cirurgia, detecção do estado de um equipamento, etc. A ferramenta utilizada para a modelagem do sistema de gerenciamento é as RdP.

Dentro da abordagem através das RdP, destaca-se a Metodologia PFS/MFG, proposta em [Miyagi, 1988] para modelagem, análise e controle de sistemas. Esta metodologia baseia-se em dois tipos de redes: O PFS (*Production Flow Schema*) e o MFG (*Mark Flow Graph*), que são redes apropriadas para aplicação em diferentes níveis de modelagem, análise e controle SED.

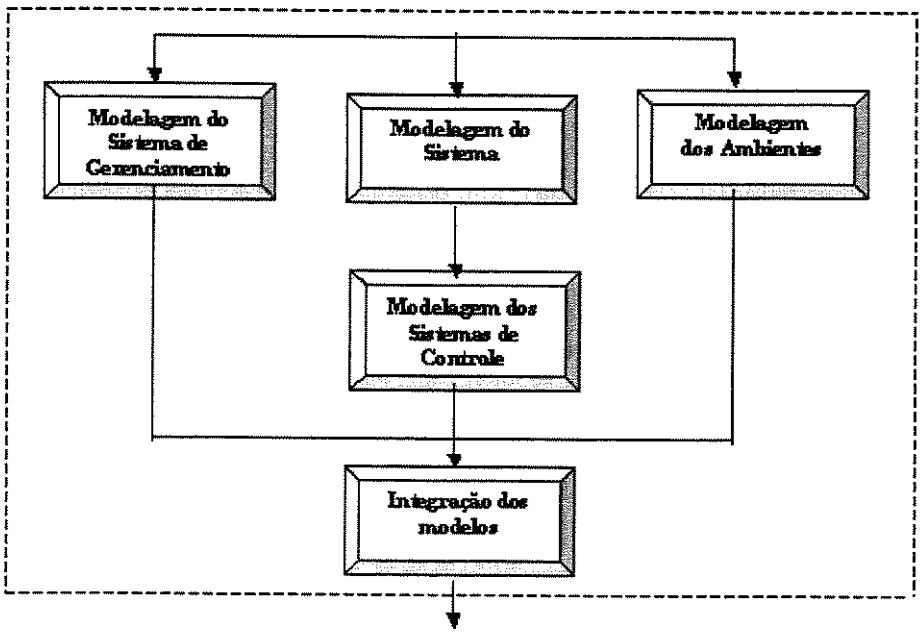


Figura 4.19 - Detalhamento da etapa "Construção de Modelos".

Adota-se uma abordagem hierárquica na qual o sistema modelado em um nível macro, em PFS, é gradativamente refinado, gerando um modelo em MFG, que pode ser definido como uma RdP Condição-Evento interpretada para especificações de controle de sistemas [Matsusaki, 1998]. No modelo resultante, as informações estruturais de todo o sistema e dos detalhes de cada elemento se encontram explicitamente descritas.

Baseando-se nesta metodologia, propõe-se neste trabalho a utilização de uma abordagem semelhante para geração de modelos em RdP do sistema de gerenciamento do sistema de climatização de um Hospital.

4.9.3.1 - O PFS ("Production Flow Schema")

Para construção dos modelos, utilizaremos o PFS [Miyagi, 1988]. O objetivo do PFS é identificar as atividades realizadas sobre o fluxo de itens (informações, procedimentos, materiais,etc.), bem como as relações entre estas atividades, em um nível de abstração relativamente alto. Ele é composto pelos seguintes elementos (figura 4.20):

1. **Atividades** – capazes de realizar ações e modificações nos itens.
2. **Interatividades** – não realizam transformações, mas são capazes de armazenar e distribuir os itens. Entre duas atividades deve sempre existir um elemento inter-atividade.
3. **Arcos direcionados** – representam as relações entre as atividades e as inter-atividades.

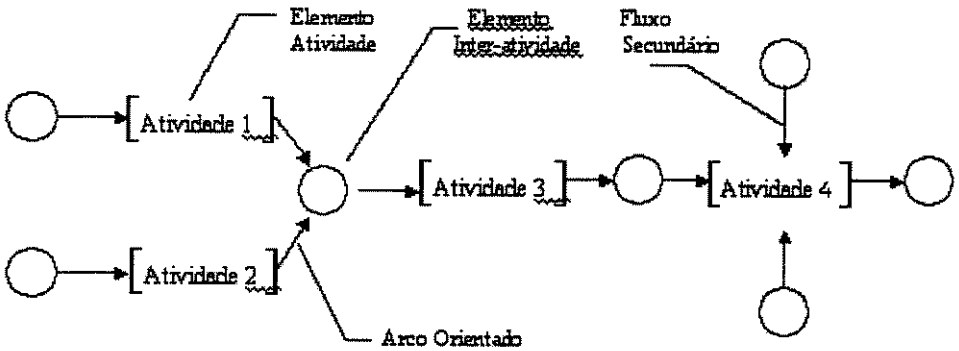


Figura 4.20 - Elementos do PFS.

Em um mesmo PFS pode ser representado mais de um fluxo. Observa-se, ainda, que no PFS, distintamente das RdP, não existe o conceito de marcação ou marcas, isto é, não existe a representação explícita da evolução dinâmica.

4.9.3.2 – Rede dePetri utilizada

A partir do PFS deve ser gerado um modelo em RdP. A RdP utilizada no presente trabalho é baseada nas RdP Lugar-Transição, à qual foram adicionados *arcos habilitadores e inibidores, e transições temporizadas* [David & Allá, 1992]. Esta rede é composta pelos seguintes elementos:

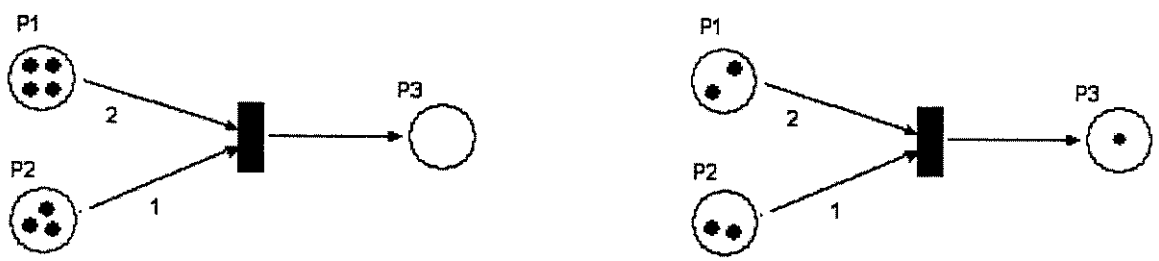
- P={P1,P2,P3,...,Pm} é um conjunto finito ($m \in N^{*2}$) de *lugares* de rede;
- T={T1,T2,T3,...,Tn} é um conjunto finito ($m \in N^{*2}$) de *transições* da rede;
- $F \subseteq \{P \times T\} \cup \{T \times P\}$ é o conjunto de *arcos direcionados*;
- $I \subseteq \{P \times T\}$ é o conjunto de *arcos inibidores*;
- $H \subseteq \{P \times T\}$ é o conjunto de *arcos habilitadores*;
- $W : \{F, I, H\} \rightarrow N^*$ é uma função peso associada aos *arcos*;
- Tm = {Tm1, Tm2,..., Tmn} conjunto de tempos associados às *transições*;
- M0 é a *marcação* inicial da rede

Observa-se que:

- a omissão do tempo associado à transição indica tempo nulo;
- a omissão de peso associado aos arcos indica peso unitário

Os diversos estados do sistema são representados através da associação de um número de *marcas* a cada lugar. Diferentes marcações da rede correspondem a diferentes estados do sistema.

A evolução dinâmica da rede ocorre através do disparo de transições que alteram a marcação da rede. Quando uma *transição* dispara os *lugares* de entrada e saída da *transição* tem sua marcação reduzida e aumentada, respectivamente, do peso do *arco* que conecta o *lugar* a *transição* (figura 4.21).



a) Antes do Disparo b) Após o Disparo

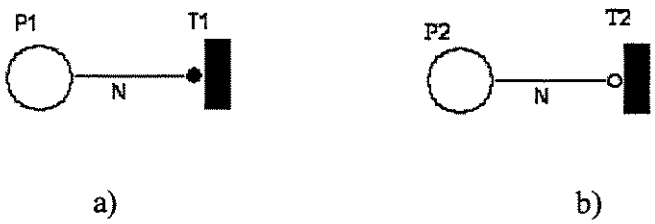
Figura 4.21 - Exemplo de Disparo de Transição.

Uma transição está habilitada para disparo quando:

- os *lugares* de entrada possuem um número de *marcas* igual ou superior ao peso do *arco* que o conecta a *transição*;
- os *lugares* de saída possuem um número de *marcas* igual ou inferior a capacidade do *lugar* subtraída do peso do arco que o conecta a *transição*;
- os arcos habilitadores e inibidores conectados à transição se encontram habilitados;
- sendo θ o tempo associado a esta transição, ela está habilitada se todas as condições para seu disparo permanecem satisfeitas por um tempo igual ou superior a θ.

A associação de pesos a arcos habilitadores e inibidores obedece as seguintes regras (figura 4.22);

- a transição T1 é habilitada se P1 contém N ou mais marcas;
- a transição T2 é habilitada se P2 contém menos de N marcas



a) b)

Figura 4.22 - Utilização de arcos habilitadores (a) e inibidores (b) com pesos.

4.9.3.3 – Refinamento do PFS

O refinamento do PFS é realizado substituindo-se atividades e interatividades por uma nova rede PFS mais detalhada, por uma rede híbrida PFS/RdP com elementos de ambos os tipos de rede, ou por uma RdP.

No detalhamento de uma atividade deve-se considerar que:

- o início de uma atividade representa um evento que pode ser representado como uma transição ou como o início de uma atividade;
- o fim de uma atividade representa um evento que pode ser representado como uma transição ou como o fim de uma atividade;
- entre duas atividades ou entre uma atividade e uma transição deve existir um elemento interatividade ou um lugar.

No detalhamento de um elemento interatividade (figura 4.23) deve-se considerar que:

- o início e o fim de um elemento interatividade são estados representados na forma de elementos interatividades ou de lugares;
- entre dois elementos interatividades ou entre um elemento interatividade eu lugar deve sempre existir uma atividade ou uma transição;

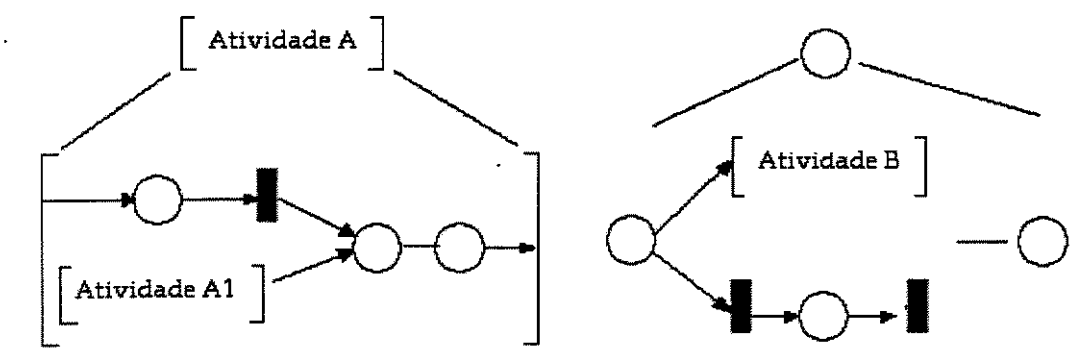


Figura 4.23 - Exemplos de refinamento de atividade e interatividade.

4.9.3.4 - O Modelo do Sistema de Gerenciamento

O modelo do sistema de gerenciamento é decomposto em duas partes. A primeira é formada pelas diversas estratégias de controle. Estas estratégias podem ser específicas para cada zona, como por exemplo: "estratégia em caso de urgência na sala de operações". "estratégia de prioridades", etc., ou podem ainda envolver todo o Hospital, como por exemplo: "manutenção de equipamentos".

A segunda parte do sistema de gerenciamento é formada pelo conjunto das operações que são realizadas sobre o sistema de climatização do Hospital. Exemplos são: "ligar a bomba", "Liberar aquecimento", "liberar materiais", etc. Através destas operações é realizados a interface com os atuadores, que são equipamentos dos diversos sistemas das automações e com sistemas de controles locais.

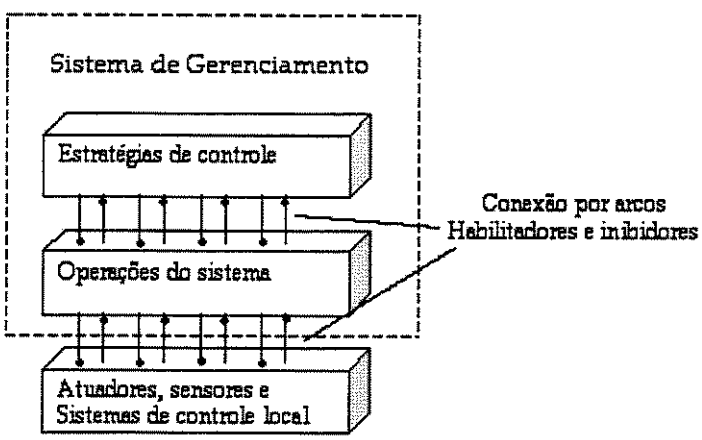


Figura 4.24 - Sistema de Gerenciamento.

Quando as diversas estratégias são executadas, estas são responsáveis por realizar as operações dos diversos sistemas automatizados. A interface entre as estratégias e as operações e entre as operações e os objetos de controle são realizadas através de arcos *habilitadores* e *inibidores*, quando considerarmos modelos de RdP. O diagrama apresentado na figura 4.24 representa a estrutura do sistema de gerenciamento descrito.

4.9.4 Modelagem do Sistema de Climatização

O sistema de climatização do Hospital deve ser considerado um sistema híbrido. Assim, a partir da análise das técnicas de modelagem de sistemas híbridos, selecionou-se como ferramenta para modelagem deste sistema proposto, as RdP Predicado Transição Diferenciais (redes PTD), definida anteriormente.

Para a construção do modelo híbrido propõe-se também, no presente trabalho, a extensão do PFS, inicialmente definido apenas para SED, para utilização em sistemas contínuos e híbridos onde haja interesse de eventos discretos e de fluxos contínuos através do sistema.

4.9.4.1 Utilização do PFS para Sistemas Contínuos e Híbridos

Para a construção do PFS para sistemas contínuos considera-se o fluxo contínuo como um fluxo discreto de pacotes infinitamente pequenos. Assim, uma *atividade* pode ser definida como a realização de uma transformação nestes pacotes. No caso de modelagem de fluxos contínuos define-se, para cada caso, quais as principais propriedades a serem modeladas. Define-se, então, como atividade, qualquer modificação realizada pelo sistema sobre estas propriedades do processo.

O PFS contínuo é construído a partir da estrutura do sistema, onde o sentido dos arcos indica o sentido do fluxo contínuo. Assim as *atividades* do PFS podem representar graficamente a funcionalidade do sistema.

Considera-se ainda que os elementos interatividades também representam o tempo entre as *atividades* consecutivas, ou seja, o tempo transcorrido entre uma variação nas propriedades na saída de uma *atividade* e a correspondente variação na entrada da *atividade* seguinte. Observa-se que, em sistemas contínuos, o elemento interatividade pode ser utilizado para representar um elemento *distribuidor* ou *armazenador* apenas se as propriedades do fluxo a serem modelados não se modificarem, ao contrário do que ocorre, por exemplo quando a vazão está entre estas propriedades. Neste caso armazenar ou distribuir torna-se uma atividade, uma vez que existe modificação da propriedade de vazão do fluxo (figura 4.25).

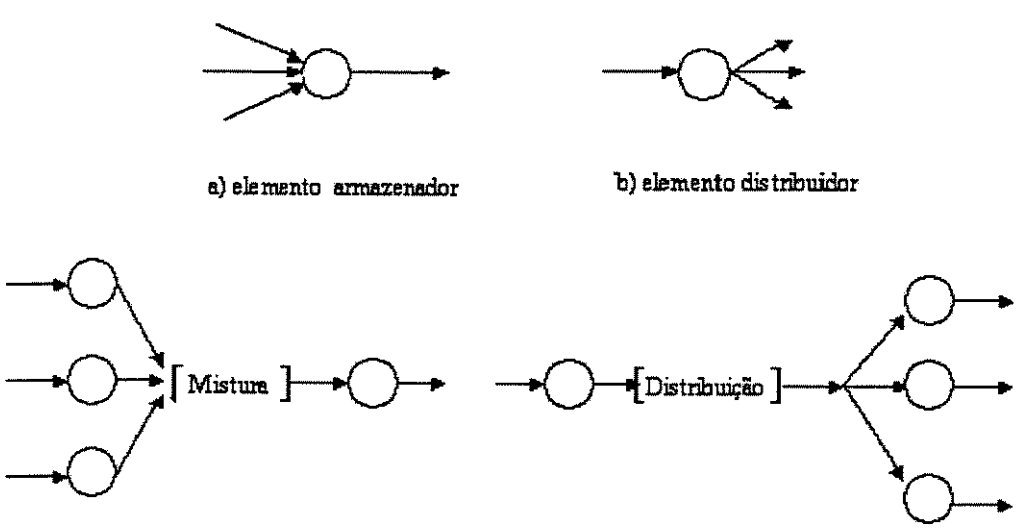


Figura 4.25 - Utilização de elemento interatividade.

Um sistema de aquecimento composto por um aquecedor e três serpentinas onde a água aquecida atravessa as serpentinas, que por sua vez cede calor ao ambiente (figura 4.26), onde as variáveis a serem modeladas utilizando o PFS são o controle de temperatura e fluxo de vazão.

Podemos observar que as perdas ao longo da tubulação representam modificações nas propriedades do fluxo e, portanto, são associadas às *atividades*.

4.9.4.2 O refinamento do PFS para Sistemas Contínuos

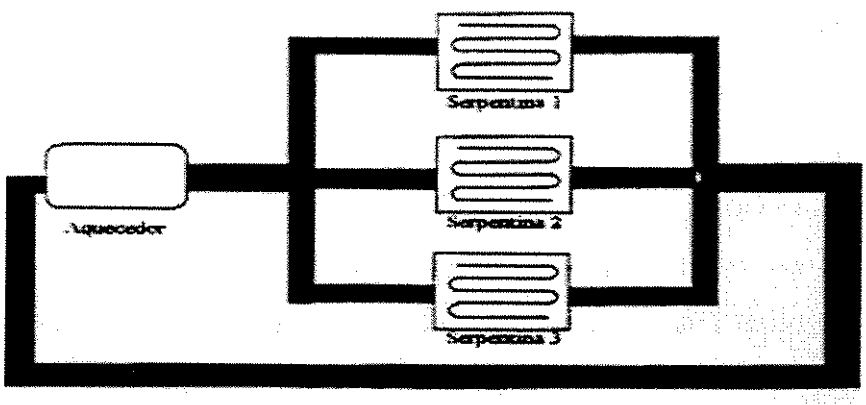


Figura 4.26: Exemplo de Sistema

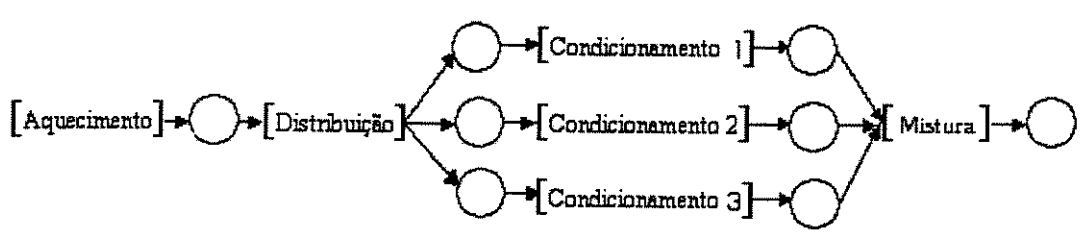


Figura 4.27 – Sistema de Aquecimento e PFS correspondente.

4.9.4.3 Redes de Petri Predicado-Transição Diferenciais

As redes PTD combinam as Redes de Petri Predicado/Transição [Genrich, 1987] com equações diferenciais algébricas.
Esta rede é definida como uma 9-úpla = {P, T, F, X, S, Hc, J, Mo, Vo}, onde:

- P = {P1, P2, P3,...,Pm} é um conjunto finito (m $\in$ N*) de lugares de rede;
- T = {T1, T2, T3,...,Tn} é um conjunto finito (m $\in$ N*) de transiçõoes da rede;
- F $\subseteq$ {P xT} U {T xP} é o conjunto de arcos direcionados;
- X = {x1,x2,x3,...,xi}, onde xi $\in$ R, é o vetor de variáveis contínuas associados à rede;
- S = {S1, S2, S3,...,Sm} é o conjunto de sistemas de equações diferenciais associadas aos lugares;
- Hc = {Hc1, Hc2, Hc3,..., Hcn} é o conjunto de expressões booleanas associadas as funções de habilitação das transições;
- J = {J1, J2, J3,...,Jn} é o conjunto de funções de junção associadas às transições;
- Mo é a marcação inicial da rede
- Xo é o valor inicial das variáveis pertencentes a X.

A modelagem em redes PTD é baseada em módulos onde cada módulo equivale a uma máquina de estado finito, representada por uma Rede de Petri. A combinação de todas as máquinas de estado resultam no modelo do sistema.

Cada atividade do PFS pode então ser detalhada em uma rede PTD onde os sistemas de equações associados aos lugares representam as transformações realizadas sobre o fluxo nas diferentes configurações do sistema.

Para ilustrar a utilização das redes PTD no detalhamento do PFS apresenta-se um possível modelo relacionado à atividade [Aquecimento] da Figura 4.27 Esta atividade pode ser representada por sistemas de equações diferenciais e algébricas, relacionados ao estado do aquecedor.

Considerando que o aquecedor pode assumir 3 estados discretos (desligado, ligado na potência 1 e ligado na potência 2), tem-se o seguinte modelo em rede PTD para a atividade [Aquecimento]:

onde Taquecimento = temperatura na saída do aquecedor;

Vaquecimento = vazão de água na saída do aquecedor;

Tentrada = temperatura na entrada do aquecedor;

Ventrada = vazão de água na entrada do aquecedor;

Função1 e função2 = equações algébricas diferenciais.

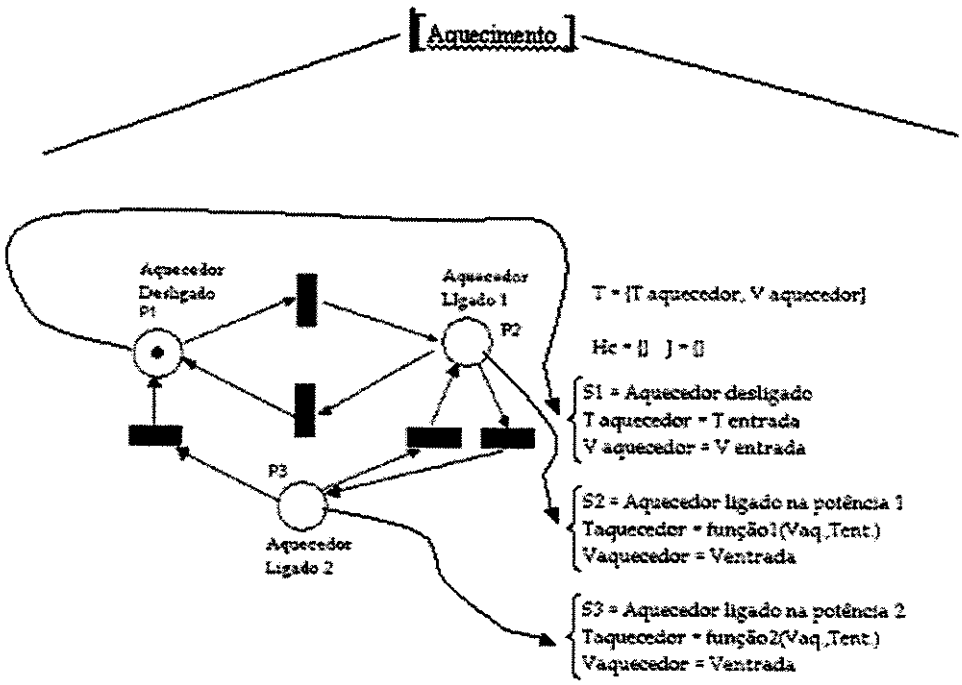


Figura 4.28: Modelo em rede PTD da atividade [Aqueciemnto]

As funções de habilitação são utilizadas para habilitar ou desabilitar transições em função dos valores das variáveis.

As funções de junção são utilizadas para possibilitar saltos discretos nas variáveis contínuas após o disparo de uma transição. Na omissão das funções de junção, o valor das variáveis não é modificado quando ocorre um disparo.

4.9.5 Modelagem do Sistema de Controle Local

Uma vez modelado o sistema do Hospital Inteligente, o passo seguinte refere-se a modelagem do sistema de controle local.

O sistema de controle local é dividido em duas partes: aquela formada por controladores, por exemplo do tipo P, PL, PID, e aquela formada por processadores responsáveis por transformar informações provenientes de sensores sobre os valores das variáveis contínuas em sinais de habilitação e inibição de transições do sistema de gerenciamento.

O sistema de controle local também é modelado através de redes PTD.
Como exemplo apresenta-se a modelagem de um controlador PID. Este controlador pode assumir dois estados discretos: ligado ou desligado. Tem-se, então, o seguinte modelo em rede PTD (Figura. 4.29).

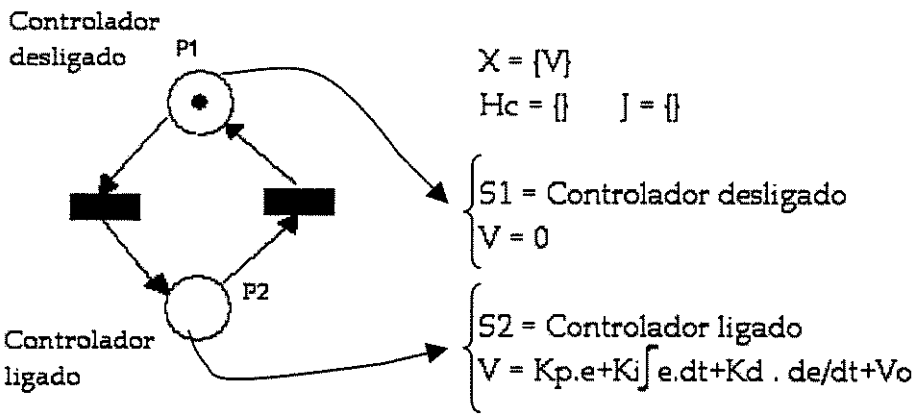


Figura 4.29. Modelo em rede PTD de um controlador PID.

A conexão do controlador com o modelo do sistema de automação do Hospital é realizado a partir do erro (e) que é calculado através da variável do sistema de automação a ser controlada e da variável V que é o sinal de controle enviado ao sistema de ar condicionado.

A segunda parte do sistema de controle local é exemplificada na Figura 4.29., onde têm-se uma rede responsável por habilitar ou inibir uma transição de acordo com o valor da temperatura na entrada do aquecedor:

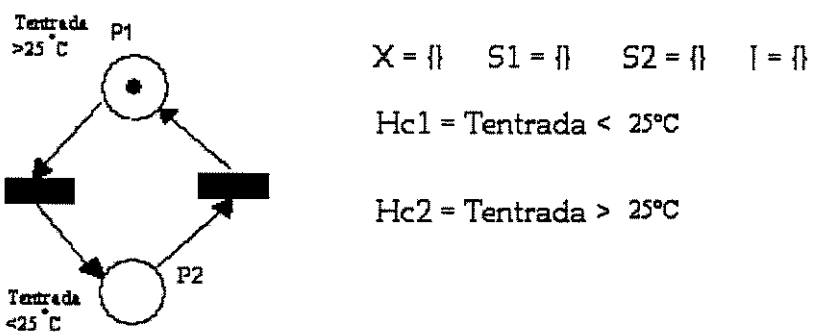


Figura 4.30:. Modelo em rede PTD de um processador de sinais contínuos

4.9.6. Modelagem do Ambiente Interno

A modelagem do ambiente é dividida em duas partes. A primeira, modelada na forma de RdP, representa a ocorrência de eventos discretos no ambiente. A segunda, na forma de equações algébricas diferenciais, representa a evolução no tempo das propriedades de interesse do ambiente interno.

Um exemplo de modelagem dos eventos discretos que interferem na carga térmica do ambiente é apresentado na Figura 4.31.

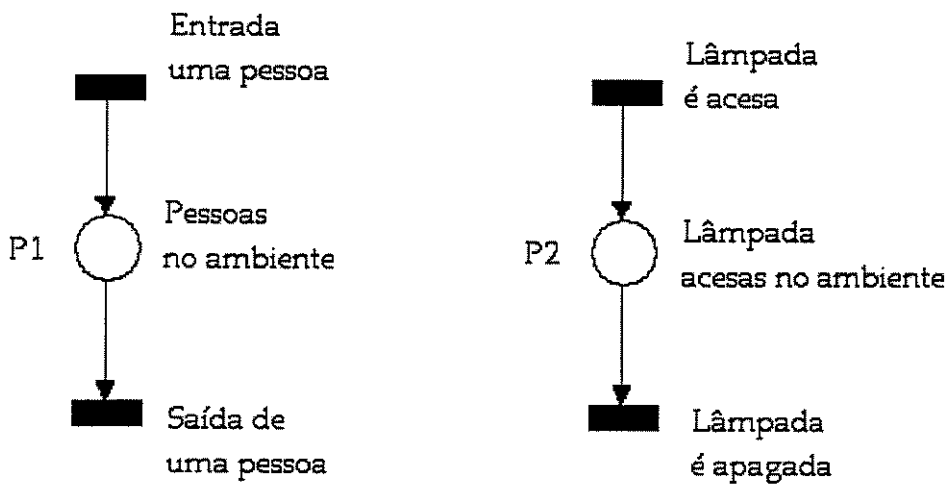


Figura 4.31. Modelagem de eventos discretos no ambiente

A variação das propriedades do ambiente em função da carga térmica recebida é modelada através de equações diferenciais onde tem-se como parâmetro a marcação dos lugares da rede da Figura. 4.31. e variáveis do modelo do sistema de ar condicionado.

4.9.10. Integração de Modelos

A integração entre o modelo do sistema de gerenciamento e o modelo da automação hospitalar e do sistema de controle local é realizado através de arcos habilitadores e inibidores.

A integração do sistema de automação hospitalar com o ambiente é realizada através de variáveis contínuas que influenciam no cálculo da carga térmica inserida/retirada do ambiente pelo sistema de ar condicionado. A Figura 4.32 ., apresenta um esquema geral do modelo resultante através da aplicação da metodologia.

- O objeto de controle é representado por equações dos diversos sistemas e das redes PTB dos blocos "instalações do sistema de Ar Condicionado" e "Ambiente Interno i".
- Os "Dispositivos de Detecção" são representados por equações de diversos sistemas e das redes PTD dos blocos "Instalação do Sistema de Ar Condicionado" e "Ambiente Interno".
- Os "Dispositivos de Atuação" são representados pela estrutura em RdP das redes PTD;
- Os "Dispositivos de Realização do Controle" são representados pelo "BMS", pelo "Sistema de Gerenciamento" e pelo "Sistema de Controle Local".

- Não são representados de forma explicita a interface com o usuário/operador, pois se considera que o sistema de automação hospitalar opera sem necessidade de interferências.

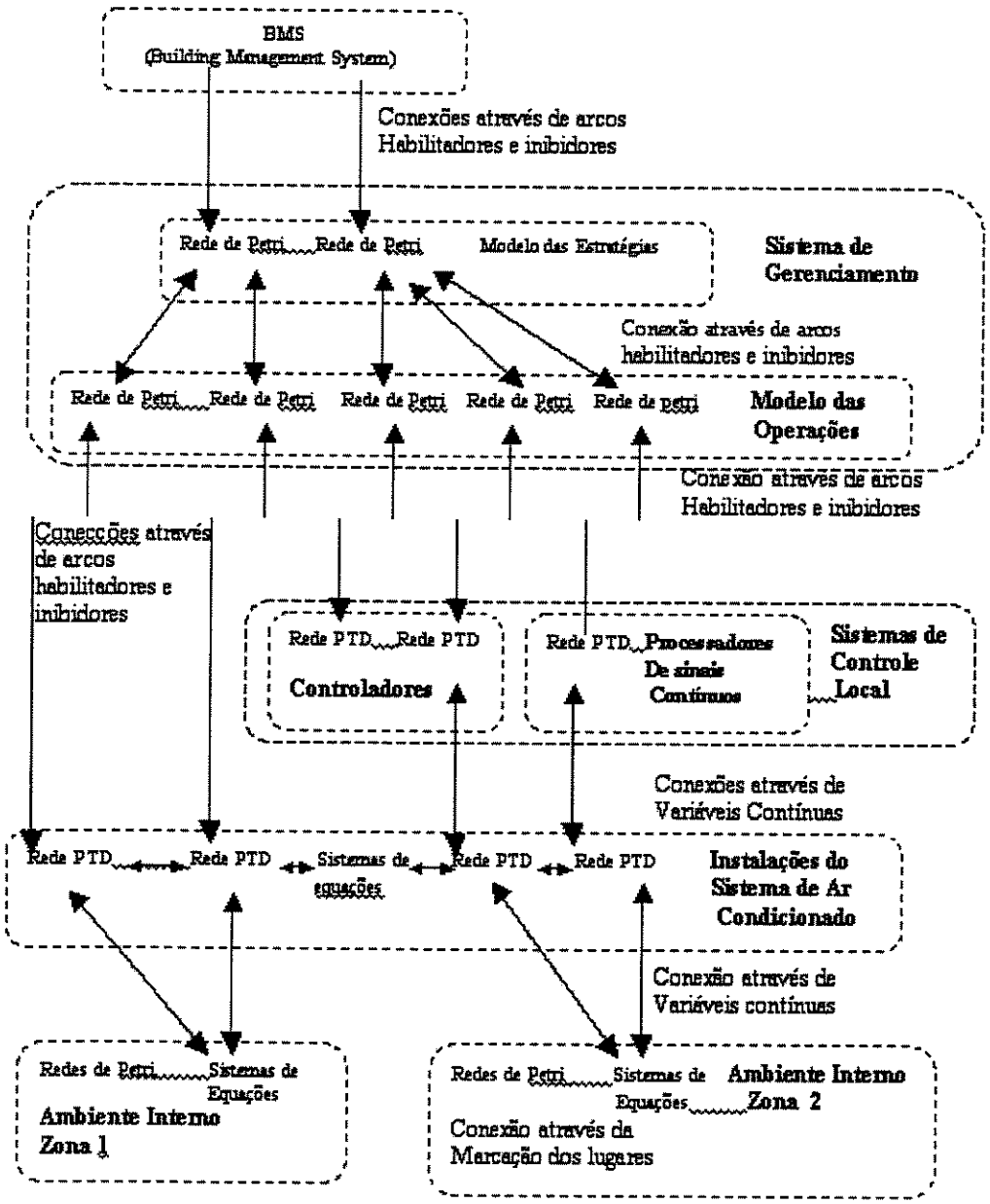


Figura 4.32. Estrutura do modelo resultante

4.10 Simulação dos Modelos

A simulação do modelo é dividida em três partes: discreta, contínua e híbrida.

4.10.1 Simulação Discreta

Uma vez construído o modelo, elimina-se deste a parte referente às equações algébricas diferenciais. O modelo é constituído apenas de RdP e engloba o modelo completo do sistema de gerenciamento, a parte do modelo do sistema de controle local referente aos estados discretos dos controladores e aos estados de processadores responsáveis pela habilitação/inibição de transições, e a parte do modelo do sistema de ar condicionado referente ao estado dos equipamentos do sistema de refrigeração do hospital.

A simulação pode ser realizada em softwares para simulação de RdP que comportem RdP Lugar/Transição com arcos habilitadores e inibidores. Em [Storrle, 1998] é apresentada uma análise dos principais softwares de simulação disponíveis atualmente, apresentando suas características, restrições e qualidades.

A partir da simulação do modelo em RdP é possível confirmar o funcionamento lógico do sistema e detectar se o modelo construído alcança estados não desejáveis do sistema, como, por exemplo, uma zona sendo aquecida e resfriada, simultaneamente, um "chiller" em funcionamento com a respectiva válvula que permite o fluxo através do "chiller" fechado, etc.

4.10.2 Simulação Contínua

Esta etapa consiste em, a partir do modelo construído, adotar-se algumas configurações para os estados discretos das redes PTD e com base nisto, simular numericamente as equações resultantes. O modelo resultante engloba uma série de sistemas de equações que representam o sistema de ar condicionado, os controladores dos sistemas de controle local e o ambiente.

O objetivo desta etapa é verificar e confirmar o conjunto de equações adotadas apresenta um comportamento adequado para algumas situações pré-determinadas.

4.10.2 Simulação Híbrida

As simulações do modelo globais dos sistemas implicarão no acoplamento de dois simuladores: o primeiro de RdP e o segundo de equações diferenciais. Assim, os simuladores evoluem de forma intercalada sendo sincronizados pelos eventos. Observa-se que não se trata de executar dois simuladores paralelamente, mas sim executar um simulador até a ocorrência de um evento e, então, trocar-se de simulador. A Figura 4.33, apresenta as principais etapas do procedimento de simulação.

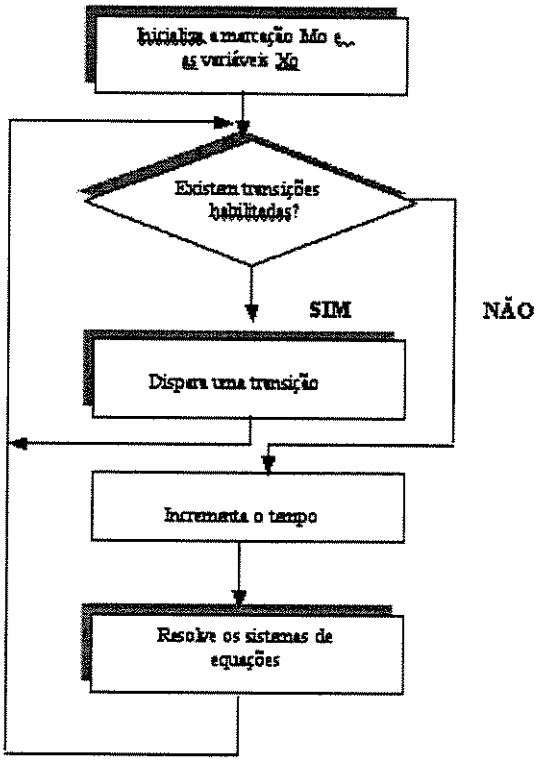


Figura 4.33. Etapas da simulação híbrida

O primeiro passo para o início da simulação é definir o estado inicial do sistema, isto é, a marcação inicial dos modelos em RdP e em redes PTD, e o valor inicial de todas as variáveis contínuas do sistema.

A segunda etapa consiste em verificar a existência ou não de transições habilitadas. Devem ser verificadas tanto as transições dos modelos em RdP como dos modelos em redes PTD. Para cada transição deve-se verificar as seguintes condições de disparo.

- Se as pré-condições estão satisfeitas, ou seja, se a marcação dos lugares de entrada é igual ou superior ao peso dos arcos;
- Se os arcos habilitadores e inibidores estão habilitados;
- Caso a transição seja temporal, se as condições acima já se encontram satisfeitas por um tempo igual ou superior ao tempo associado a transição
- Caso a transição seja de uma rede PTD, se a função de habilitação se encontra satisfeita.

Uma vez determinada quais são as transições habilitadas, passa-se a etapa seguinte, que consiste no disparo de uma das transições habilitadas. A escolha da transição a ser disparada é realizada aleatoriamente. O disparo da transição é constituído pelas seguintes etapas:

- Atualização da marcação dos lugares de entrada e saída;
- Caso a transição seja de uma rede PTD, modificação do sistema de equações responsáveis pela evolução das variáveis contínuas no tempo;

- Caso a transição seja de uma rede PTD, modificação dos valores das variáveis do vetor de variáveis associado àquela rede de acordo com o valor das funções de junção.

Quando não houver mais transições discretas a serem disparadas, incrementa-se o tempo e realiza-se a simulação numérica dos sistemas de equações diferenciais.

Inicialmente são resolvidos os sistemas de equações das redes PTD do sistema de controle local. Em seguida aborda-se o modelo do sistema de ar condicionado. Neste caso, a seqüência de resolução dos sistemas é definida pelo modelo em PFS.

Uma vez atualizado o estado do sistema de ar condicionado, calcula-se as propriedades do ambiente. Entre cada incremento de tempo deve-se verificar a ocorrência de eventos discretos, ou seja, o disparo de transições tem prioridade em relação à evolução do tempo.

Para que a metodologia proposta seja confiável, ou seja, para que apresente dados suficientes para possibilitar a análise da estratégia, o modelo construído deve ser simulado para todas as possíveis situações, ou seja, para todas as possíveis seqüências de eventos discretos e para as mais variadas condições ambientais.

No entanto, de acordo com a complexidade e abrangência do sistema modelado tal simulação é inviável no que se refere ao tempo de execução e processamento. Assim, sugere-se a adoção de alguns casos representativos, como condições com maior probabilidade de ocorrência e condições extremas.

De acordo com o objetivo da análise a ser realizada, os dados da simulação são utilizados como entrada para critérios de comparação de desempenho. Um exemplo é a utilização de métodos como proposto pó [Fanger, 1972] para a determinação de índices como PMV (voto estimado médio) e o PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas).

4.11 Comentários Finais

Neste capítulo são apresentadas ferramentas de modelagem de sistemas automatizados discreto. A RdP é direta e conveniente para a representação de concorrência, conflito e exclusão mútua. Mas problemas aparecem quando sistemas a serem modelados se tornam complexos. Nestes casos o modelo final será grande e difícil de ser analisado. Outros problemas precisam também ser tratados como o do fluxo de mais de uma peça diferente pela mesma rede.

RdP se destinam a, principalmente, modelagem de fluxo de entidades (partes, peças, etc) pelo sistema de produção. Aqui somente componentes do sistema de produção que atuam diretamente sobre entidades, modificando seu estado, (mudando sua localização física ou modificando seu atributo) devem aparecer na modelagem.

Neste capítulo são apresentados dois estudos de caso, o primeiro abordando a utilização de RdP coloridas e o segundo RdP Predicado-Transição Diferencial (PTD).

As RdP Coloridas e Temporizadas fornecem um meio poderoso e abrangente para modelagem de sistemas dinâmicos de porte. Aliadas à metodologia apresentada, torna-se possível abordar o projeto de uma arquitetura de comando distribuída de forma sistemática e estruturada. Comparado à validação analítica ou à construção de protótipos, este processo permite, sem dúvida, que se estabeleçam diretrizes de projeto a um custo baixo e suficientemente antes do comprometimento das fases posteriores do ciclo de vida do sistema.

A RdP Predicado-Transição Diferencial mostra-se interessante na modelagem de sistemas híbridos, conservando as características iniciais dos modelos por RdP e sistemas de equações diferenciais e algébricas.

A utilização de RdP exige usuários de elevado perfil e necessita de software específico para a simulação e análise dos resultados dos sistemas em estudo. Assim sendo, não seria ferramenta para usuários de nível médio. Para um bom projeto há muitas das vezes necessidade de integração de ferramentas - o GRAFCET é reconhecido e aceito pela industria por sua capacidade de representação e descrição das funções de controle local. A RdP para coordenação e sincronização da dinâmica do sistema (modelo). Os dois possuem equivalentes e assim podem com mínimo esforço servir para diferentes visões de um sistema.

Capítulo 5

Arquitetura de Supervisão e Controle e Redes de Comunicação

O projeto de Sistemas Automatizados requer, entre outras atividades, a especificação de uma arquitetura de comando. Sobretudo em sistemas com estrutura de controle-comando bastante distribuída, esta especificação é determinante para todo o restante do ciclo de vida do sistema em questão.

Nesses casos, o projetista vê-se face à difícil tarefa de, numa fase inicial de projeto, escolher uma arquitetura de comando capaz de atender a pré-requisitos funcionais tais que tempos de resposta do sistema. Neste capítulo são apresentados conceitos práticos referentes a diferentes arquiteturas industriais utilizadas para Supervisão e Controle.

Com o objetivo de obtermos melhores níveis de flexibilidade e reatividade no meio industrial, os sistemas de controle-comando de um Sistema Automatizado (SA) são freqüentemente organizados de forma distribuída: as partes operativas comandadas por diversos Controladores Lógicos Programáveis (CLP), estes, por sua vez, muitas vezes controlados através de um sistema de supervisão; as trocas de dados entre as diversas estruturas físicas de comando sendo realizadas por meio de uma rede local. Portanto, torna-se extremamente difícil para o projetista escolher uma arquitetura de comando adequada aos sistemas distribuídos, sobretudo no que diz respeito a análise de tempo de resposta do sistema como um todo. Isso porque, de forma geral, os fabricantes de equipamentos conhecem perfeitamente os componentes de seus sistemas de controle individualmente, mas não dispõem de informações sobre a interação entre os diferentes componentes do sistema ou influência de parâmetros.

Um sistema Supervisório ou SCADA, como é conhecido no ambiente industrial, opera de acordo com vários fatores tanto em nível de software como em nível de hardware. A presença de um ambiente de comunicação entre elementos de controle e monitoração é atualmente uma tendência que traz benefícios e sofisticações ao sistema, possibilitando a integração de todo sistema automatizado. Para permitir que se estabeleça uma comunicação do sistema de supervisão e controle com as outras partes possibilitando uma troca dinâmica de dados entre a parte operacional e comando, uma série de elementos são necessários para estabelecer esse processo. Este capítulo será dividido em dois itens: o primeiro aborda os principais elementos para um sistema de controle e supervisão e no item subseqüente será apresentado modelo típico de arquitetura de Supervisão e Controle enfatizando a Automação Hospitalar, sendo apresentado elementos para comunicação e controle juntamente com o sistema para envio de imagens em tempo real.

5.1 – Sistema de Supervisão e Controle

Num Sistema Automatizado, sensores são utilizados para aquisição de dados informativos dos sistemas controlados, os quais convertem parâmetros físicos, tais como presença física de um corpo, níveis de água, temperatura, etc. para sinais analógicos e digitais para as estações remotas. Por outro lado, os Atuadores são utilizados como o próprio nome indica, para atuar no sistema. Os atuadores podem ser considerados como dispositivos de saída das unidades remotas.

Sensores e atuadores são dispositivos conectados aos equipamentos monitorados e/ou controlados pelos sistemas SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*, designados com Sistema de Supervisão e Controle. Os primeiros sistemas SCADA permitiam informar periodicamente o estado corrente do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos, através de um painel de lâmpadas e indicadores sem que houvesse qualquer interface de aplicação com o operador.

Segundo Aihara e Cosso (2001) um Sistema de Supervisão é responsável pelo monitoramento de variáveis de controle do sistema. O maior objetivo de um Sistema Supervisório é dar significado para o operador (homem-máquina) controlar ou monitorar um processo automatizado mais rapidamente. Através do mesmo obtêm-se a leitura das varáveis em tempo real permitindo um controle e gerenciamento do andamento do processo em questão.

As tarefas enviadas ao dispositivo automatizado são monitoradas com a possibilidade de intervenção pelo próprio controlador (homem) ou com auxílio do computador que executa funções lógicas pré-programadas no sistema de supervisão. A figura 5.1 exemplifica um controle supervisório.

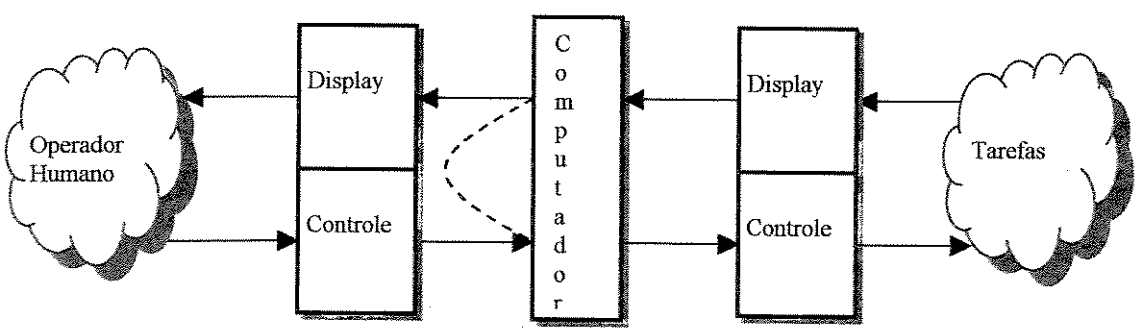


Figura 5.1 - Controle Supervisório.

Com a evolução tecnológica, os computadores assumiram um papel de gestão na aquisição e tratamento de dados, permitindo a sua visualização num monitor de vídeo e a geração de funções de controle complexas.

Estes sistemas revelam-se de crucial importância na estrutura de gestão de Sistemas, diante disto eles deixaram de serem vistos como mera ferramenta operacional, ou de engenharia, e passaram a serem vistos como uma importante fonte de informação e controle.

Num ambiente industrial cada vez mais complexo e competitivo, os fatores relacionados com a disponibilidade e segurança da informação assumem elevada relevância tornando-se necessário garantir que a informação está disponível e segura quando necessária, independentemente da localização geográfica, sendo assim, importante e necessário a implementação mecanismos de acessibilidade, mecanismos de segurança e tolerância à falhas.

Os sistemas SCADA melhoram a eficiência do processo de monitoração e controle, disponibilizando em tempo útil o estado atual do sistema através de um conjunto de previsões gráficas e relatórios, de modo a permitir a tomada de decisões operacionais apropriadas, quer automaticamente, quer por iniciativa do próprio operador.

Atualmente os Sistemas Supervisórios podem ser definidos como uma interface homem-máquina (IHM) amigável, os quais utilizam tecnologias de computação e comunicação que permitem a supervisão e/ou o controle de sistemas automatizados, a partir do monitoramento e controle dos Sistemas Automatizados, efetuando o recolhimento dos dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e os respectivos sistemas apresentam uma visualização de modo amigável com o usuário, com recurso Interface Homem-Máquina (IHM) altamente sofisticados.

5.1.1 - Características dos Sistemas Supervisórios

Entre os Sistemas Supervisórios existentes no mercado podemos citar o Wizcon [1], Ifix [2], Intouch [3], Elipse [4], Cimplicity [5], dentre outros. Dentre as principais características necessárias para atender os requisitos para um Sistema Supervisório (figura 5.2) podemos destacar:

- Interface amigável com o operador, ou seja, o sistema de supervisão tem que propiciar ao operador uma facilidade de visualização gráfica e operação do sistema;
- Geração automática de relatórios – Controle Estatístico do Sistema;
- Histórico de tendências (acompanhamento das variáveis controladas);
- Facilidade para interação com outros aplicativos (software);
- Acesso automático a banco de dados;
- Acesso compartilhado e Remoto
- Conexão em rede e através de modem ou rádio;
- Gerenciamento das condições de alarmes.

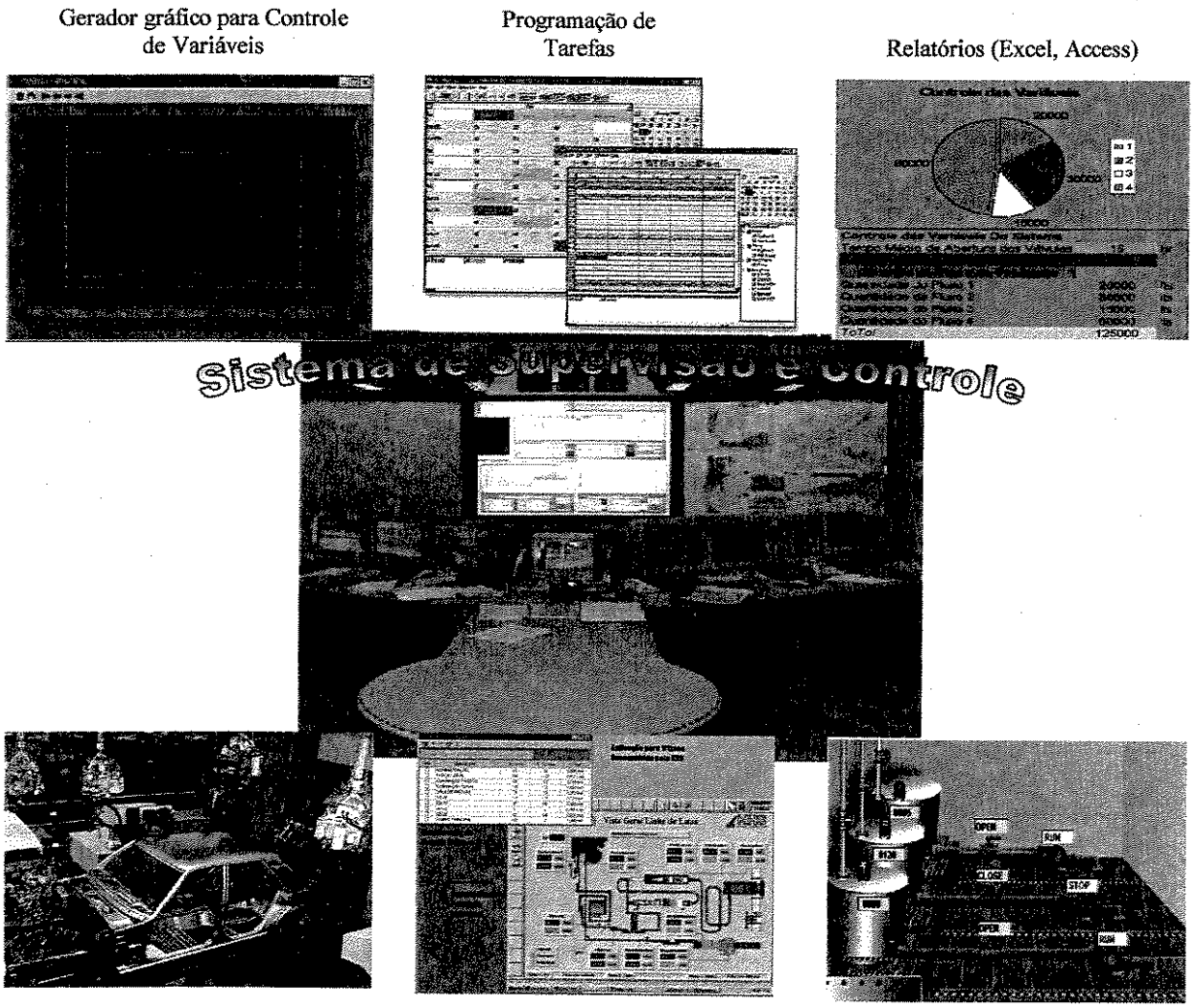


Figura 5.2 – Principais Características de um Sistema de Supervisório.

Os sistemas SCADA cobrem um mercado cada vez mais vasto, podendo ser encontrados em diversas áreas tais como: indústria de celulose, petrolíferas, hidroelétricas, têxtil, metalúrgica, automotiva, eletrônica, hotelaria, hospitais entre outras.

Os sistemas de Supervisão e Controle estão, cada vez mais, sendo empregados em automações prediais, área esta conhecida como Domótica. Na figura 5.3 abaixo é apresentada uma visão de um hospital totalmente automatizado em que são empregadas as técnicas de controle e supervisão nas quais são utilizadas como suporte a Telemedicina (Telecirurgia e Telediagnóstico).

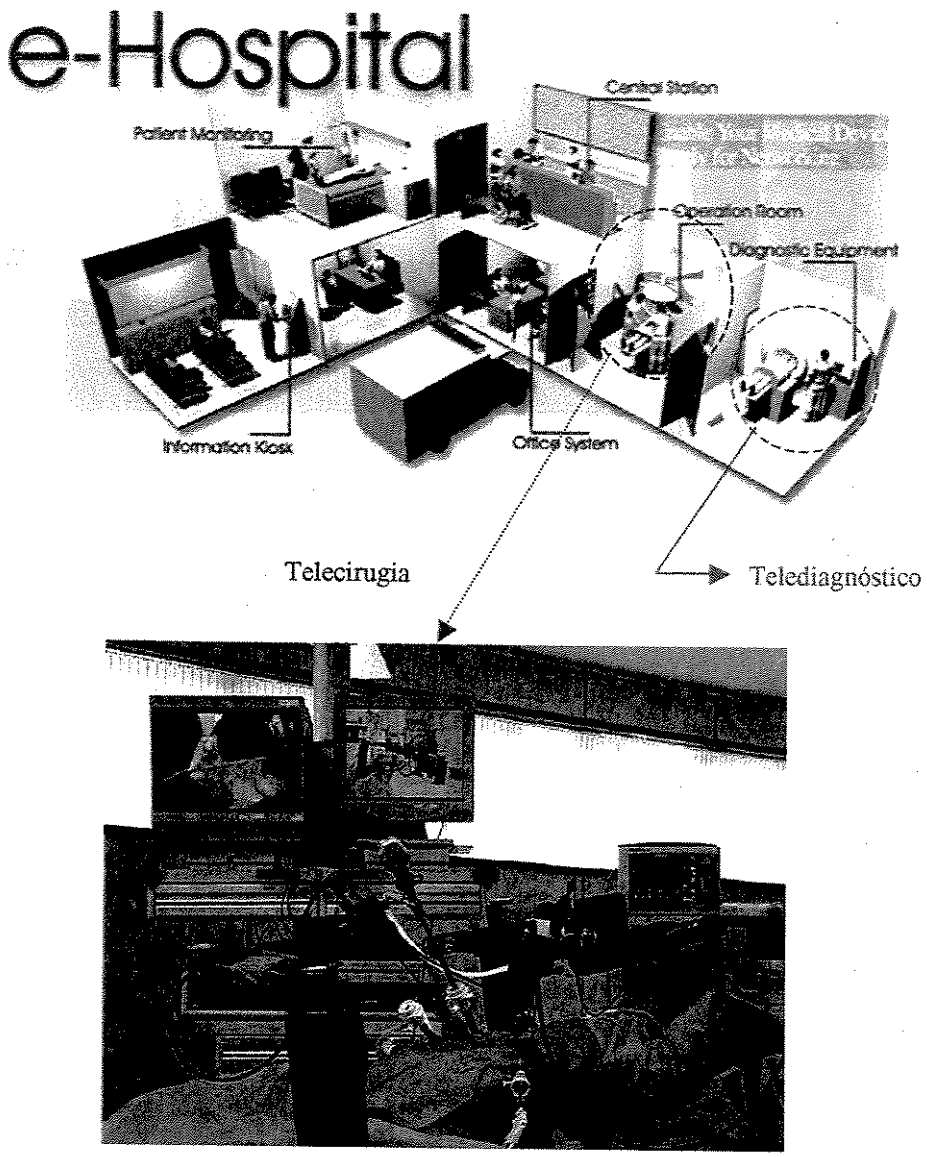


Figura 5.3 – Hospital Totalmente Automatizado e Integrado.

5.1.2 - Analogia entre Controle Supervisório Humano e Controle Supervisório

Controle Supervisório significa a mesma coisa que Controle Supervisório Humano, o termo "homem" esta sub-entendido. O termo é derivado da analogia fechada entre a interação do superior com membros subordinados em uma organização humana e a interação destas pessoas com subsistemas "inteligentes" automatizados.

O supervisor do grupo dá diretivas que são entendidas e traduzidas dentro de ações detalhadas pelas pessoas subordinadas. Em turnos, subordinados coletam informações detalhadas

sobre resultados e apresentam estes resultados de forma simplificada para o supervisor, quem deve inferir no estado do sistema e tomar decisões para uma melhor ação. A inteligência dos subordinados determina quanto complexo o seu supervisor se envolverá no processo. Automação de subsistemas semi-inteligentes permite que a mesma espécie de interação ocorra entre o supervisor humano e o processo mediado por computador (Ferrell 1967, Sheridan 1984).

No sentido mais amplo o controle supervisório significa que um ou mais operadores humanos estão intermitentemente programando e continuamente recebendo informações provindas do computador que fecha uma malha de controle através de atuadores artificiais e sensores para o processo controlado ou tarefa envolvida, enquanto que num sentido mais restrito o controle supervisório significa que um ou mais operadores (humanos) estão continuamente programando e recebendo informações provindas de um computador o qual está interconectado com atuadores artificiais e sensores para o processo controlado ou tarefa envolvida.

Em ambas as definições, o computador transforma informações do homem para o processo controlado e do processo controlado para o homem, mas somente segundo a definição mais restrita o computador faz necessariamente uma malha de controle fechada que exclui o homem, fazendo desta maneira o computador um controlador autônomo para algumas variáveis, pelo menos por algum espaço de tempo.

Em cada caso o computador, pode funcionar principalmente sobre o transporte de informação ou do lado do próprio controle para implementar o comando do supervisório (geralmente faz algumas partes da totalidade e deixa outras partes para o homem, ou fornece alguns controles de compensação para facilitar o controle das tarefas pelo homem). Alternativamente, o computador pode funcionar principalmente sobre o lado de monitoramento (para integrar e interpretar a entrada de informação provinda de "baixo", ou para servir como um "sistema esperto" instruindo o supervisor o que fazer na próxima etapa). Geralmente ele faz alguma de cada.

Uma vez o supervisor rodando o controle no computador, o computador executa o programa armazenado e atua sobre novas informações provindas de sensores, independentemente do homem, ao menos por um período curto de tempo. O homem pode permanecer como um supervisor ou pode de tempo em tempo assumir diretamente o controle (isto é chamado de "traded control") ou pode influenciar como supervisor com o respectivo controle de algumas variáveis e controlar diretamente com auxílio de outras variáveis ("shared control").

5.1.3 – Revisão bibliográfica de aplicações utilizando Controle Supervisório

Dentro do trabalho de Martins (1998) destaca-se o estudo embasado na automação relativa ao planejamento do processo, monitoração de máquinas e equipamentos, fluxo de materiais, supervisão do sistema e redes de comunicação. É feita uma distinção entre o termo sistema de supervisão e controle de processos. O relato acrescenta que é possível, mas não eficiente desenvolver estas duas atividades na mesma unidade. O controle de processos, por definição, é o responsável pelo funcionamento do processo, o qual normalmente é contínuo. A

função do sistema de supervisão, contudo, está ligada com a transição de estado dos processos individuais, como a coordenação entre estes processos, então se conclui que o sistema de supervisão tem uma visão discreta do sistema, enquanto o controle de processo tem uma visão contínua do sistema.

Georgini (1999) implementou um Sistema Supervisório na Plataforma PIPEFA - Plataforma Industrial para Pesquisa, Ensino e Formação em Automação, desenvolvida no Laboratório de Automação Integrada e Robótica da UNICAMP para ensino, pesquisa e formação tecnológica na área de automação industrial, utilizando o software Interact™, cuja principais características são apresentadas a seguir:

- Aplicativo de 32 bits;
- Ambiente de execução se dá em cima da plataforma Windows® 95 ou NT;
- Drivers para comunicação com diferentes CLP's;
- Gerenciador de alarmes;
- Módulo para animação gráfica;
- NBIOS – NetBios Network Driver, que permite a conexão do software em rede;
- IMD – Interact Modem Driver, que permite acesso ao software através de Modem.

Neste trabalho foram descritos os elementos necessários para implementação de sistemas automatizados de produção, envolvendo um estudo, desde a fase preliminar à implementação dos elementos necessários a esta automação até a fase de execução da parte de comando e operativa, proporcionando o desenvolvimento de aplicações em automação que possibilitem melhoria de desempenho, redução de custos, flexibilidade de operação e aumento da qualidade em um sistema de manufatura.

No artigo de Blanc (1999) verifica-se a implementação de um software SCADA, onde se relata a sistemática da arquitetura de controle do processo. Neste trabalho o software de supervisão incorporado foi o Wizcon, um módulo do Wizfactory®, em uma planta industrial de Resfriamento e Ventilação (CV – Cooling & Ventilation). O âmago deste trabalho está voltado na própria implementação do software supervisório Wizcon, sua arquitetura, funcionalidade e da sua real importância para a supervisão de sistemas, do qual se obtêm uma ampla interface gráfica e a possibilidade de configurar as ferramentas para um melhor desenvolvimento de aplicações altamente sofisticadas. A arquitetura proposta é mostrada na figura 5.4.

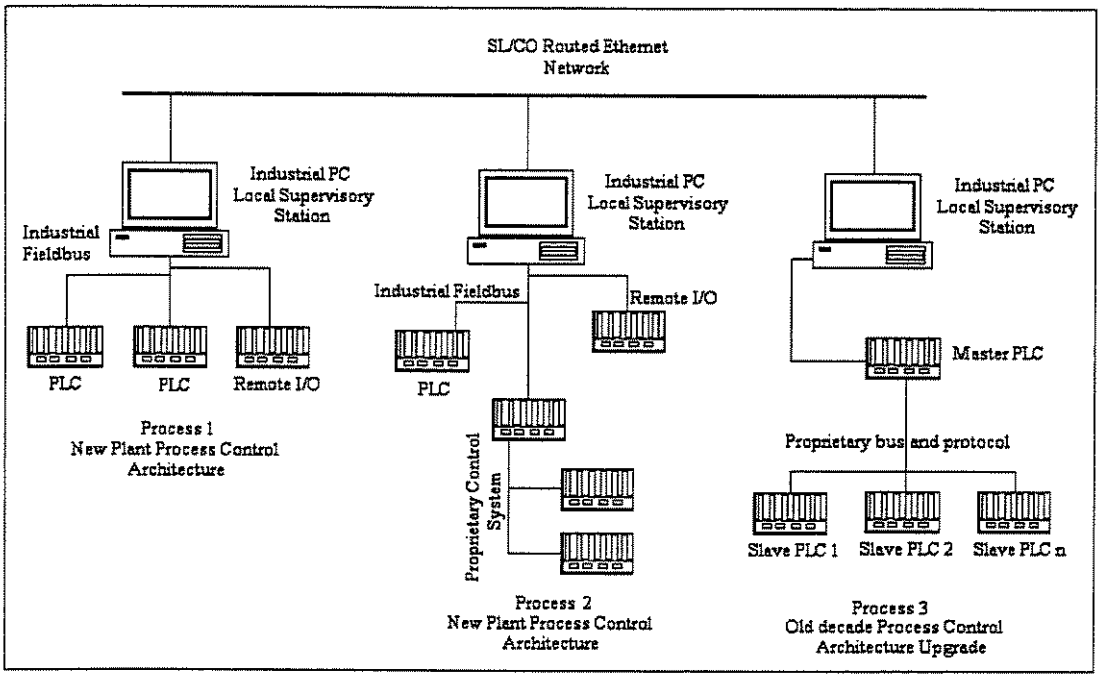


Figura 5.4 – Arquitetura do Software Wizcon™ para um Processo de Supervisão (Blanc,1999).

5.2 – Sistema Supervisório Industrial

A título de exemplificação, neste tópico abordaremos, o aplicativo de Supervisão industrial **Wizfactory** da Emation que dentro de nossa proposta de trabalho, foi escolhido para implementação por ser um sistema sofisticado e adequado com as novas tecnologias de mercado. Entretanto outros softwares existentes no mercado apresentam características e funcionalidades semelhantes, não acarretando grandes dificuldades de aprendizado e utilização.

Outros fatores que influenciaram na escolha foram: o custo, flexibilidade e facilidade de integração do sistema automatizado desenvolvido com outros, por ser um software que roda no sistema operacional Windows® o que permite usar os recursos existentes neste sistema, como a interação do software de supervisão com aplicativos voltados ao sistema operacional Windows inclusive segundo Blanc (1999) permite a interação com o software Matlab® que é largamente utilizado em engenharia. O software já é desenvolvido para geração de aplicativos para Internet, com o uso da linguagem Java o que o torna uma plataforma poderosa para transmissão via WEB. Por apresentar uma documentação propicia um treinamento de novas equipes de trabalho que poderão adequar ou até mesmo sofisticar o sistema com as novas tecnologias que irão surgir.

O **WizFactory** é um conjunto de softwares para PC, totalmente integrados e de alta eficiência em aplicações industriais e prediais (domótica) no mundo todo. Combinando o controle discreto de processos e o SCADA com a Internet.

Este Sistema Supervisório desenvolve sistemas de controle com o WizPLC e o WizDCS, visualiza e fornece as informações para usuários autorizados com o Wizcon para Windows e Internet. Com conectividade total entre a Internet, a visualização e os níveis de controle, o Wizfactory simplifica a hierarquia da automação, resultando em menores custos de desenvolvimento e manutenção. Dentro do aplicativo Wizfactory encontra-se uma subdivisão em módulos funcionais que serão descritos a seguir:

5.2.1 – Sistema Supervisório de Controle e Aquisição de Dados (SCADA)

O aplicativo Wizcon é um sistema supervisório de controle e aquisição de dados (SCADA) usados como ferramenta para desenvolvimento de aplicações que permite aos integradores de sistemas criarem sofisticadas aplicações para automações industriais, entre outras. O Wizcon aproveita todas as capacidades do sistema operacional Windows® (preemptivo e multi-tarefa) e um mecanismo event-driven que garante excelente performance e integridade de dados. Ele também utiliza interface de janelas, a fim de garantir limpa e eficiente visualização dos seus componentes. O Wizcon se comunica com CLP's, instrumentos de medida e outros periféricos.

5.2.2 – Módulo de Geração de Relatórios e Documentação

O módulo **WizReport** permite a geração de relatórios de produção em vários formatos. Com ele pode-se obter: a criação de relatórios complexos em minutos (figura 5.5), o registro de dados, agendamento para emissão de relatórios, cálculos personalizados desenvolvidos em Visual Basic. Pode ser conectado a qualquer componente do supervisor **WizFactory** ou pode operar independentemente com outros sistemas de plantas existentes.

5.2.3 – Módulo de Planejamento e Execução de Tarefas

O módulo **WizScheduler** é utilizado para planejamento, programação e execução de diferentes tarefas baseadas na hora e data. Com a utilização deste módulo pode-se maximizar a energia e reduzir os custos.

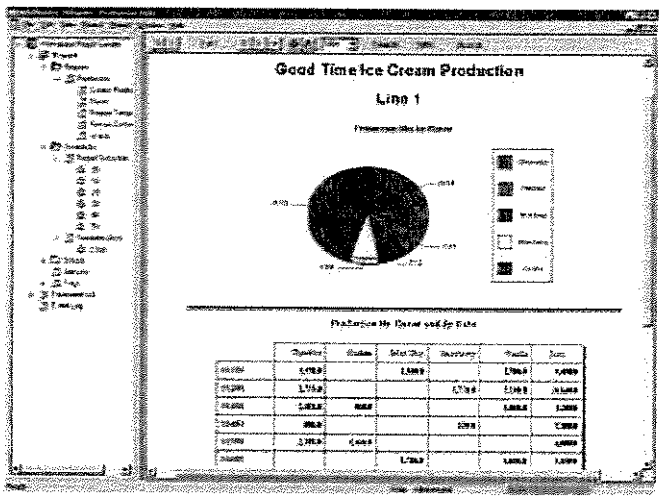


Figura 5.5 - Planilha Gerada no módulo WizReport.

5.2.4 – Módulo de Desenvolvimento de Programas de Controle Discreto

O módulo **WizPLC** é um software de controle para um computador que permite desenvolver programas de lógica e de controle discreto. Tem suporte para os principais protocolos fieldbus, permitindo o desenvolvimento de funções de blocos definidas e bibliotecas. É um poderoso aliado ao Wizcon, a sua introdução possibilita um melhoramento e apoio à lógica desenvolvida para os sistemas. Através desse módulo podemos eliminar um CLP do processo, e utilizar um controle baseado em PC, através de borneiras inteligentes.

5.3 – Principais Funcionalidades de um Sistema Supervisório Industrial

5.3.1 - Características Básicas

Embora atualmente os Sistemas de Supervisão e Controle Industriais apresentem as principais funcionalidades semelhantes, utilizaremos como referência principal deste tópico o aplicativo de Supervisão industrial **Wizfactory** da Emation, especificamente o módulo **WIZCON**, onde podemos encontrar as características principais de todo o sistema, ou seja podemos dizer que os outros módulos servem de apoio a este. Torna-se importante ressaltar que este aplicativo possui propriedades para trabalhar em rede de comunicação com os seguintes protocolos: NetBEUI, TCP/IP, IPX/SPX.

Normalmente nestes aplicativos existem dois modos básicos de utilização: o modo Run Time que empacota os arquivos gerando um programa executável para ser utilizado num computador, e o modo de Desenvolvimento, que é um ambiente, que permite a criação de telas gráficas, permitindo a utilização das janelas, onde se elaboram os Layouts do sistema monitorado e controlado criando aplicações com animações gráficas (denominadas aplicações dinâmicas).

A figura 5.6 apresenta a tela principal do Sistema Supervisório Wizcon possui um modo de atalho que possibilita a abertura do modo de apresentação (Wizcon Application Studio).

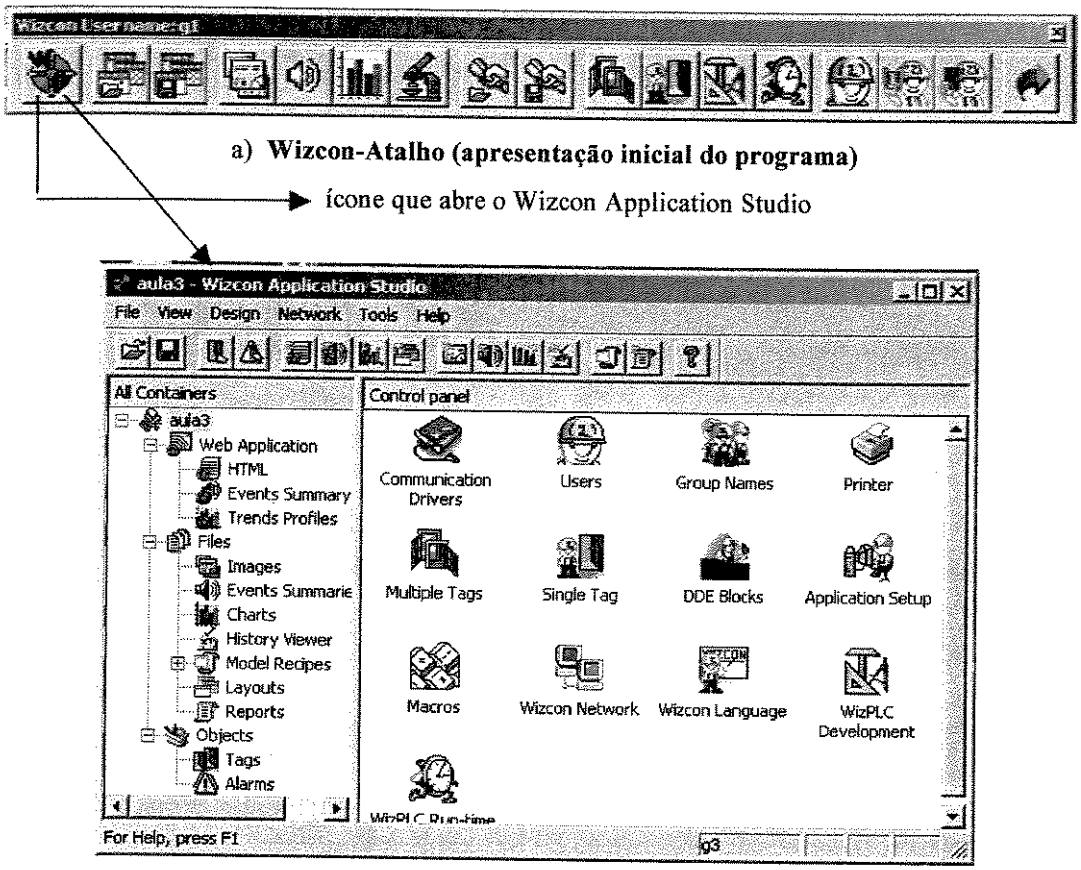


Figura 5.6 - Módulo de Apresentação do WIZCON.

5.3.2 – Animação Gráfica

A criação de aplicativos é possível a partir da tela de Animação Gráfica (Images), que é uma janela (figura 5.7) utilizada para desenhar o Layout da planta do sistema supervisório, ou seja, desenhar o ambiente de contato com o operador, desde animação até botões de ação. No caso do ambiente gráfico do Wizcon utiliza figuras vetoriais, permitindo o engenheiro de aplicação mudar de escala sem a deformação do desenho. Também permite importar figuras nos principais formatos (JPEG, BMP, VIM, ILS) figuras de aplicativos do tipo CAD, como por exemplo, o conhecido Autocad.

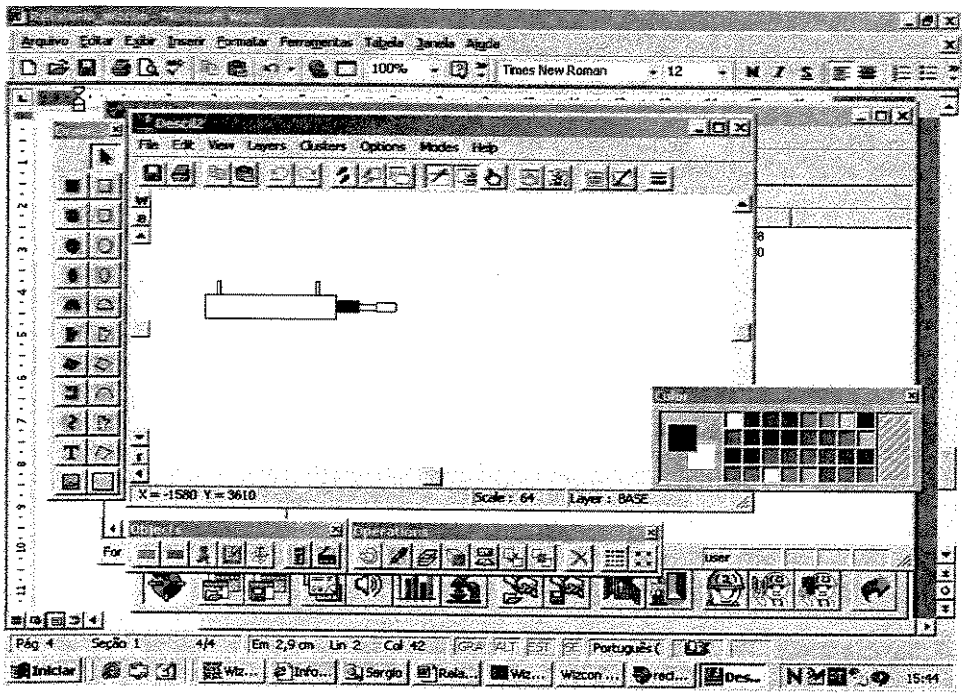


Figura 5.7 - Janela do Editor Gráfico Wizcon.

Nesta janela é integrado um banco de dados *Cluster Library*, onde existem ferramentas que permitem a construção fácil e rápida de Painéis de Operação e Gerenciamento compostos por Ferramentas de Entrada e Saída, tais como: *Bargraphs*, Dispositivos Hidráulicos, Reservatórios, *Push Buttons*, Displays Numéricos, Teclas de Funções, entre outros. As ferramentas são configuradas para enviar e/ou receber dados (discretos ou analógicos) do CLP. A figura 5.8 mostra um Layout criado no qual está simulado um ambiente real.

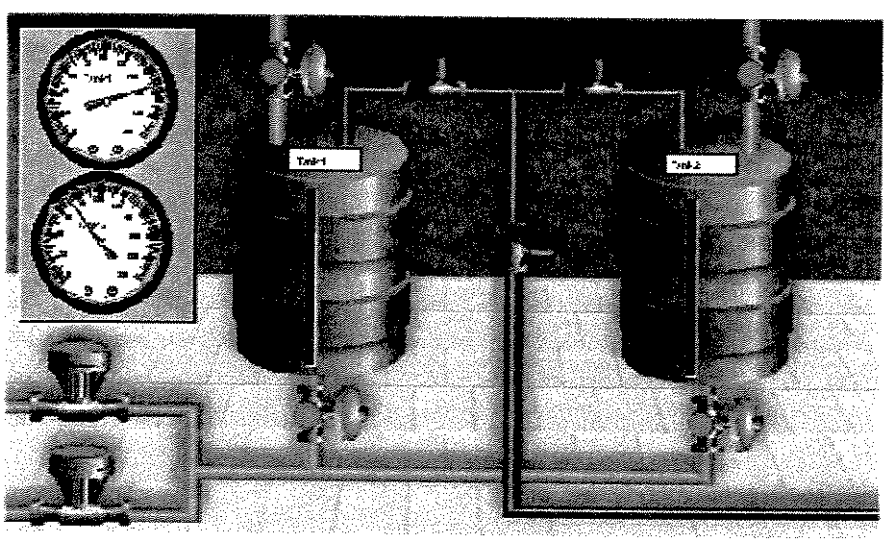


Figura 5.8 - Layout do Sistema com Aplicação Dinâmica.

5.3.3 – Relatórios

A geração de relatórios (Report) é possível a partir de janela integrada ao aplicativo, onde é possível a geração de relatórios customizados para necessidades específicas de cada planta, em um formato livre com textos e valores calculados (field), baseado em arquivos de histórico gravados durante o processo. O "Field" é um campo para configuração de funções matemáticas e intervalos de valores em que se deseja obter das variáveis selecionadas. Quando um relatório (report) está pronto, ele pode ser gerado pelo prompt de comandos do sistema operacional, por Macros ou pela Linguagem Wizcon, uma linguagem específica do supervisório. Permite que o relatório gerado seja gravado em arquivo e/ou impresso.

5.3.4 – Alarmes

Alarmes são mensagens de sistema definidas pelo engenheiro de aplicação para alarmar o operador em relação a alguma situação específica. No Wizcon, podemos definir até 65000 alarmes, independente da chave que está sendo utilizada. Cada alarme é definido de maneira independente, portanto, pode-se ter 65000 alarmes associados ao mesmo Tag. A seguir são citadas algumas características dos alarmes:

- Podem ser definidos através de condições algébricas;
- Podem ser mostrados com textos específicos;
- Podem ser impressos ou documentados;
- Podem ser configurados para tocar sirenes reais;
- Na ativação do alarme a "zona" em que está acontecendo o evento pode ser mostrada;
- Quando ativados enviam e-mails e mensagens para celulares (via WAP).

A geração de relatórios (Report) é possível a partir de janela integrada ao aplicativo onde é permitida a criação de alarmes para o controle do sistema apresentados na figura 5.9.

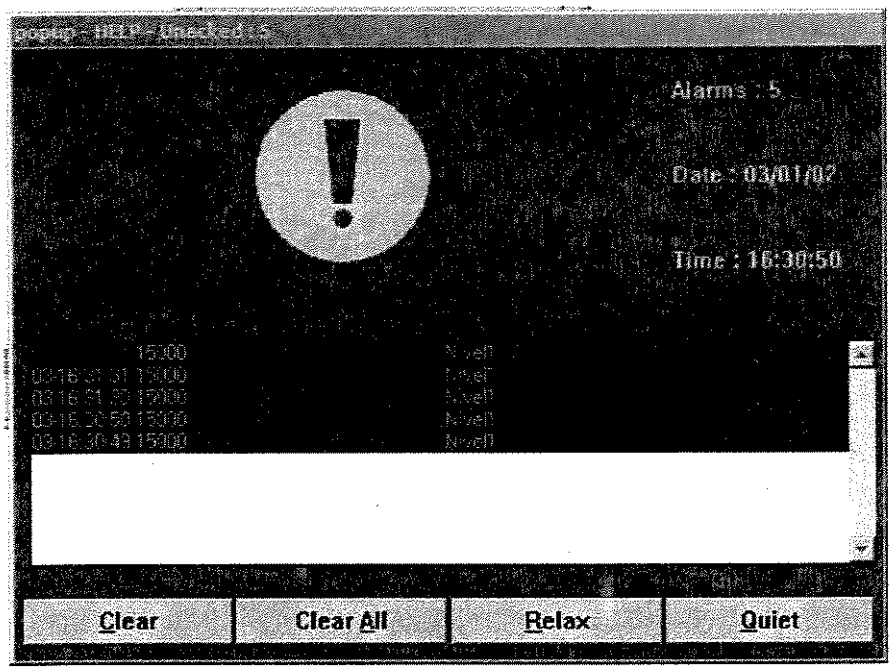


Figura 5.9 – Tela típica de um Alarme.

5.3.5 – Históricos

A visualização de históricos (History Viewer) é possível a partir da janela integrada ao aplicativo, onde uma função de leitura das variáveis de estado do sistema, permitindo ainda a realização de uma pré-seleção das variáveis que se deseja colocar no histórico (figura 5.10).

ANL - Untitled1 - TAGS

File Options Help

Date	Time	Tag	Value	Typ
09/01/02	14:37:10.922	COMP11:DD1	0	
09/01/02	14:37:11.472	COMP11:DD1	1	
09/01/02	14:37:12.274	COMP11:DD1	0	
09/01/02	14:37:13.185	COMP11:DD1	1	
09/01/02	14:37:13.846	COMP11:DD1	0	
09/01/02	14:37:14.977	COMP11:DD1	1	
09/01/02	14:37:26.744	COMP11:DD0	1	
09/01/02	14:38:50.816	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.817	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.818	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.819	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.820	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.821	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.822	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.823	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.824	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.825	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.826	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.827	COMP11:DD2	0	
09/01/02	14:38:50.828	COMP11:DD2	0	

Figura 5.10 - Visualizador de Históricos.

5.3.6 – Resumo de Alarmes

Um resumo de Alarmes identificados (Events Summaries) é possível a partir da janela integrada ao aplicativo, pode ser utilizada para visualização de alarmes (figura 5.11). Através dela, pode-se reconhecer alarmes, visualizar alarmes históricos gravados em disco e muitas outras funções. Nesta janela pode-se acompanhar as informações sobre os alarmes gerados desde o início do projeto.Uma função agregada neste sumário e muito importante para soluções industriais é quando o alarme se encontra em vermelho significa que o problema ainda não foi solucionado. Nesta janela é possível selecionar os alarmes por:

- data e horário em que o alarme ocorreu;
- a "zona" em que aconteceu o alarme;
- grupo a que pertence o alarme;
- nível de severidade do alarme;
- descrição da condição de alarme (vermelho indica que a condição não foi sanada);
- data e horário que o alarme tornou-se inativo;
- data e horário em que foi reconhecido;
- nome do operador que reconheceu o alarme;
- valor do alarme (no momento em que ocorreu);
- o nome da estação onde está sendo gerado o alarme;
- texto de informação sobre o alarme.

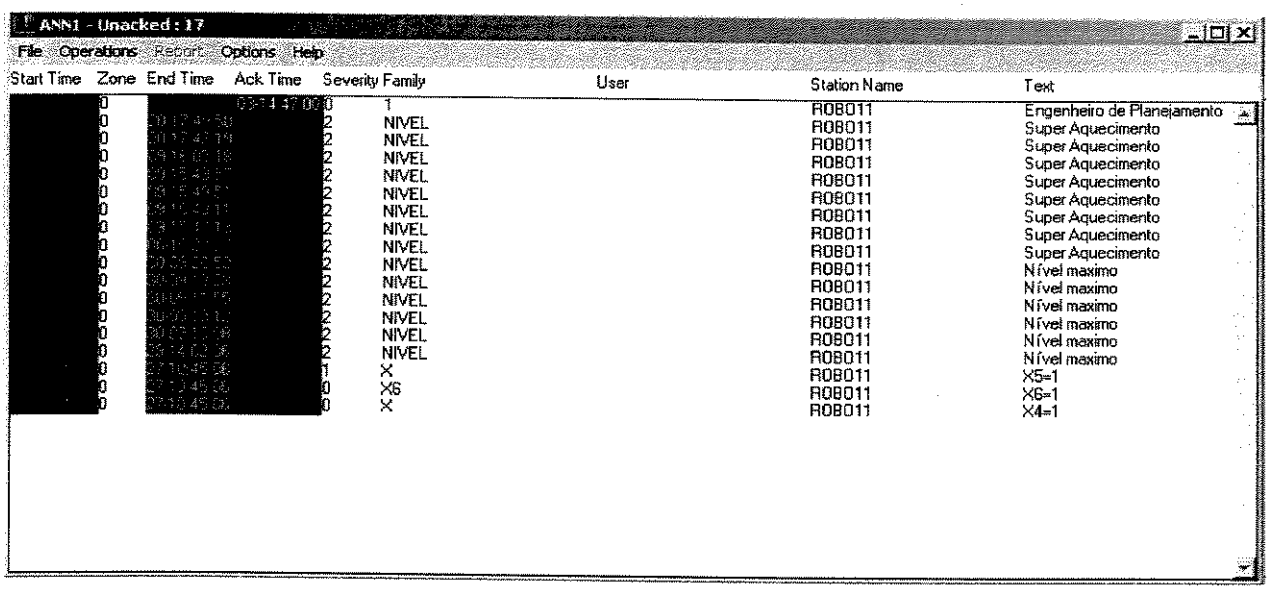


Figura 5.11 – Tela de Resumo de Alarmes.

5.3.7 – Módulo de Programação Interno

Um módulo de programação interno do Wizcon (*Wizcon Language*) fornece uma lógica paralela de programação aumentando assim as funcionalidades do aplicativo. É uma ferramenta utilizada para fazer cálculos avançados e executar operações automaticamente de acordo com lógicas pré-estabelecidas pelo programador. Esta propriedade é muito utilizada, pois melhora a eficiência do sistema e aumenta as possibilidades de expansibilidade do sistema. Nesta propriedade é encontrada uma janela (figura 5.12) para a edição de uma programação que é feita em módulos lógicos e um programa para a compilação é adicionado ao sistema através de um aplicativo especialmente criado para gerenciar adições de programas executáveis para o Wizcon.

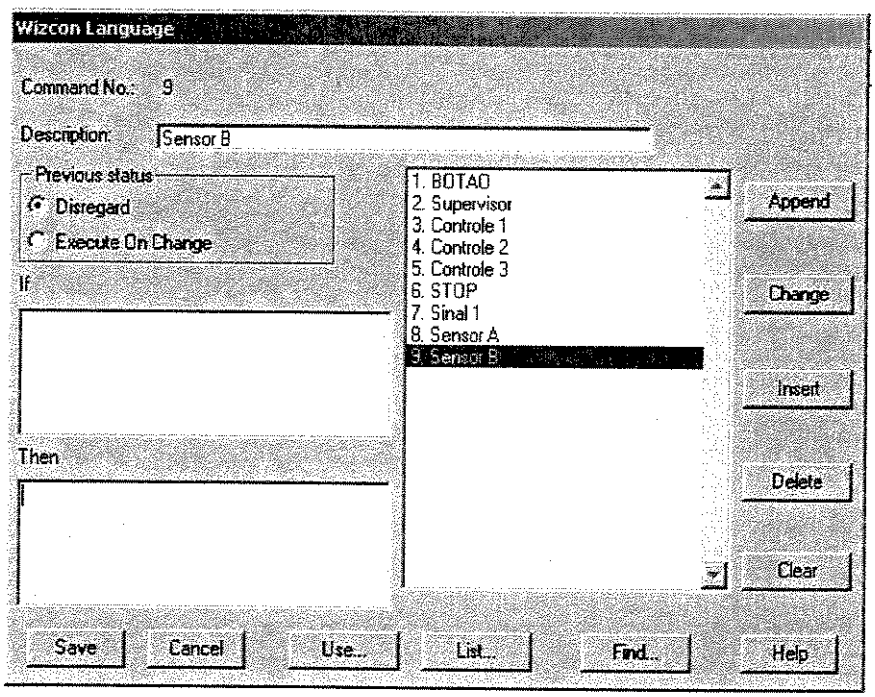


Figura 5.12 – Wizcon Language (Ambiente de Programação).

5.3.8 – Gerador de Gráficos

A geração de Gráficos on Line (Chart) é uma ferramenta que permite acompanhar graficamente as mudanças e tendências das variáveis de controle de maneira on-line, ou seja, em tempo real (figura 5.13).

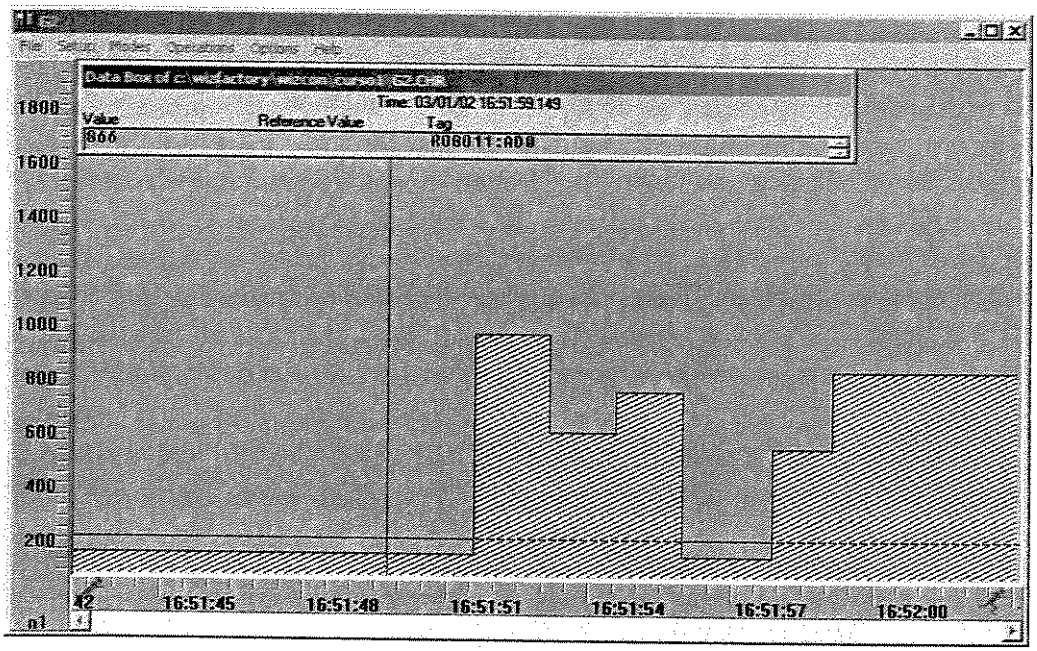


Figura 5.13 – Gerador Gráfico de Variáveis do Sistema.

5.3.9 – Rede de Comunicação

O aplicativo *Wizcon* permite a localização de Unidades com o Supervisor (*Wizcon Network*) é um aplicativo do Wizcon, que fornece um banco de dados sobre o estado atual das Estações de Trabalho que estão rodando diferentes a aplicativos implementados em ambiente *Wizcon*. Estas estações podem interagir-se possibilitando que uma estação remota possa acessar drivers (Tags) da outra Estação.

5.3.10 – Drivers de Comunicação

Normalmente um Supervisor Industrial deve permitir que diferentes *drivers* de comunicação (Communication Drivers) sejam utilizados para fazer a comunicação do aplicativo com os equipamentos desejados. O *Wizcon* oferece vários tipos de *drivers* para os mais variados tipos de CLP, placas controladoras etc, sendo que cada *driver* possui uma configuração específica que deve ser observada cuidadosamente.

Neste capítulo foram delineados temas como: significado de supervisório, campos de aplicação, grau de automação, descrição dos recursos do Software Wizfactory com ênfase no módulo Wizcon.

5.4 - Redes de Comunicação

5.4.1 - Rede Local ou Internet

Neste item serão abordados os principais componentes para integração de um sistema moderno de controle e supervisão com acesso remoto. A figura 5.14 mostra de maneira exemplificativa os componentes necessários para a integração de todo nosso sistema de controle e monitoração. Entre os elementos principais temos: estações remotas, protocolos, estações de supervisão, servidores, etc.

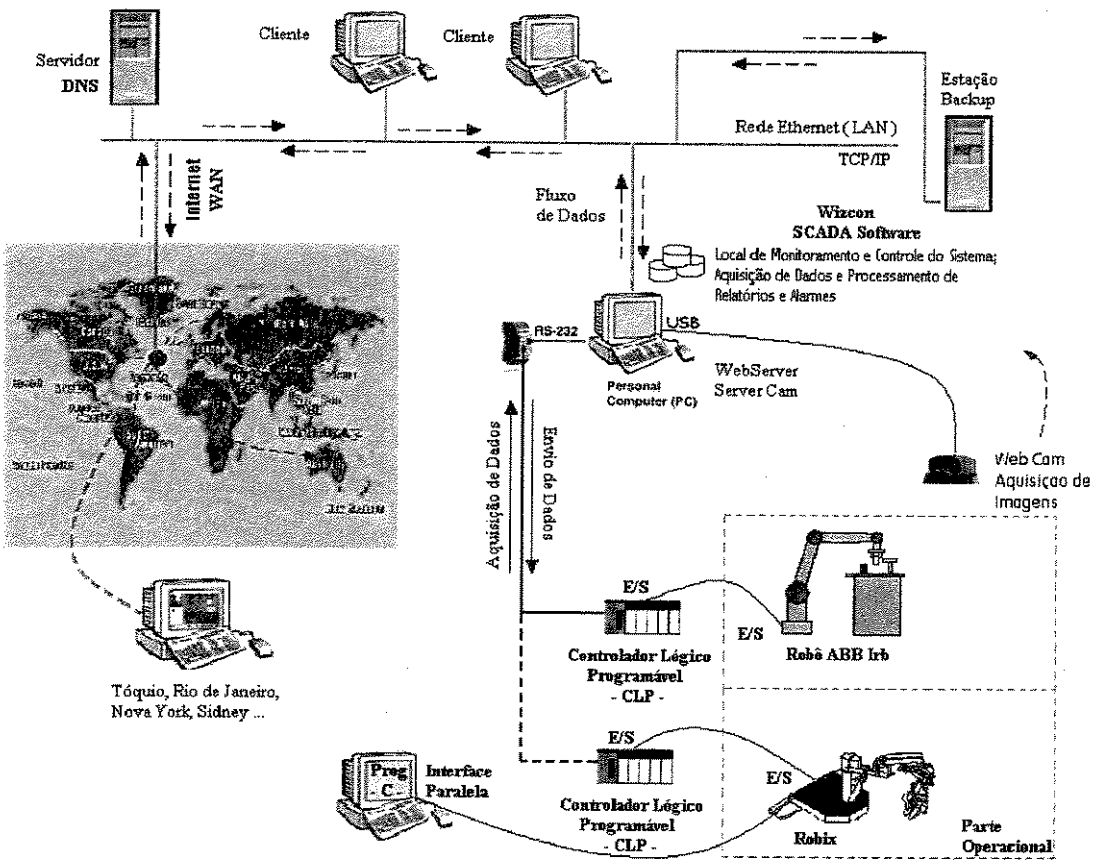


Figura 5.14 – Arquitetura para Controle e Supervisão via Internet

5.4.2 - Estações Remotas

O processo de controle e aquisição de dados inicia-se nas estações remotas, CLP's e RTUs (*Remote Terminal Units*), com a leitura dos valores atuais dos dispositivos que lhes são devidamente associados, através dos quais as estações centrais de monitoração comunicam com os dispositivos existentes nas instalações controladas e monitoradas.

Os PLC´s tem como principal vantagem a facilidade de programação e controle de dispositivos através das Entradas/Saídas (E/S) ou Input/Output (I/O). Por outro lado, os RTU´s possuem boa capacidade de comunicação, incluindo comunicação via rádio, estando especialmente indicado para situação adversa onde a comunicação é difícil. Atualmente, nota-se uma convergência no sentido de reunir as melhores características destes dois equipamentos: a facilidade de programação e o controle dos CLP´s e as capacidades de comunicação dos RTU´s.

Na maioria dos sistemas SCADA a leitura das variáveis de estado é associadas a Tags, que representam o endereço lógico das entradas e saídas dos componentes conectados ao sistema, ou seja, por exemplo, determinada entrada de um CLP denominada "X0", para o sistema supervisório, significa um *Tag*, ou seja, um endereçamento lógico de memória, pois com o devido endereçamento, o protocolo de comunicação permitirá o envio e recebimento de dados do dispositivo em questão com o computador (Sistema Supervisório).

No item a seguir nos atentaremos para algumas definições e características dos CLP´s para um melhor entendimento do leitor, pois este trabalho utiliza o auxílio deste dispositivo para o controle e supervisão dos sistemas implementados.

5.4.3 - Redes de Comunicação.

O aprimoramento da tecnologia empregada nos computadores e na comunicação influenciou profundamente o modo como são organizados os sistemas computacionais e, portanto, os sistemas de automação.

O conceito de "centro de computação", uma sala com um computador enorme ao qual as pessoas levam seus trabalhos para serem processados estão obsoletos. Foi substituído por um outro modelo em que existe um grande número de computadores autônomos independentes, porém interconectados. Esses sistemas são chamados de Redes de Computadores (Tanenboum, 1997). Neste tópico será descrita a arquitetura das redes de equipamentos e computadores que podem compor um sistema de automação.

De acordo com a quantidade de CLP´s utilizadas, podemos classificar os sistemas existentes em: **concentrados** ou **distribuídos**.

Os sistemas concentrados compreendem um computador gerenciando um processo constituído por unidades remotas, pelo qual todo processamento é realizado numa única máquina. A informação percorre uma direção vertical através de uma estrutura hierarquizada.

Por outro lado, nos sistemas distribuídos o gerenciamento da informação, assim como o controle da automação, é realizado por máquinas alocadas ao longo da planta. As remotas deixam de ser executoras para assumirem participação no processamento. Os terminais também são "inteligentes". Dessa forma, sistemas distribuídos (*distributed systems*) e redes de computadores (*network*) requerem uma cuidadosa análise para não serem confundidos.

Quando se fala em sistemas distribuídos, existe um conjunto de máquinas autônomas invisíveis ao operador, onde a presença de diversos processadores é transparente, tudo se realiza automaticamente pelo sistema, constituído por um conjunto de softwares instalados na planta.

A alocação de trabalhos e/ou tarefas aos processadores de arquivo para discos, a transferência de arquivos de onde eles são gerados até onde serão utilizados assim como outras funções do sistema são automáticas.

Em redes de computadores, os operadores deverão declaradamente efetuar o *login* na máquina, mover arquivos em geral e manipular pessoalmente o gerenciamento da rede. Nos dois casos, tanto em sistemas distribuídos como em redes existem itens em comum: o processamento ocorre em vários pontos do sistema; e a informação e a movimentação de arquivos se realizam nas direções vertical e horizontal através dos controladores e/ ou computadores.

Nota-se então, que a diferença entre os sistemas está no modo de participação do operador: nas redes o usuário coordena a realização das tarefas e nos sistemas distribuídos é automaticamente.

Conclui-se que em relação ao sistema físico (*hardware*) a rede e os sistemas distribuídos são iguais. A diferença está residindo no sistema lógico operacional (*software*), nos sistemas distribuídos é instalado um conjunto de softwares conferindo à planta confiabilidade, coerência e transparência, operando automaticamente.

As vantagens dos sistemas distribuídos e/ou redes de computadores podem ser exemplificados nos sistemas de automação industrial, os quais possuem um grande número de CLP's e interfaces homem-máquina operando em locais remotos. Com a finalidade de aumentar a confiabilidade do sistema automatizado, verifica-se que a integração entre os CLP's contribuiu para essa direção na qual as redundâncias, através de backup, garantem o sucesso desejado (Moraes, 2001).

5.4.4 – Protocolos

Com o surgimento das redes de computadores, as soluções eram na maioria das vezes proprietários, isto é, uma determinada tecnologia só era suportada por seu fabricante. Dessa forma, um mesmo fabricante era responsável por construir praticamente tudo na rede. Mas estas situações geravam problemas de custos, expansibilidade dos sistemas com dificuldade de integração destes sistemas. O mercado começou a almejar uma rede de comunicação "inteligente" algo que possibilitasse a total integração entre estes sistemas de comunicação, ou seja, um sistema integrado que "fala-se entre si", uma tecnologia de comunicação mais padronizada.

Então em 1977, a *International Standards Organization (ISO)* desenvolveu um modelo de referência, para interconexão aberta num sentido mais universal cuja intitulação foi *Open Systems Interconnection (OSI)*, para que os fabricantes pudessem criar protocolos a partir desse modelo. O modelo de protocolo OSI é um modelo de sete camadas, apresentadas na figura 5.15.

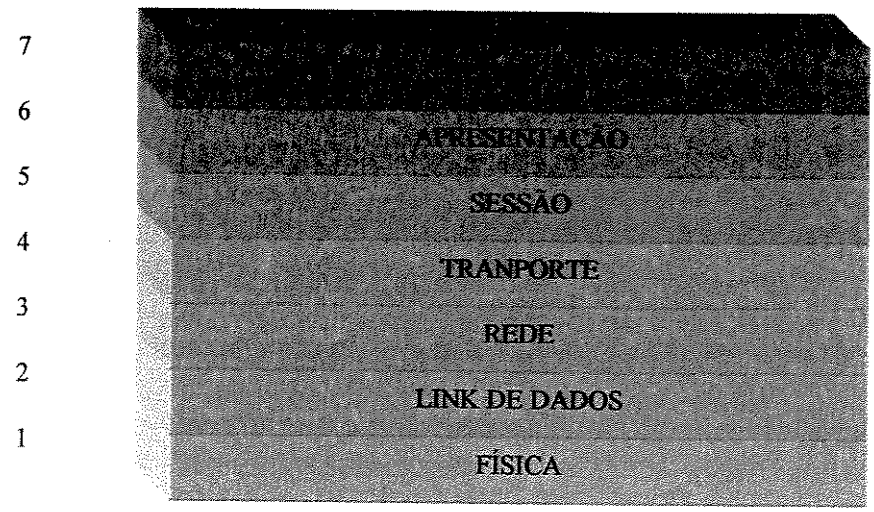


Figura 5.15 - Modelo OSI de Protocolos

Camada 1 - Física (Physical): recebe os quadros pela camada de transmissão de dados e os transforma em sinais compatíveis com o meio no qual os dados deverão se transmitidos. Nesta camada, por exemplo, existe a transferência de bits.

Camada 2 – Link de dados (data link): também conhecida como enlace, assegura que o conteúdo da mensagem gerado em sua origem seja exatamente igual ao conteúdo no local de destino. Para tal,essa camada possui uma sub-rotina, muitas vezes constituída por algoritmo especial, que permite a detecção de erros de comunicação, em nível da camada física, mantendo a integridade da mensagem. Esta camada é geradora de um bit de paridade, ou um conjunto de bits extras, que possui a função de proteção. Ela cria números seqüenciais do lado da transmissão e do lado da recepção para sua devida validação.

Camada 3 – Rede (Network): cuida do tráfego e roteamento (encaminhamento) dos dados, este roteamento é baseado em fatores condicionantes como, por exemplo, tráfego de dados e prioridades.

Camada 4 – Transporte (transport): controla a transferência dos dados e transmissões, isto é executado pelo protocolo utilizado.

Camada 5 – Sessão (session): permite que duas aplicações em computadores diferentes estabeleçam uma sessão de comunicação.

Camada 6 – Apresentação (presentation): também conhecida como camada de tradução, converte o formato do dado recebido pela camada de aplicação em um formato comum a ser usado na transmissão desse dado, ou seja, um formato entendido pelo protocolo usado.

Camada 7 – Aplicação (application): esta camada faz o interfaceamento entre o protocolo de comunicação e o aplicativo que pediu ou receberá a informação através da rede. Dentre os principais protocolos utilizados atualmente pode-se destacar: TCP/IP, NETBUI, IPX/SPX.

5.4.5 – Protocolo TCP/IP

TCP/IP é, na realidade, um conjunto de protocolos. Os mais conhecidos dão o nome a este conjunto: TCP - *Transmission Control Protocol ou* Protocolo de Controle da Transmissão e IP (*Internet Protocol*), o protocolo TCP/IP é atualmente o mais utilizado em redes locais. Isso se deve basicamente à popularização da Internet, a rede mundial de computadores, já que esse protocolo foi criado para ser usado na Internet. Mesmo os sistemas operacionais de redes, que no passado só utilizavam o seu protocolo proprietário (como o Windows® com o seu NetBEUI e o Netware com seu IPX/SPX), hoje suportam o protocolo TCP/IP.

Segundo Torres (2000) umas das grandes vantagens do TCP/IP em relação a outros protocolos existentes é que ele é roteável, isto é, foi pensado em redes grandes e de longa distância, onde pode haver vários caminhos para o dado atingir o computador receptor. Outro fato que tornou o TCP/IP popular é que ele possui arquitetura aberta e qualquer fabricante pode adotar a sua própria versão do TCP/IP em seu sistema operacional, sem a necessidade de pagamento de direitos autorais a ninguém. Com isso, todo o fabricante de sistemas operacionais acabou adotando o TCP/IP, transformando-o em um protocolo universal, possibilitando que todos os sistemas possam comunicar-se entre si sem dificuldade.

Como foi dito anteriormente, o protocolo TCP/IP é roteável, isto é, ele foi criado pensando-se na interligação de diversas redes, nas quais podem se ter diversos caminhos ligando o transmissor e o receptor, culminando na rede mundial que hoje conhecemos por Internet.

O protocolo TCP/IP utiliza um esquema de endereçamento lógico chamado endereçamento IP. Esse endereço permite identificar o dispositivo e a rede na qual ele pertence, ou seja, cada computador deve ter um número que o identifique e função da rede que ele ocupa na rede mundial de computadores a Internet. A arquitetura do TCP/IP está mostrada na figura 5.16. Como pode se observar o protocolo TCP/IP é um protocolo de quatro camadas.

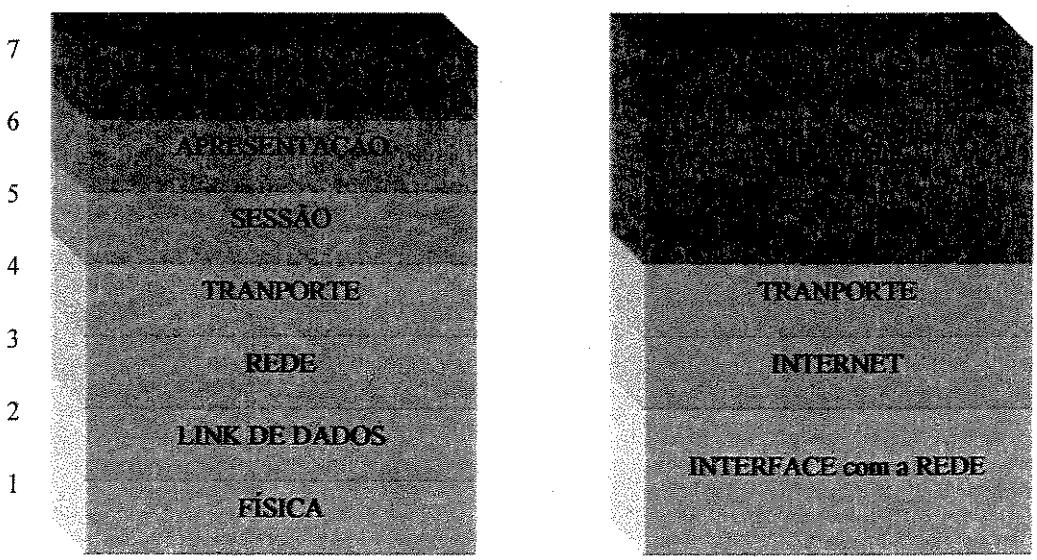


Figura 5.16 – Arquitetura do TCP/IP

A camada de aplicação do modelo TCP/IP equivale às camadas 5,6 e 7 do modelo OSI e faz comunicação entre os aplicativos e o protocolo de transporte. Nesta camada existem vários protocolos que a compõe. Dentro desta camada podemos destacar o HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Quando se acessa um endereço "www" em seu navegador Web para visualizar uma página na Internet, o navegador irá comunicar-se com a camada de aplicação do TCP/IP, sendo atendido pelo protocolo HTTP (Torres, 2000). O protocolo HTTP utiliza sempre a porta 80.

Outro protocolo de aplicação encontrado é conhecido como DNS (Domain Name System). Como foi visto, toda a máquina em uma rede TCP/IP possui um endereço IP. Sabe-se que os endereços IP não são tão fáceis de serem guardados quanto os nomes, para as pessoas. Por isso, foi criado o sistema DNS, que permite dar nome a endereços IP, ou seja, seria uma espécie de apelido que facilita a localização de máquinas pelo usuário. Quando se digita um endereço de um *site* digitamos endereços como www.fem.unicamp.br/~mecatronica na verdade os endereços são uma conversão para a forma nominal de um endereço IP (é muito mais fácil guardar o endereço nominal www.fem.unicamp.br/~mecatronica do que um endereço IP da máquina como o número 210.212.321.9 , por exemplo). Quando se entra com o endereço em um navegador Web (Explorer ou Netscape), o navegador se comunica com um servidor DNS, que é responsável por descobrir o endereço IP do nome entrado, permitindo que a conexão seja efetuada.

Cada rede local TCP/IP precisa ter, ao menos, um servidor DNS, onde todos os pedidos por conversão de nomes em endereços IP ou vice-versa são enviados a este servidor.

NetBEUI - *Netbios Enhanced User Interface* é um protocolo proprietário da Microsoft, que acompanha todos os sistemas operacionais e produtos de redes, como o Windows 9x/ME, Windows NT/2000, LAN Manager, LAN Server, etc. Foi criado originalmente pela IBM, na época em que a IBM e a Microsoft possuíam uma parceria para a produção de sistemas operacionais e software (1985).

IPX/SPX é o protocolo proprietário criado pela *Novell* para o seu sistema operacional *Netware*, baseado no protocolo XNS - *Xerox Network Systems*. O funcionamento deste protocolo possui semelhança com o TCP/IP. O IPX - *Internet Packet Exchange* é um protocolo que opera na camada de rede, equivalendo ao IP, enquanto que o SPX - *Sequenced Packet Exchange* opera na camada de transporte, equivalente ao TCP.

5.4.6 – Estações de Monitoramento SCADA

As Estações de Monitoramento Central são as unidades principais dos sistemas SCADA, sendo responsáveis pelo recebimento de informações geradas por estações remotas e agir em conformidade com eventos ocorridos. Podem estar centralizadas em uma única estação de trabalho (PC), ou distribuídas por uma rede de computadores de modo a permitir a partilha de informações provenientes do sistema SCADA. Para aumentar o grau de segurança e confiabilidade pode se configurar ao sistema uma estação de backup. Esta configuração consiste em duas estações SCADA idênticas, ambas conectadas aos mesmos CLP´s, mas uma estação opera como mestre, coletando os dados enquanto a outra permanece em *stand-by*.

Quando a estação mestra para de funcionar a estação backup assume, comunicando com os CLP´s e com as outras estações da rede. Depois de recuperada a estação mestre, a estação backup volta para *stand-by* e atualiza os dados históricos na mestre.

5.4.7 – Comunicação do Sistema de Supervisão

A sistemática de implementação envolveu estudos na área de sistema de supervisão, controladores lógicos, sistemas operacionais, linguagens de programação, redes, etc.

O computador é configurado para trabalhar com um nome e número de uma estação de trabalho (Wizcon), esta configuração é feita internamente no sistema supervisório e deve ser realizada com o nome diferente do adotado na configuração da máquina na rede, pois a nova configuração adotada no sistema supervisório é gerada somente para que este sistema trabalhe em cima do endereço (IP) da máquina. As outras estações que estão com o supervisor instalado quando devidamente configuradas e rodando em conjunto o sistema supervisor, são automaticamente reconhecidas o que possibilita a troca de informações entre elas.

Na maquete implementada e apresentada no próximo capítulo, o computador conectado diretamente ao sistema a ser controlado é adotado como *Master*, ou seja, o principal na rede de supervisão. O software de supervisão adotado foi Wizcon como mencionado anteriormente e descrito no item anterior. O software de supervisão se comunica com a CLP, da marca Koyo - modelo Direct Logic D0-05DR (figura 5.17), através da saída serial RS 232 e com a utilização (através de uma seleção) do protocolo de comunicação TEXAS INSTRUMENTS SERIES 405. O protocolo selecionado para a comunicação incluirá, dentre outros itens, a velocidade de comunicação, porta de comunicação, porta sinal conectado, tempo de scan, etc. A principais propriedades deste CLP são apresentadas na tabela 5.1.

Figura 5.17 – CLP Industrial Koyo™.

Portas Seriais	Interface Serial RS-232C	
	Porta 1	**Porta 2**
Baud Rate	9600 bps (fixo)	300-38400bps (configurável)
Protocolo DirectNet	Slave	Master / Slave
Protocolo MODBUS	Slave	Master / Slave
Comunicação ASCII	Não	possui

Tabela 5.1 – Características do CLP Koyo - modelo D0-05DR

Na configuração de comunicação entre a CLP e o supervisório (PC-Wizcon), estabeleceu-se uma taxa de transmissão (*Baud Rate*) de 19200 bps. A taxa de transmissão é que determina a velocidade, expressa em bits por segundo (bps), da transmissão de dados. O padrão de comunicação adotada no supervisório deve ser o mesmo que o adotado para a CPU do CLP. Com a determinação do protocolo de comunicação existe a necessidade de criar blocos de endereçamento de memória para as respectivas variáveis de memória do CLP.

Através dos blocos pode-se obter a configuração principal das entradas, saídas, temporizador etc. do CLP. Os blocos são obtidos através de uma documentação existente no Wizcon, as VPIs contêm uma referência de documentação para configurar com o protocolo selecionado o formato correto de endereço para as variáveis da CLP (*Address Format*). Neste caso para o protocolo Texas a referência é a VPI que irá fornecer toda a documentação necessária para configurar os blocos de endereço, as informações contidas nesta VPI. Na tabela 5.2 são mostrados alguns endereçamentos dos blocos criados para a comunicação.

Endereçamento dos Blocos	
Entrada (Xn)	0140400
Saída (Yn)	0140500
Memória Interna (Cn)	0140600
Temporizador (Tn)	0141100
Temporizador em modo Analógico	0100000

Tabela 5.2 – Blocos de Comunicação.

Com a configuração dos blocos pode-se configurar as variáveis do sistema, os "Tags", que se deseja estabelecer a comunicação com a CLP, endereços estes que estão atrelados aos seus respectivos blocos, ou seja, através do bloco de entrada configura-se os formatos de endereços para todas as variáveis de entrada do CLP. Os Tags podem ser: "CLP" ou "Memory".

Os "*Tags CLP's*" significam que se originam dos blocos de comunicação descritos acima e se comunicam diretamente com a CLP. Os "*Memory*" (*Dummy* para o Wizcon) são aqueles que residem localmente no sistema supervisório, são próprios dele e criados para desempenhar funções em que substituem os *Tags da CLP* para simular uma simulação sem a necessidade de uma CLP conectada ao sistema ou também são usados para auxiliar no controle e supervisão.

Para a verificação se está correta a comunicação e se o sistema esta atualizando as variáveis de entrada e/ou saída existe um aplicativo no Wizcon que fornece estas informações – *Multiple Tags.*

A comunicação entre o Sistema Controlado e Monitorado (SCM) e o sistema de supervisão como mostrado acima utiliza uma CLP, pois esta introduz ao sistema uma maior segurança, no caso de uma falha do sistema operacional que esta rodando junto com o software de supervisão a CLP deixará o sistema operante até que a tarefa designada seja cumprida. A figura 5.14 ilustra a comunicação dos sistemas.

5.4.8 – Arquitetura Cliente – Servidor (Client-Server)

A arquitetura Cliente Servidor (figura 5.18) é um auxílio usado para o monitoramento e controle de sistemas localizados em diferentes locais.

Na estação principal server (*Master*) a qual está implementada o software "*Web Server*" (*Apache™ Server*), permite aos usuários monitorarem e/ou enviarem tarefas para o robô através de um navegador Web (Microsoft® Internet Explorer ou Netscape™). O "Web Server" é um software que gerencia as páginas em uma rede TCP-IP.

Quando um navegador Web requisita uma página, ele envia à rede as informações referentes à página que ele deseja abrir. O Web Server recebe estas informações e envia a página ao navegador web (Web Browser) que está requisitando. Neste caso o protocolo que está sendo utilizado é HTTP (Hypertext Transfer Protocol) que se localiza dentro da camada do protocolo TCP-IP, este modo de comunicação utiliza-se à "porta 80" do protocolo TCP-IP, então o Servidor Web deve estar configurado para esta porta de comunicação. É muito importante que os softwares navegadores Web possuam o Java Virtual Machine (JVM) habilitado em suas configurações internas, para que os aplicativos em Java (Applets) possam ser executados por estes navegadores Web (Browsers). Desse modo, a estação principal (master) está rodando um Web Server com as ferramentas para a execução da aplicação em qualquer localização, ou seja, em uma arquitetura WAN ou LAN, sem a necessidade que no computador do usuário ou cliente esteja instalado um Sistema de Supervisão e Controle.

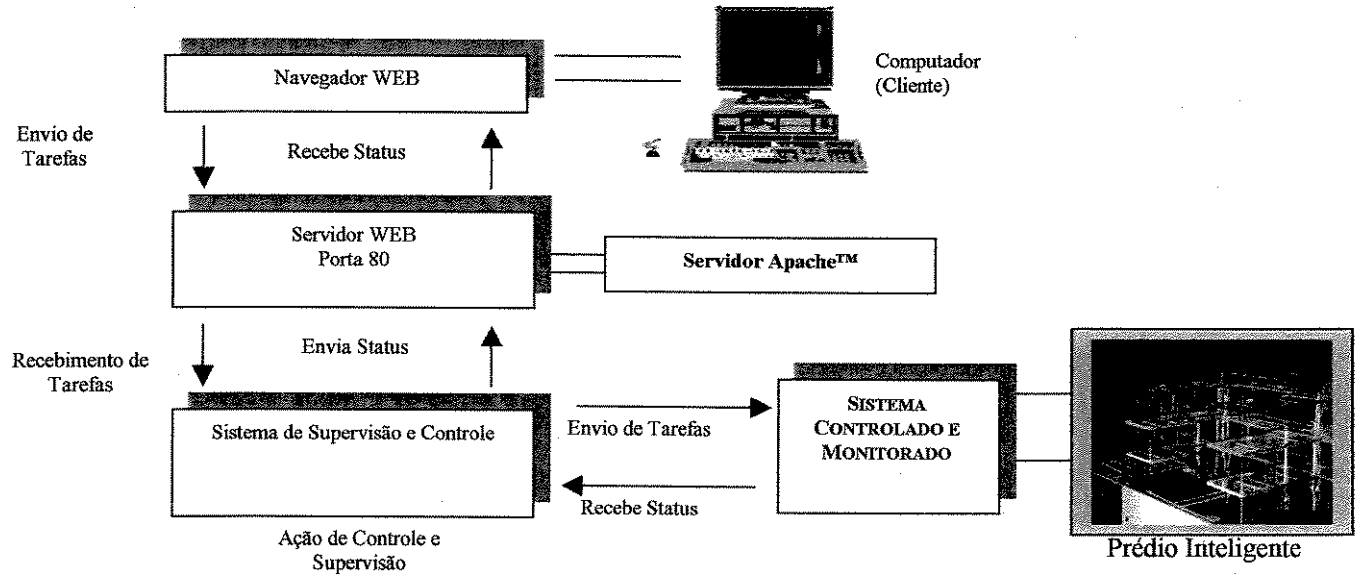


Figura 5.18 – Teleoperação utilizando a Arquitetura Cliente/Servidor.

5.4.9 – Interface com o usuário

Os dados são transmitidos ao robô via internet, com o auxílio do Sistema de Controle e Supervisão, para sua unidade de controle, memória e processamento que será responsável pela execução e controle das tarefas ligadas ao edifício inteligente. Este, após o término das tarefas envia sinais para indicar a finalização destas e, assim, o usuário obtém as informações necessárias para o controle e monitoramento do sistema.

Para a interação com o cliente criou-se um "*layout*" dos dispositivos e informações necessárias para se obter maior funcionalidade do sistema. Este Layout pode ser configurado segundo perfis de usuários. Isto significa que determinado usuário, quando se inscreve e digita uma senha, automaticamente poderá ter acesso limitado ou não a certos controles ou visualizações. Os botões de comando existentes na página html são gerados em *Applet Java*, permitindo a execução dos comandos em navegadores Web.

Através da visualização do sistema de controle via navegador Web como mostrado na figura 5.19, o usuário poderá estar enviando tarefas a serem cumpridas, como também durante todo processo estará recebendo informações de monitoramento ("status") destas tarefas.

No *layout* existe uma chave que pode ou não acionar o supervisório; caso esta chave esteja desligada no módulo automático nenhuma tarefa poderá ser enviada, o usuário no módulo automático apenas tem "status" das variáveis (monitorando) e não de controle do Sistema Controlado e Monitorado (SCM).

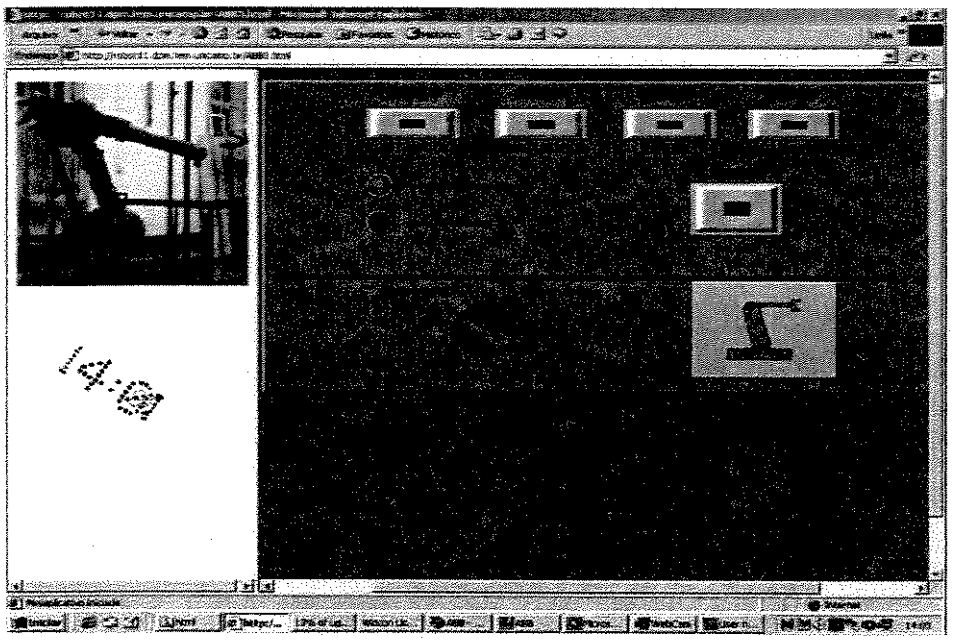


Figura 5.19 – Layout do Sistema de Supervisão e Controle Via Internet

Através da área gráfica do sistema pode-se criar um *layout* bem elaborado dos dispositivos e informações necessárias para se obter maior funcionalidade do sistema. Este *layout* pode ser configurado segundo perfis de usuários. Isto significa que determinado usuário quando se inscreve e digita uma senha automaticamente poderá ter acesso limitado ou não a certos controles ou visualizações. Com o *layout* elaborado gera-se uma página html na qual os "mini aplicativos" são escritos em Java (*Applet*).

Através da visualização do Supervisório via navegador Web (browser) o usuário poderá estar enviando tarefas a serem cumpridas, como também durante todo processo ele estará recebendo informações de monitoramento (status) destas tarefas.

No l*ayout* existe uma chave que pode ou não acionar o supervisório, caso esta chave esteja desligada no módulo automático nenhuma tarefa poderá ser enviada, o usuário no módulo automático apenas tem status das variáveis (monitorando) e não de controle do sistema SCM.

5.4.10 – Aquisição de Imagens

O sistema de aquisição de imagens (figura 5.20) é composto por uma câmera do tipo WebCam, que funcionando em conjunto com um software de aquisição (captura) de imagens fornece ao usuário as imagens geradas do objeto de controle. O sistema para aquisição de imagens foi desenvolvido com o uso da linguagem de programação Java™.

As imagens estão sendo transmitidas em tempo real, através de uma seqüência de imagens JPEG, que utiliza taxa de compressão muito baixa quando comparada com MPEG ou Real Vídeo (estes dois últimos são mecanismos utilizados em transmissão de vídeo). A principal vantagem da sistemática utilizada é que se pode enviar as imagens de vídeo utilizando o mecanismo *server-push*

do Servidor HTTP diretamente para o cliente WWW, como o Microsoft® Internet Explorer ou Netscape™, sem a necessidade de se utilizar um software especial ou um *plugin* para receber o formato de vídeo.

Este sistema de permite a aquisição de imagens com velocidade de transmissão de até 480 Mbps, acarretando na diminuição considerável do tempo de atraso das transmissões via Internet.

As imagens estão sendo transmitidas em tempo real, através de uma seqüência de imagens JPEG, no qual utiliza taxa de compressão muito baixa quando comparada com MPEG ou Real Vídeo (estes dois últimos são mecanismos utilizados em transmissão de vídeo). A principal vantagem da sistemática utilizada é que se pode enviar as imagens de vídeo utilizando o mecanismo server-push do Servidor HTTP diretamente para o cliente WWW, como o Explorer ou Netscape, sem a necessidade de se utilizar um software especial ou um *plugin* para receber o formato de vídeo.

Para o funcionamento desta sistemática toda uma programação deve ser criada na Página Web em HTML. Esta página deverá conter uma programação para que o software de captura de imagens, *Server WebCam* que faz a função de server-push, possa interagir com a página, para que o usuário através do navegador Web receba de forma correta e constante as imagens providas do sistema de controle e supervisão. A página Web principal quando requisitada carrega simultaneamente duas páginas HTML (Web) na qual: uma contém o *layout* do sistema de supervisão e controle e a outra página é responsável pelo controle das imagens.

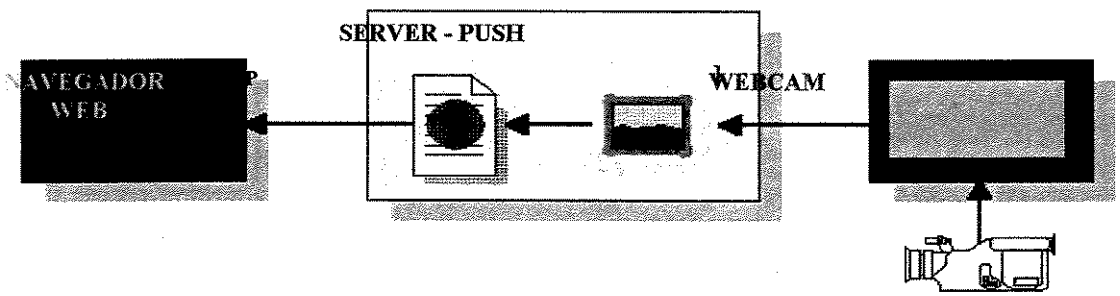


Figura 5.20 – Sistema de Aquisição de Imagens.

Para o funcionamento desta sistemática toda uma programação deve ser criada na Página Web em HTML. Esta página deverá conter uma programação para que o software de captura de imagens, *Server WebCam* que faz a função de server-push, possa interagir com a página, para que o usuário através do navegador Web receba de forma correta e constante as imagens providas do sistema de controle e supervisão. A página Web principal quando requisitada carrega simultaneamente duas páginas HTML (Web) na qual: uma contém o *layout* do sistema de supervisão e controle e a outra página é responsável pelo controle das imagens.

Esta sistemática de separação das páginas foi desenvolvida para possibilitar aos sistemas (captura de imagens e supervisório) uma maior segurança e confiabilidade.

5.5 – Comentários Finais

Neste capítulo foi apresentado sistemática para implementação de um sistema de supervisão e controle em que usuários de qualquer parte do mundo pudessem se conectar a este sistema e obter informações em tempo real com possibilidade de controle e, teve como objetivo, o estudo e desenvolvimento de ferramentas para possibilitar esta implementação.

Verificou-se que a partir do momento em que foram bem definidas as especificações relativas a arquitetura de supervisão e controle o problema se tornou genérico, o que poderá possibilitar a integração de diferentes dispositivos automatizados com partes operativas diferentes.

Foi visto que o protocolo TCP não garante uma aplicação em tempo real, pois existe o problema de atraso. Uma alternativa que poderia ser utilizada em trabalhos futuros para melhorar esta comunicação seria a implementação do protocolo RTP (*Real Time Transport Protocol*) para aplicações em tempo real.

Capítulo 6

Proposta de Implementação de um Hospital inteligente Utilizando Conceitos de Integração de Sistemas

Neste capítulo será realizada a validação do trabalho e metodologia proposta nos capítulos anteriores através da implementação experimental de uma maquete de laboratório correspondente a um Hospital Inteligente, utilizando um sistema comercial de Supervisão e Controle direcionados a área de Automação Hospitalar com Baixo Custo de Implementação.

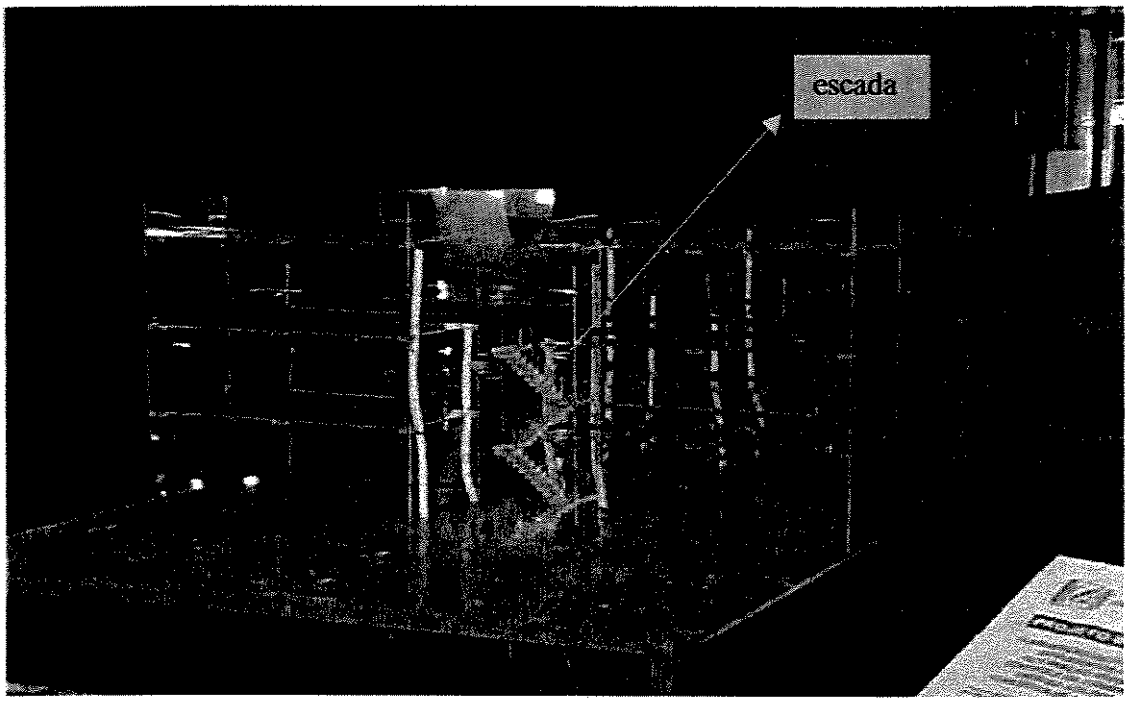
Nesta maquete daremos ênfase ao estudo da Domótica, realizado através da automação de atuadores e sensores visando segurança, controle de iluminação e climatização, controle de consumo de energia, banco de dados permitindo sistemas de acessos e atendimento inteligentes realizados através de sistema de identificação e controle automatizado de acessos, guarita de controle e fluxo de veículos em estacionamento, sistemas de mobilidade: elevador inteligente, dispositivo automatizado de movimentação de cadeira de rodas, tele-cirurgia, etc.

Para validação dos conceitos descritos nos capítulos anteriores, neste capítulo neste será implementado uma Maquete Experimental de um Edifício Inteligente, onde serão enfatizados, os funcionamentos individuais e em conjunto de parte dos elementos a serem automatizados num Hospital. Estes testes serão realizados levando-se em consideração os principais elementos constituintes da Parte Comando e da Parte Operativa.

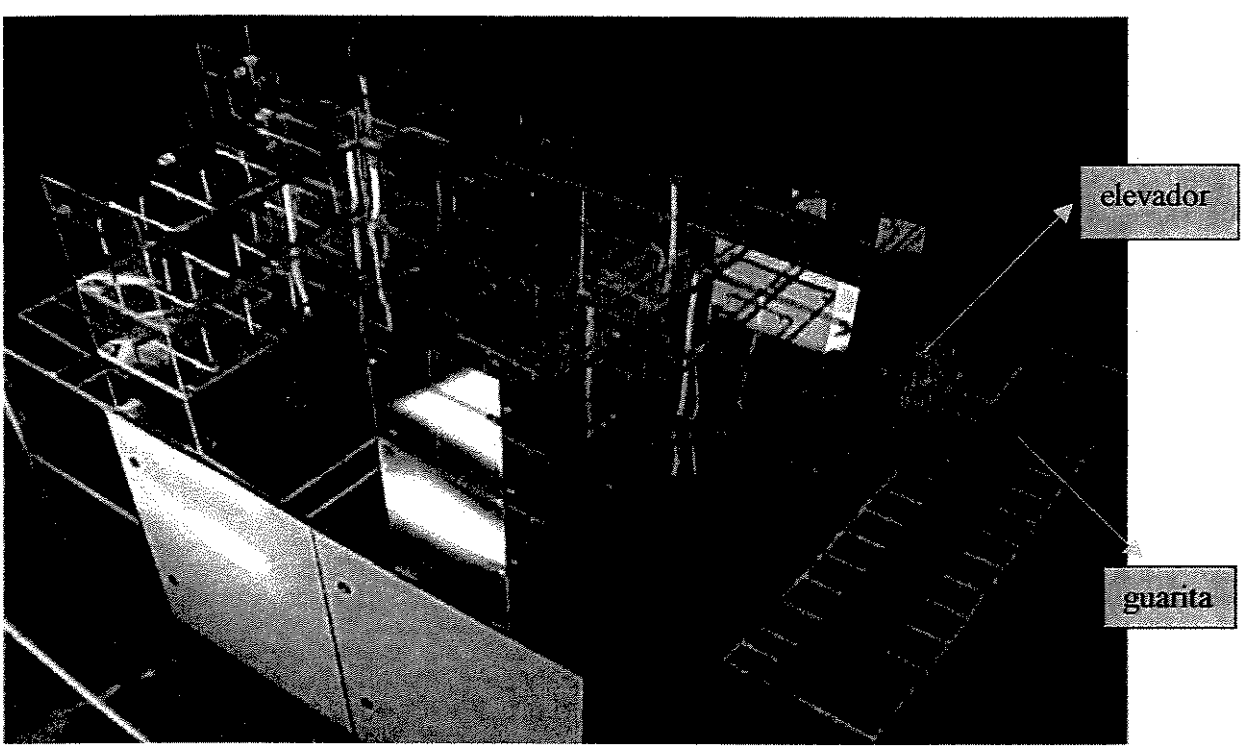
6.1 Proposta de Maquete Experimental de um Edifício Inteligente

No Laboratório de Automação Integrada e Robótica da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP foi implementada uma maquete experimental correspondente a um edifício inteligente, conforme mostra a figura 6.1.

Esta maquete de edifício inteligente, foi confeccionada em acrílico baseada na arquitetura dos blocos existentes no campus da UNICAMP, sendo composto de três pisos, subdivididos em quatro blocos unidos por um corredor central.



(a)



(b)

Figura 6.1 - Maquete Funcional implementada.

Além disso a mesma possuí elementos típicos de um edifício real, tais como escadas de acesso, elevadores, cancela. A figura 6.2 apresenta as maquetes implementadas de um elevador de três andares e de uma cancela automatizada, e a figura 6.3 mostra um detalhe da planta física correspondente ao 2° andar, utilizada para implementação da maquete. No anexo IV deste trabalho são apresentadas as plantas físicas correspondentes aos outros andares do bloco.

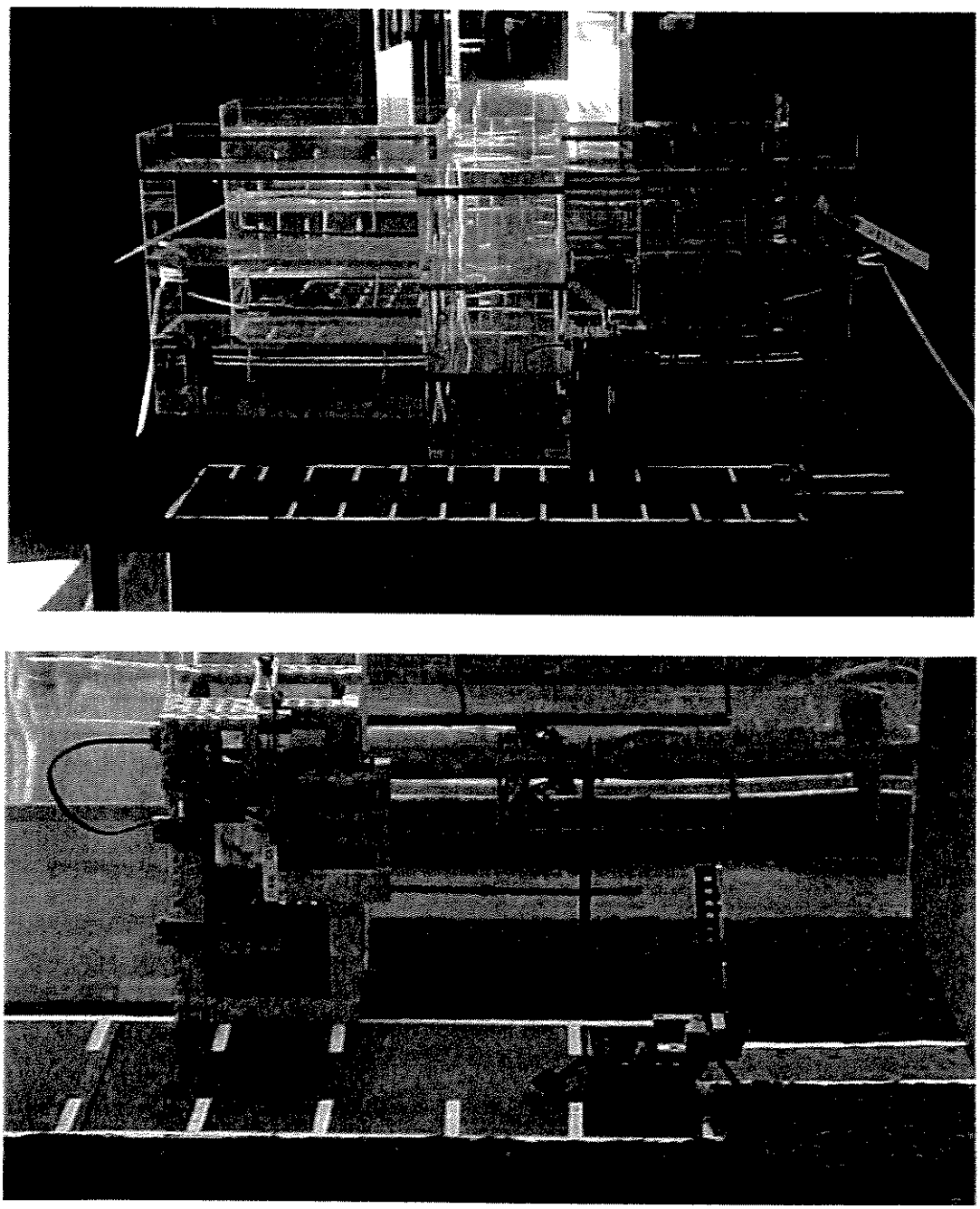


Figura 6.2 – Maquete de Edifício Inteligente e detalhe elevador e cancela.

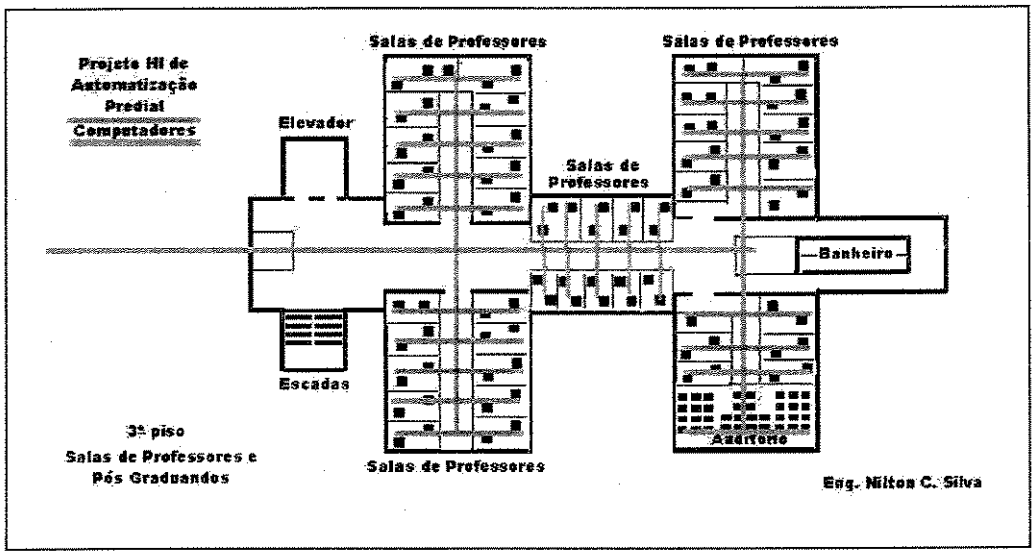


Figura 6.3 – Planta física correspondente ao 2° piso.

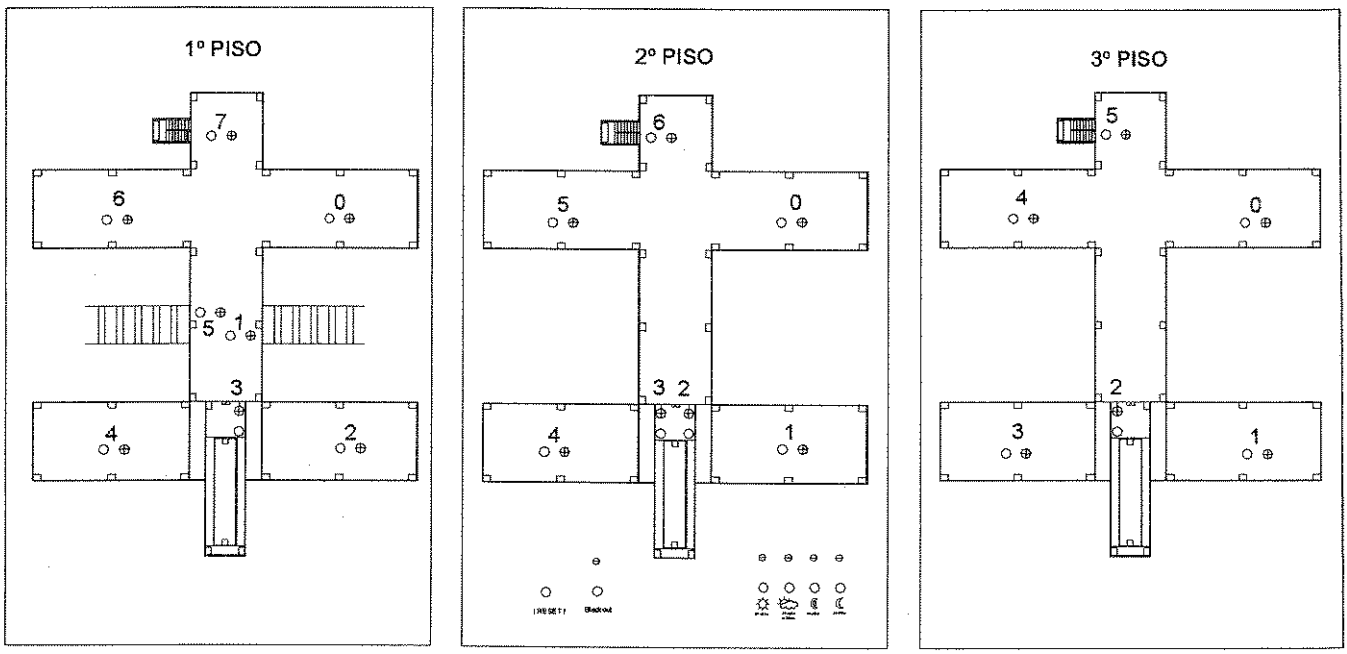
6.2 Aplicação I: Controle de Variáveis de Sistemas Domóticos (temperatura, conforto, iluminação)

6.2.1 - Implementação da Parte Operativa

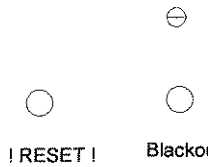
Com o intuito de simulação serão utilizadas lâmpadas - LED's para representar os sistemas de iluminação, sistema de emergência e sistema de ar condicionado. Assim, os LED's amarelos simularão a iluminação de salas, corredores e áreas externas, os LED's vermelhos a iluminação de emergência e os LED's verdes o sistema de condicionamento de ar. Os LED's serão dispostos de forma semelhante à existente na arquitetura real a fim de tornar as simulações mais realistas.

As simulações serão realizadas em um painel contendo a planta de cada um dos três pisos (figura 6.4) onde serão fixados botões *push-buttons* que farão o papel dos sensores de presença. Será possível a simulação de um *black-out* de energia bem como a simulação de luminosidade em um dia nublado ou ensolarado, à noite, durante o dia e durante a madrugada.

Ao mesmo tempo, serão implementadas metodologias direcionadas na área de Domótica, mais especificamente na área de Sistema de Segurança Eletrônica, destinados a proteção de ambientes. Esse sistema foi realizado a partir da elaboração de módulos estruturados para o acionamento e controle de dispositivos de acessos (entradas e saídas) do ambiente, os quais são gerenciados através de um sistema central de supervisão e controle de informações. No anexo III desta tese são apresentadas as especificações completas das E/S.



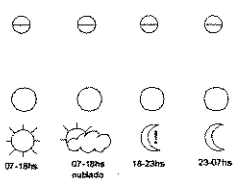
observação: Os números em vermelho correspondem aos push-buttons que simulam o sensor de presença.



Botão de *reset* que reiniciará a simulação apagando todos os leds que estiverem acesos.

Botão de simulação de Black-Out, quando todas as luzes de emergência acenderão.

As circunferências representam a posição dos *push-buttons* e as circunferências riscadas representam a posição de um LED indicador.



Botões para escolha do período do dia e condições do tempo. Período de 7 às 18hs em um dia ensolarado. Período de 7 às 18hs em um dia nublado, com pouca luminosidade. Período de 18 às 23hs, quando há aulas noturnas e portanto, há uma redução da iluminação. Período de 23 às 7hs, onde as luzes estarão apagadas e só acenderão mediante a presença de alguém no prédio.

Figura 6.4 - Representação da Planta dos três pisos da maquete.

Os dispositivos de acesso a ambientes são dispositivos eletrônicos dedicados, desenvolvidos utilizando circuitos lógicos programáveis, podendo ser constituídos de teclados de acionamento, leitores magnéticos ou códigos de barras, sensores indutivos de abertura para portas, janelas, de movimento para ambientes, de fumaça, acionadores de emergência, incêndios, poluição de qualquer origem.

6.2.2 - Implementação de Programa Lógico na CLP

Devido ao grande número de entrada/saídas digitais utilizadas, o programa lógico desenvolvido nesse projeto de pesquisa será implementado a partir da utilização de Controladores Lógicos Programáveis industriais - CLP's ligadas através de rede de comunicação. A figura 6.5 mostra um CLP industrial típico.

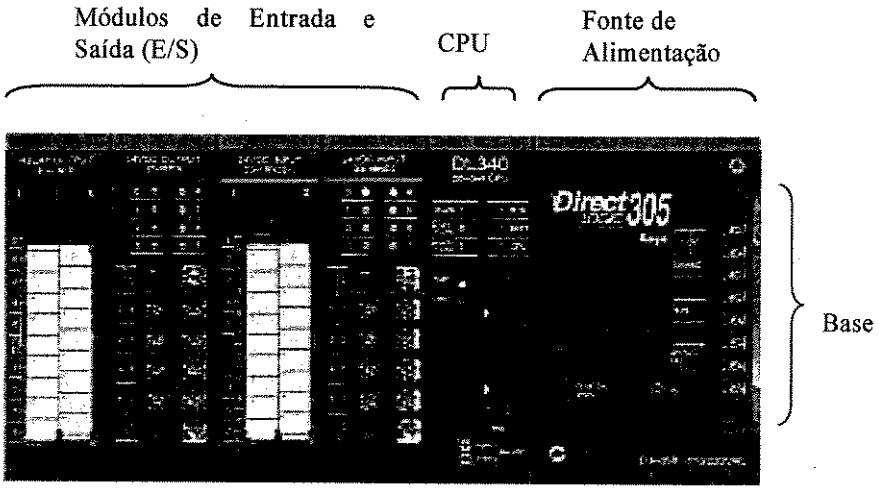


Figura 6.5 - CLP industrial típico.

A maquete experimental destinada à pesquisa, ensino e desenvolvimento em Domótica. Constituem-se de dispositivos automatizados responsáveis pelo gerenciamento e controle de informações, através da implementação de um Sistema de Supervisão e Controle, composto de sub-sistemas de comando independentes, feito através de um CLP para cada sistema automatizado. Um Sistema de Supervisão é responsável pelo monitoramento de informações e controle de informações, e também pela integração entre estes.

Toda a programação foi implementada em SFC – Sequential Flow Chart, seguindo a norma IEC 1131, disponível nesses equipamentos. Por se tratar de uma arquitetura aberta, isto permitirá que o sistema seja facilmente expansível para outras aplicações direcionadas a Domótica. A figura 6.6 apresenta uma tela típica de programação.

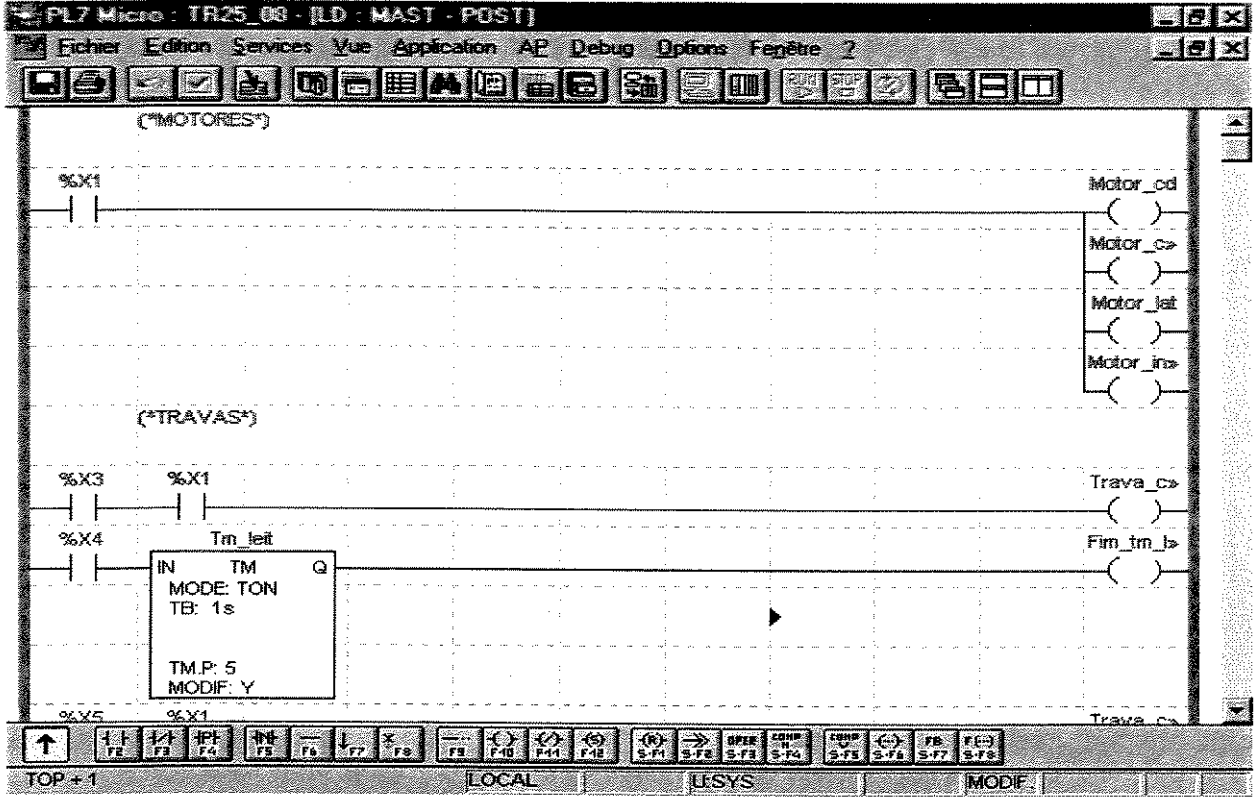


Figura 6.6 - Exemplo de tela de programação utilizando o SFC.

6.2.3 – Sistema de Supervisão e Controle

A supervisão atua de maneira automática e normalmente conta com o auxílio de um operador que poderá interferir no sistema por intermédio dessa interface. Esta se constitui num elemento de fundamental importância no Sistema de Supervisão, devendo permitir o monitoramento dos processos de modo hierárquico.

O Sistema de Supervisão estaria residente num PC, e sua placa I/O seria responsável pela comunicação com os CLP's, leitores de código de acesso e demais dispositivos externos. Toda comunicação é feita a partir do Sistema de Supervisão, central; não há comunicação individual e direta com cada posto de trabalho. O diálogo entre o Sistema de Supervisão e as partes constituintes da plataforma é feito através de um protocolo de comunicação em modo mestre-escravo: o CLP de cada sistema automatizado envia informações somente no momento em que estas são requisitadas. A comunicação deverá ser realizada através de interface multi-serial com os diferentes CLP's. A figura 6.7 apresenta a proposta de rede de comunicação utilizada.

Como subsistema de um Sistema Automatizado, o Sistema de Supervisão é, a rigor, um sistema de comunicação no sentido mais amplo da palavra, pois engloba: a visualização de processos, sistema de informação, interface com usuário no que se refere à intervenção de controle e ligação entre a parte operacional dos processos e os sistemas mais altos em hierarquia de planejamento.

A integração entre os diferentes constituintes operativos da Plataforma Domótica e sistema de gerenciamento é realizada a partir do Sistema de Supervisão, que tem como uma das tarefas receber as informações dos diferentes sensores e dispositivos domóticos e colocá-los a disposição dos níveis superiores de gerenciamento. Esta integração possibilita o acompanhamento em tempo real de variáveis e estados representativos das operações em curso dos diferentes sub-sistemas, com a finalidade de tomada de decisões operacionais, otimização dos processos e criação de históricos.

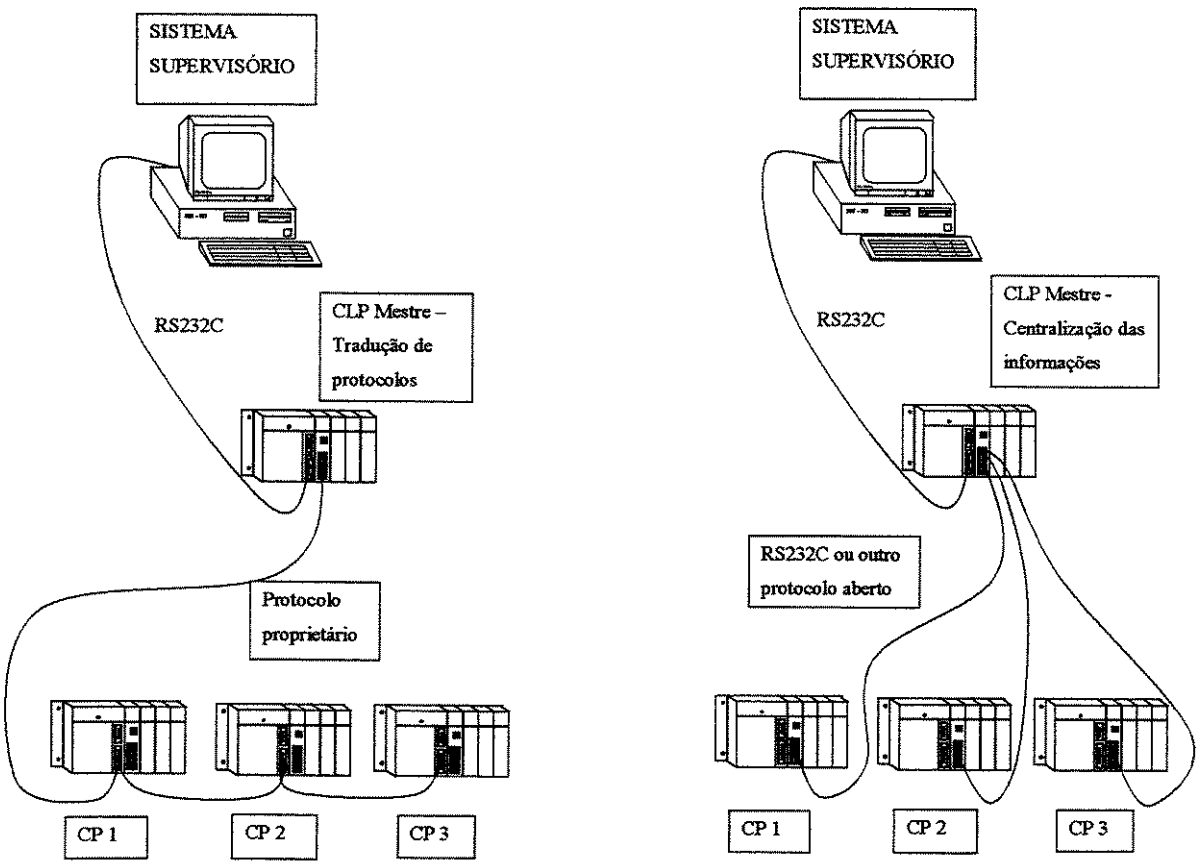


Figura 6.7 – Proposta de Rede de Comunicação.

A aquisição de dados provenientes dos sistemas automatizados a serem repassados ao Sistema de Supervisão, são realizadas através de CLP's e computadores dedicados com interfaces de aquisição de informações (código de barras, Input/Output, etc.). Este sistema recebe também orientações do Sistema de Gestão de Informações para determinar as operações de produção, conseqüentemente o Sistema de Supervisão deve dialogar com os sistemas localizados hierarquicamente acima e abaixo dele.

Nesta etapa foram implementados através da utilização de um Sistema de Supervisão e Controle Industrial, uma interface de visualização gráfica que permitirá uma melhor interação com o usuário. O programa computacional implementado foi estruturado sob a forma de bibliotecas de modo a permitir o desenvolvimento de uma estrutura aberta para ser utilizada em futuras aplicações, sendo constituído dos seguintes módulos:

1. Módulo de testes: responsável pelos testes de comunicação entre a interface utilizada e o dispositivo de medição de falhas;
2. Módulo de visualização de informações e movimentos;
3. Módulo de Inicialização e aprendizagem: elaboração de funções básicas para realização de operações de aprendizagem e inicialização do dispositivo;
4. Módulo de Supervisão e Controle: Execução e monitoramento dos dispositivos de E/S.

6.2.4 – Tele-operação

Durante a elaboração desse trabalho foi especificado e implementado um Sistema de Supervisão Cooperativa para gerenciamento de informações em que suas funções e componentes estejam em estado da arte, e que se apresente totalmente adequado a DOMÓTICA, subdividido em subsistemas mais flexíveis e com maior número de funções na área de Automação, os estudos e pesquisa dentro do tema proposto levarão a uma sólida formação na área de Domótica.

Basicamente o aplicativo será implementado num sistema de supervisão e controle industrial, através do desenvolvimento de uma interface amigável em ambiente Windows, que permitirá o interfaceamento das variáveis de medição com ordens de comando. Operações de tele-operação à distância deverão ser implementados utilizando arquiteturas cliente/servidor já utilizadas no meio industrial (figura 6.8). Convém ressaltar que todas essas funções devem ser desempenhadas em tempo real, para que o monitoramento funcione adequadamente.

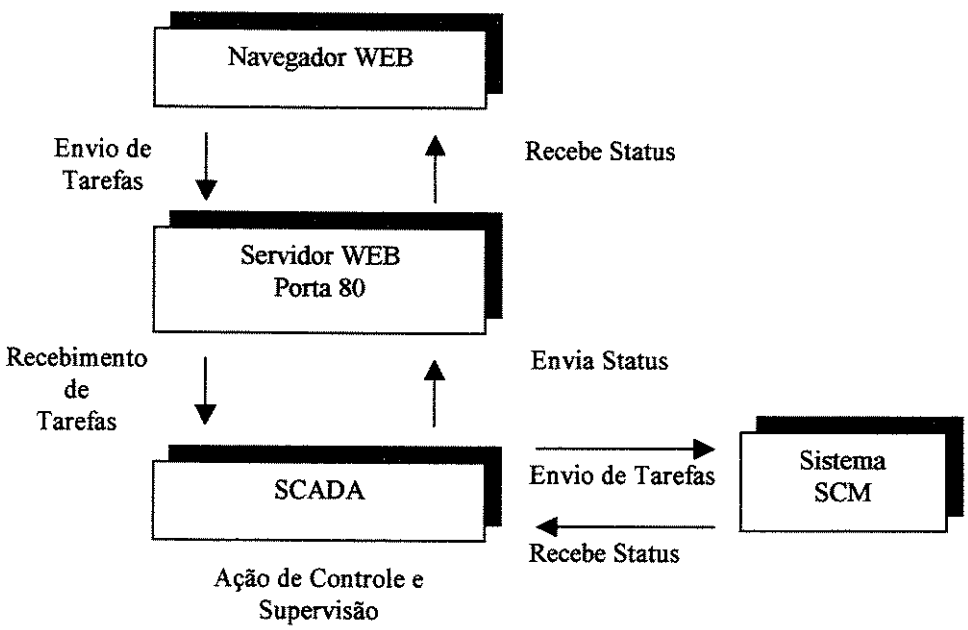


Figura 6.8 - Tele-operação utilizando a Arquitetura Cliente/Servidor

6.2.5 – Validação e Testes

Durante o desenvolvimento desta etapa serão testadas e validadas as arquiteturas de Supervisão e Controle de Sistemas de Automação Predial, considerando períodos de funcionamento, critérios de economia de energia, segurança da aplicação, etc. Essa maquete apresentando diversos elementos na área de Domótica, deverá servir como elemento incubador no sentido de implementarmos na UNICAMP o conceito de Hospital Inteligente.

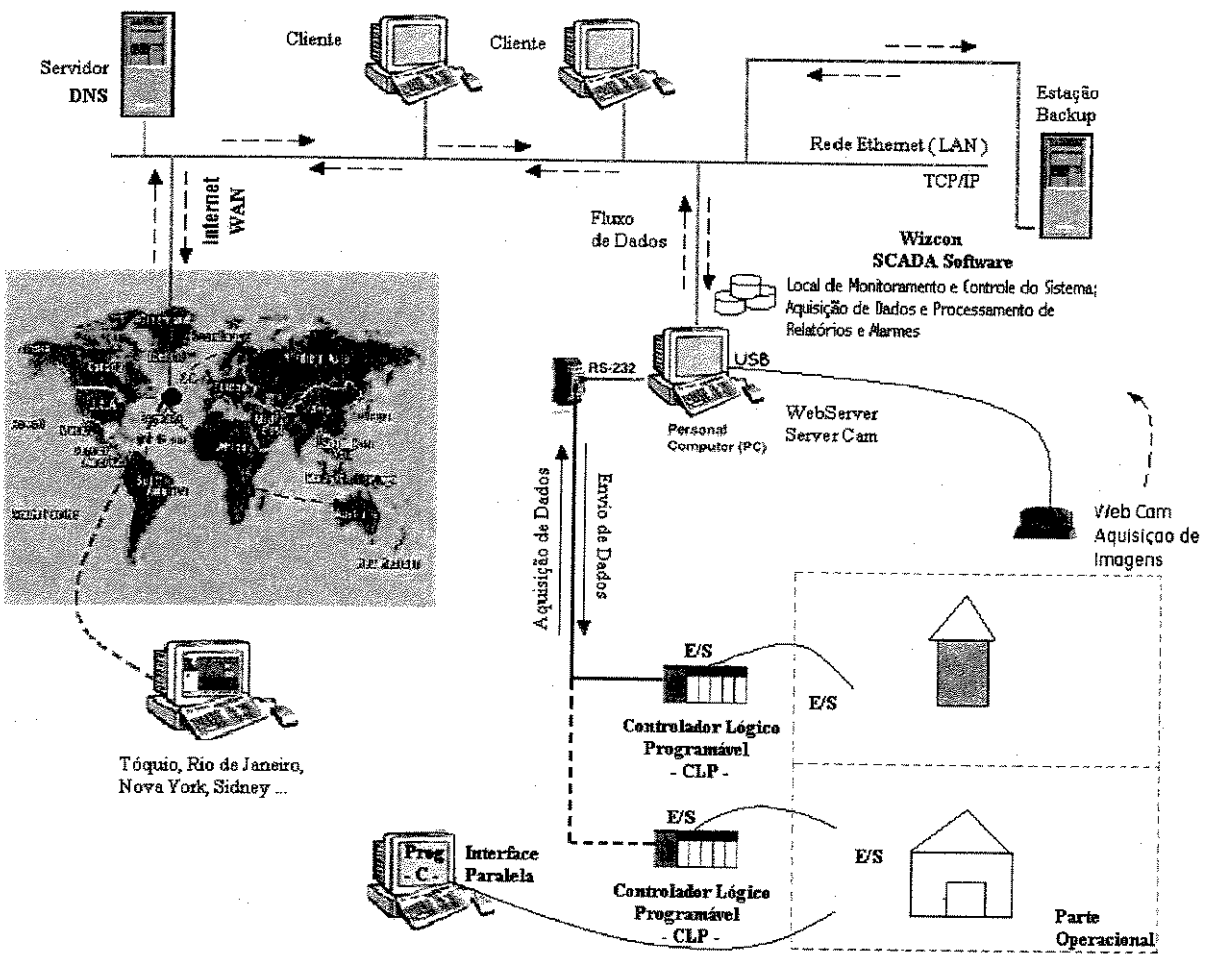


Figura 6.9 - Rede de Comunicação Domótica.

No que diz respeito ao conceito de Hospital Inteligente, pretende-se centralizar o Sistema de Supervisão e Controle de Informações num determinado lugar. Por isso, a comunicação entre este e o Sistema de Supervisão se daria por via remota. A interligação das entidades realizar-se-ia via Internet. Estes sistemas utilizariam suporte de rede TCP/IP (*Transport Control Protocol/Internet Protocol*) sobre meio físico já implantado (*Ethernet* e linha provada). A utilização deste padrão de comunicação possibilitaria a conexão com outros instituições e Hospitais sem grandes dificuldades.

Além disso, teríamos um outro Sistema de Supervisão na FEM-UNICAMP. Com essa configuração, o Sistema de Supervisão atuaria de forma cooperativa, o que facilitaria a comunicação entre as duas instituições e evitaria a necessidade de duplicação do Sistema Domótico ou por outras unidades que se interligassem ao projeto. Assim, pretende-se adquirir experiência em controle cooperativo à distância. A figura 6.9 apresenta uma proposta de implementação final.

Este Sistema de Supervisão Cooperativa permitiria também o controle visual remoto dos processos em operação na plataforma, por meio de micro-câmeras de vídeo instaladas nos postos de trabalho.

6.3 Aplicação II: Controle de Acessos – Elevador com três andares

Outra aplicação típica, que foi implementada na maquete experimental correspondente a integração de um elevador inteligente. Esse elevador é constituído sensores em todos andares, sistema de segurança, permitindo um funcionamento dentro dos padrões de segurança. A figura 6.10 apresenta um esboço da Parte Operativa e Comando do projeto de um elevador inteligente.

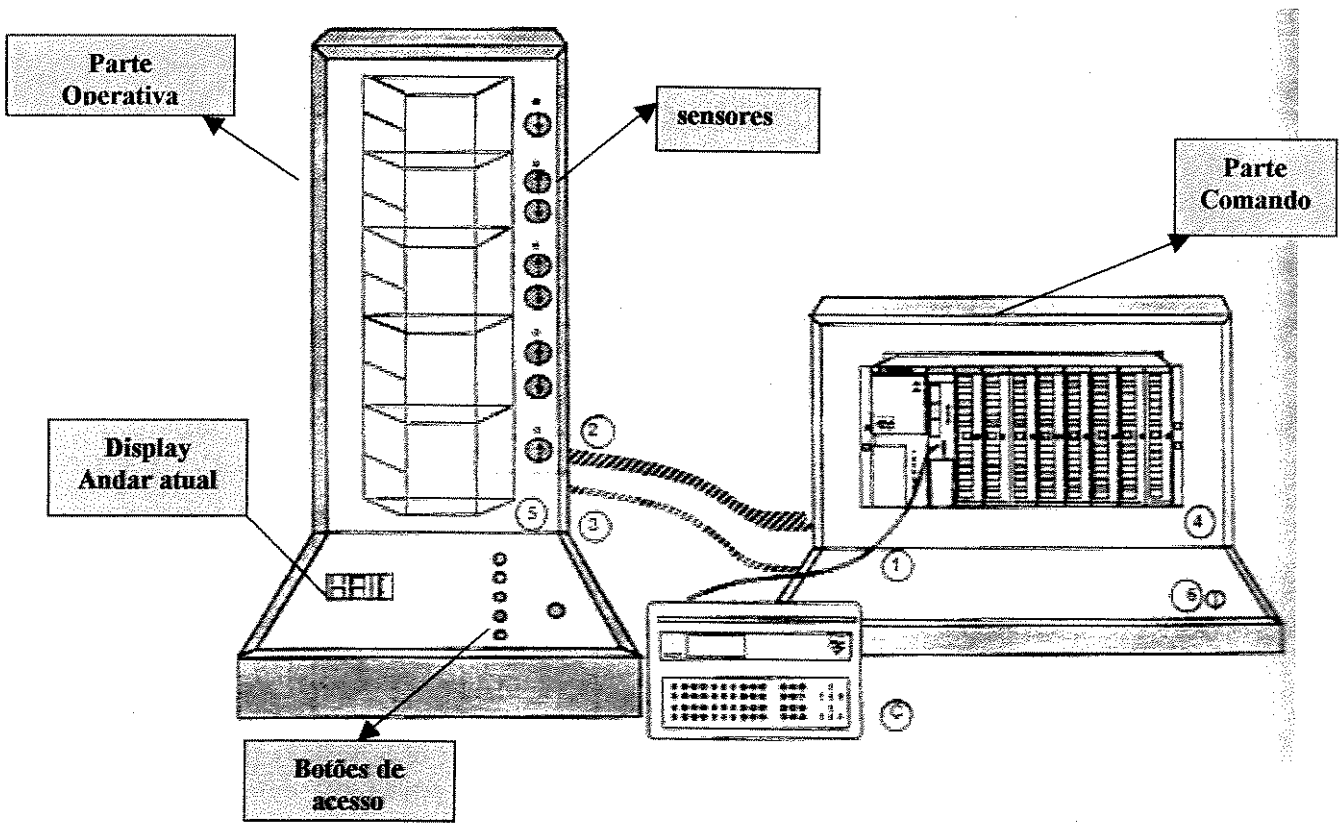


Figura 6.10 – Elevador Inteligente.

A parte operativa deste elevador é constituída de diversos sensores tais como sensores de detecção de fechamento de porta, posicionamento da cabine, LED's sinalizando a chamada do andar, e sistema de *displays* indicando o andar atual, chaves de posição correspondentes à chamada dos andares no interior e exterior a cabine. Um motor de corrente contínua, controlado em dois sentidos realiza a movimentação da cabine.

A parte operativa deste elevador foi confeccionada utilizando elementos LEGO™, permitindo de uma maneira rápida a validação da Parte Comando e sua integração com os outros elementos da planta Domótica elaborada (figura 6.11). A Interface de comando é basicamente a mesma explicitada anteriormente, onde toda a programação de movimentos foi realizada em GRAFCET.

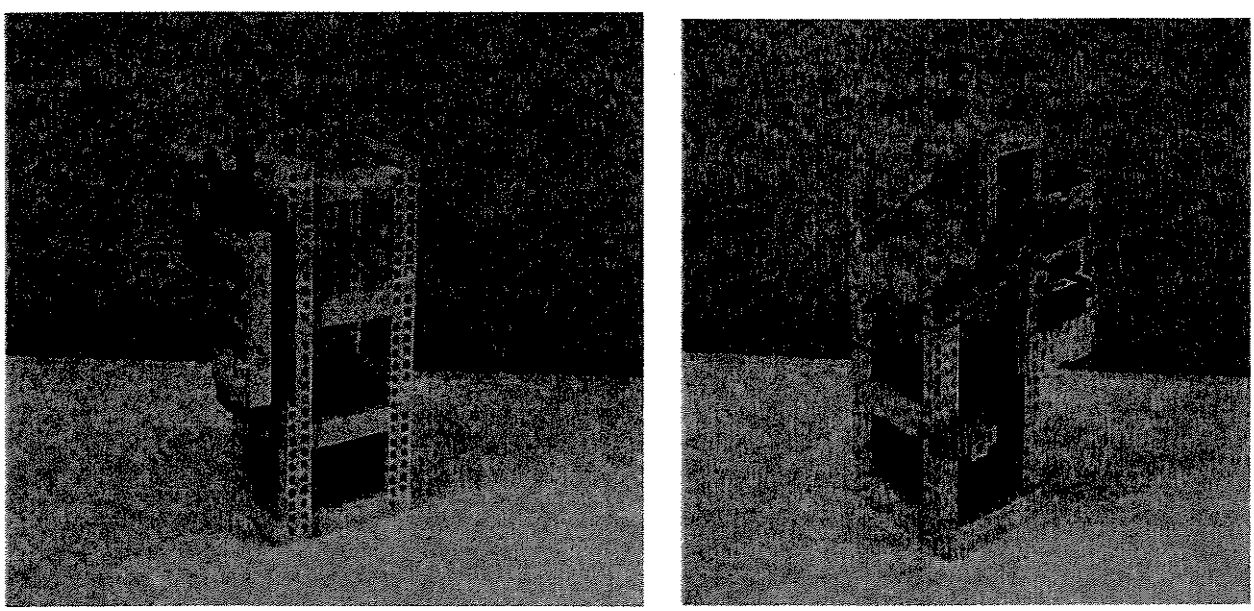


Figura 6.11 – Elevador com três andares implementado.

6.4 Aplicação III: Controle de Acessos – Cancela Automatizada

Analogamente as aplicações anteriormente descritas, foram implementadas na maquete experimentais correspondente a integração de uma cancela automatizada para controle de veículos no estacionamento. Essa cancela é constituída sensores, sistema de segurança, permitindo um funcionamento dentro dos padrões de segurança.

A parte operativa deste elevador foi confeccionada utilizando elementos LEGO™, permitindo de uma maneira rápida a validação da Parte Comando e sua integração com os outros elementos da planta Domótica elaborada (figura 6.12). A Interface de comando é basicamente a mesma explicitada anteriormente, onde toda a programação de movimentos foi realizada em GRAFCET.

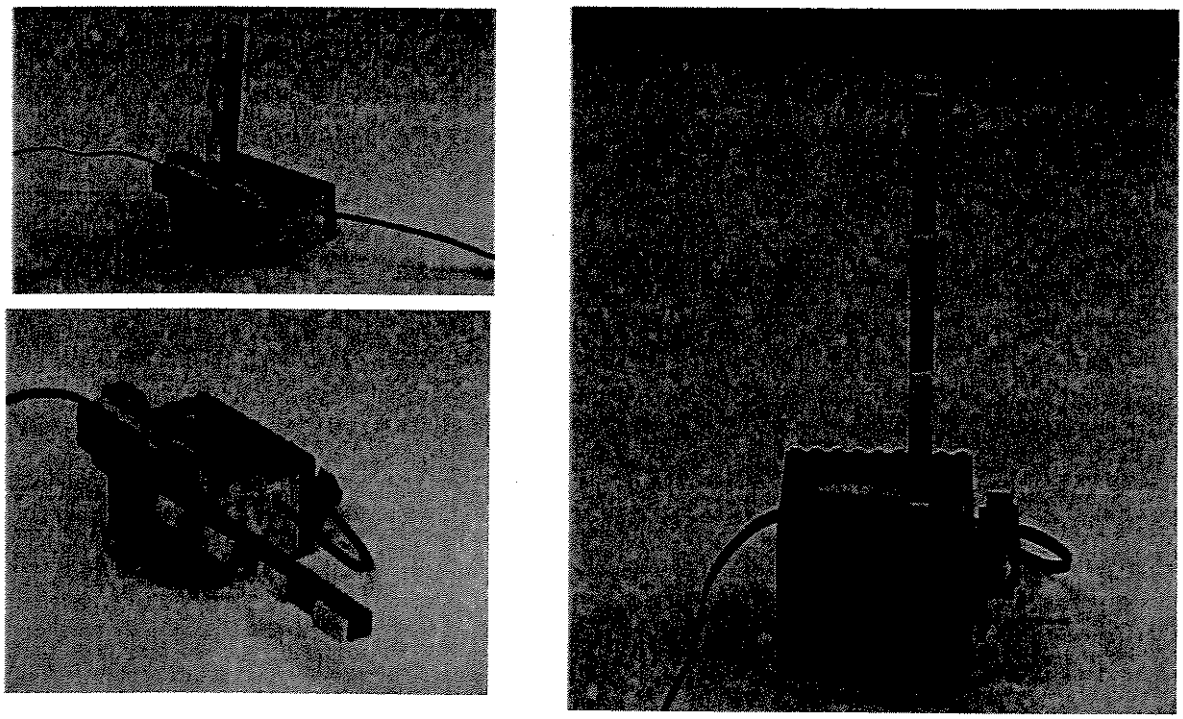


Figura 6.12 – Cancela Automatizada para Controle de Fluxo de Veículos no Estacionamento.

6.4.1 Especificação Funcional

O acionamento automatizado da cancela para controle de fluxo de veículos no Estacionamento, será realizado através de uma única botoeira, que poderá realizar a abertura e o fechamento total da cancela, além de interromper tais movimentos a qualquer instante.A figura 6.13 apresenta o GRAFCET funcional de controle automatizado da cancela.

Um motor elétrico é acoplado mecanicamente a cancela, permitindo a realização dos movimentos pela inversão do sentido de rotação. 0 Sistema Automatizado terá o seguinte comportamento:

- no primeiro acionamento da botoeira, inicia-se a abertura da cancela;
- a interrupção do processo de abertura se dá através de um novo acionamento da botoeira (com cancela em movimento) ou pela abertura total da cancela (acionamento através do sensor de final de curso 1);
- estando o portão totalmente aberto (sensor de final de curso 1 acionado), ou tendo sido interrompida a abertura da cancela, no próximo acionamento da botoeira inicia-se o fechamento da cancela;
- a interrupção do processo de fechamento da cancela se dá por meio de novo acionamento da botoeira (com a cancela em movimento) ou pelo fechamento total da cancela (acionamento do sensor de final de curso 2);

- estando a cancela totalmente fechada (sensor de final de curso 2 acionado), ou tendo sido interrompido o fechamento, no próximo acionamento da botoeira inicia-se o processo de abertura do portão;

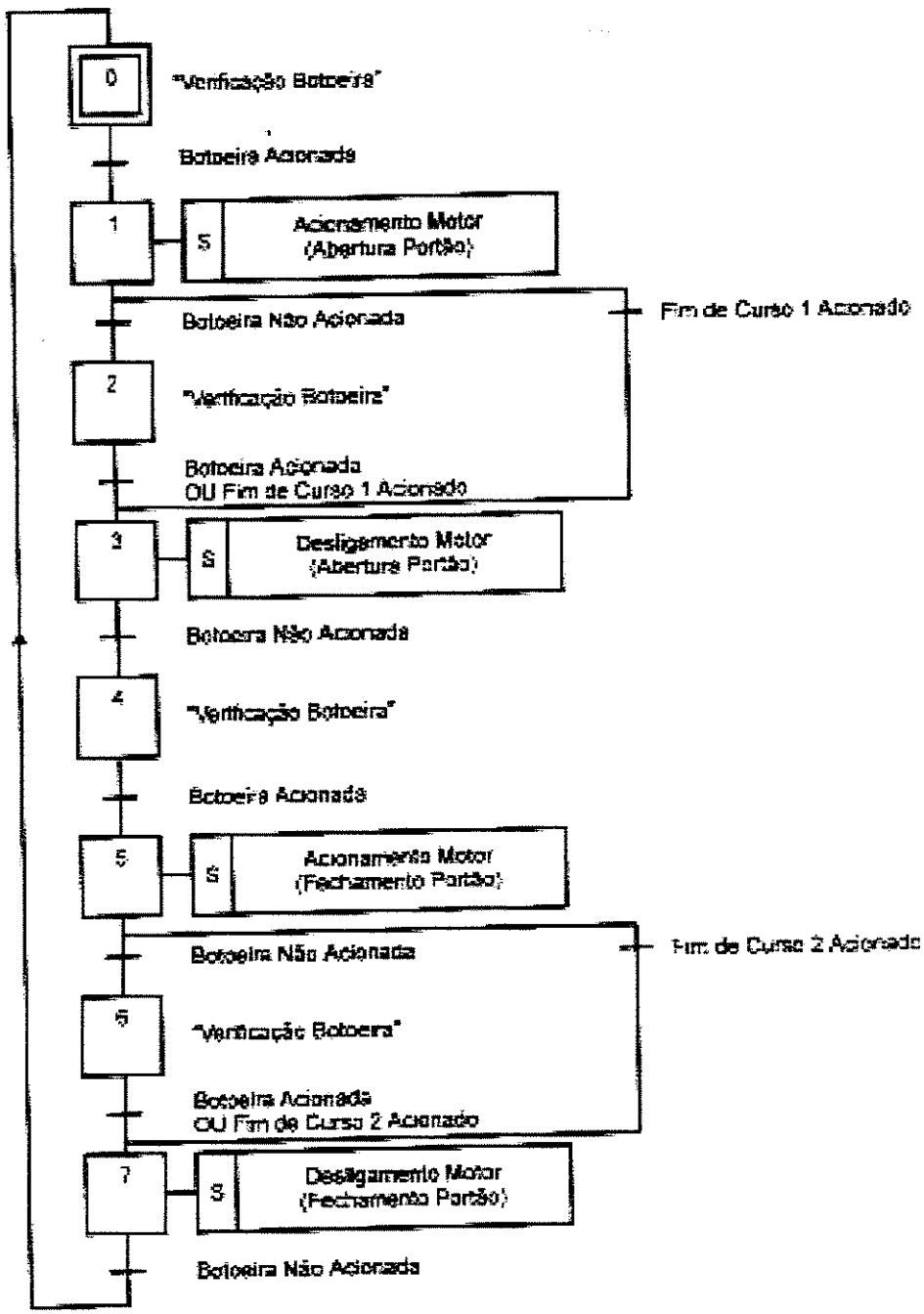


Figura 6.13 – GRAFCET Funcional da Cancela Automatizada.

6.5 Aplicação IV: Controle de Acessos – Porta Automatizada

O sistema em desenvolvimento é aberto e flexível à integração, pois é formado por módulos integráveis e sua Parte Comando (Hardware associado) industrial, o que permite uma possível extensão de aplicações na área de Domótica tais como outras unidades prediais (gerenciamento de redes locais, acesso a modem, etc.). A Parte Operativa é constituída de elementos de baixo custo. A estruturação do problema permite facilmente a sua integração e extensão a outras aplicações direcionadas a área de Domótica.

6.5.1 Parte Comando

A Parte Comando é representada pelo Sistema Supervisório, que é um programa residente num computador pessoal, que se comunica com os módulos de controle de acesso, seja ele via teclado ou via leitor de código de barras, banco de dados e pode ainda se comunicar via rede com um outro computador pessoal. O diálogo entre o Sistema de Supervisão e as partes constituintes da plataforma é feito através de um protocolo de comunicação em modo mestre-escravo: uma interface lógica dedicada disponível em cada porta de acesso envia informações somente no momento em que as mesmas são requisitadas (por exemplo, digitalização do código de abertura de uma porta).

O sistema supervisório desenvolvido nesse projeto de pesquisa se dedica ao controle de quatro portas da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP simultaneamente. O controle se dá por meio de dois modos de acesso: um via código de barras e através de um teclado numérico, evitando assim que haja fraudes contra o sistema, pois um usuário impostor necessitaria além da posse de um cartão de código de barras, a senha associada ao mesmo para que consiga entrar no prédio onde foi instalado o sistema de segurança. A figura 6.14 apresenta a arquitetura de comando implementada durante a realização desse trabalho.

6.5.2 Parte Operativa

A Parte Operativa do sistema implementado é constituída de uma interface eletrônica (hardware dedicado) desenvolvida com componentes lógicos reprogramáveis comerciais (Altera™) para controle dos seguintes elementos: fechadura com trava magnética, sensor indutivo para verificação se a porta esta aberta ou fechada, LED's de sinalização de entrada/saída, alarme (campainha), leitor de código de barras e teclado numérico. Ainda encontramos um elemento multiplexador que foi utilizado para o chaveamento das informações (E/S) provenientes das portas de acesso, necessário pelo uso da interface paralela de um PC.

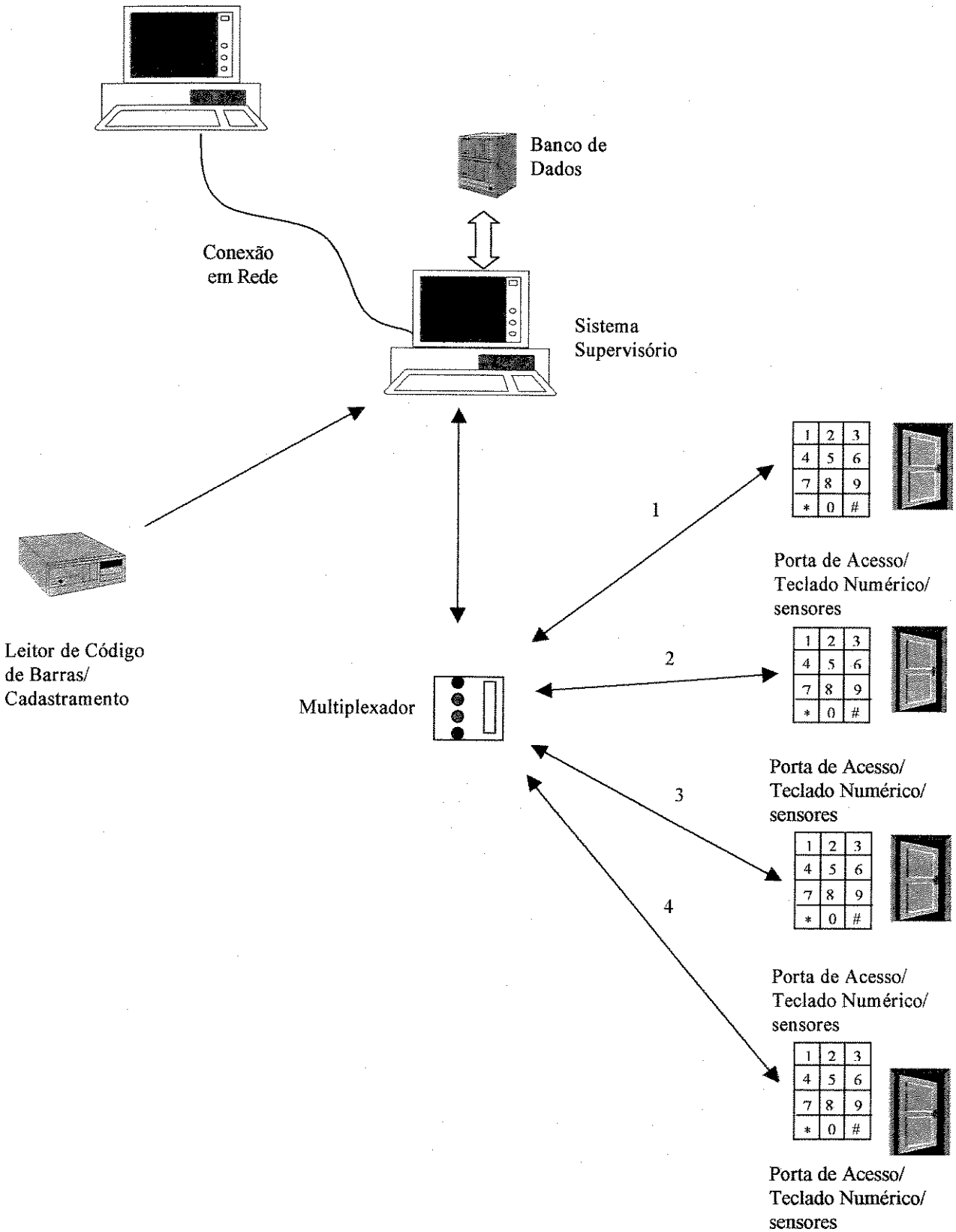


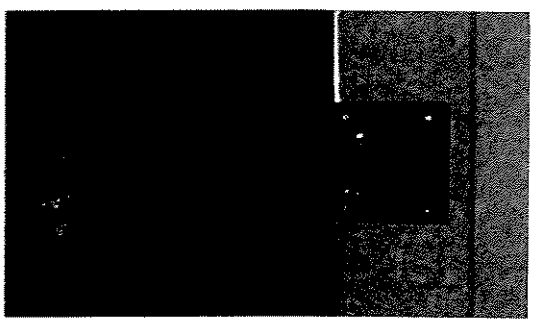
Figura 6.14 - Exemplo de Arquitetura Operacional implementada.

6.5.2.1 Descrição dos elementos operativos

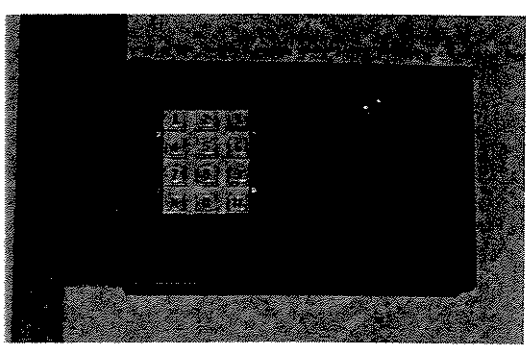
Leitor de Código de Barras (figura 6.15a): Este dispositivo identifica o usuário através da leitura do cartão com código de barras e acesso a banco de dados. É possível identificar nome do usuário, categoria funcional (aluno, funcionário, visitante, professor), número de registro na faculdade, etc. Estas informações acrescidas da hora/data de entrada e/ou saída ficarão registradas para controle e segurança das portas.

Teclado Numérico (figura 6.15b): Este dispositivo não foi implementado na primeira versão proposta, e seu uso esta associado ao leitor de código de barras. O teclado é parte integrante do circuito lógico - que está acoplado a cada porta de acesso - e tem como objetivo a entrada de senhas pessoais dos usuários.

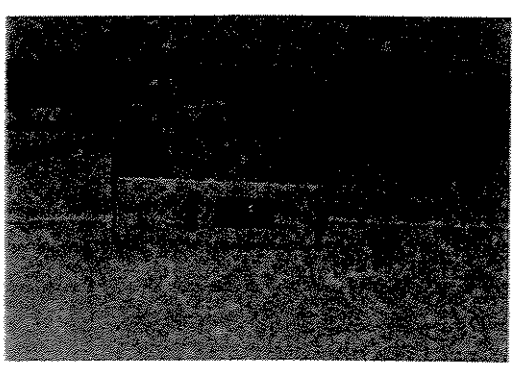
Elemento multiplexador (figura 6.15c): decodifica qual a porta que troca informações com o Supervisor, utilizando programação lógica.



a) leitor de código de barras



b) teclado de acesso



c) Sistema Multiplexador

Figura 6.15 – Elementos Constituintes da Parte Operativa.

6.5.3 Descrição Funcional do Sistema Implementado

O leitor de cartão magnético ou código de barras está disponível na entrada principal de acesso aos Departamentos da Faculdade. O usuário deve acionar um "botão de entrada", que é traduzido por um sinal lógico enviado ao sistema supervisório para que esse se prontifique `a leitura do código de barras.

Através da leitura do código de barras, à Parte Comando verifica no banco de dados disponível no Sistema de Supervisão se o usuário está cadastrado. Esse banco de dados foi desenvolvido através do software Access™, que deverá conter informações relativas ao usuário cadastrado, tais como identificação completa, senha, acesso individual e limitado, além de outras informações, como o histórico dos horários de entrada/saída. A partir dessa identificação, uma ordem de abertura é enviada a porta, permitindo a entrada do usuário pela porta principal da Faculdade. A partir daí, o usuário estará autorizado a digitar a sua senha nos teclados dedicados implantados nas diversas portas internas da Faculdade.

Em cada porta interna se encontra um módulo constituído de um teclado numérico e interface eletrônica para comparação de códigos de acesso, implementada a partir de componentes lógicos reprogramáveis ALTERA™ (figura 6.16), com comunicação direta com o Sistema de Supervisão. É importante ressaltar que o usuário não consegue acessar qualquer uma das portas interiores ao prédio, e sim somente as que lhe são autorizadas e registradas em banco de dados.

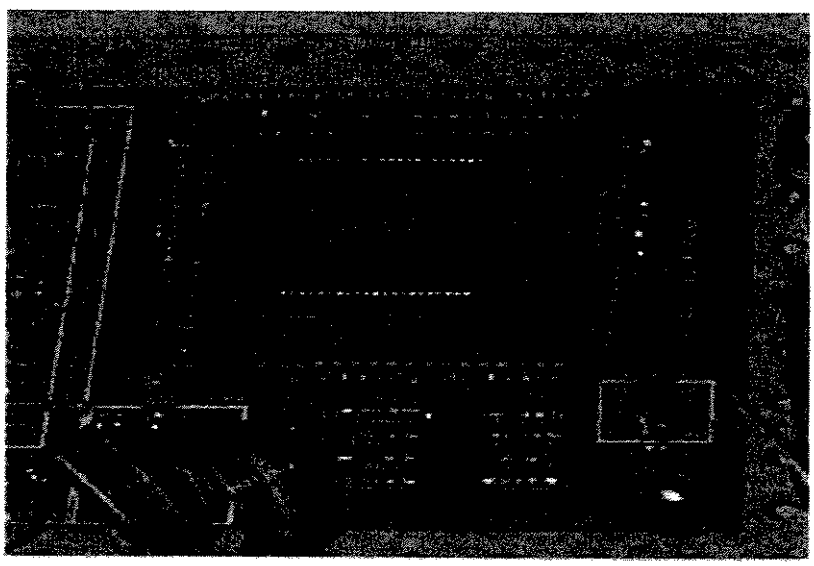


Figura 6.16 – Implementação da Parte Comando em Lógica Reprogramável.

Diante da porta o usuário deve digitar sua senha pessoal para que lhe seja aberta à porta. A decodificação das portas de acesso é realizada por um elemento multiplexador, que interliga o Supervisor aos elementos operativos da porta: teclado como elemento de entrada ou trava magnética como de saída.

O termo "entrada" significa que a senha digitada no teclado e enviada ao Supervisor "entra" como um sinal lógico decodificado pela porta paralela, e a partir dessa entrada de dados o sistema decide pela abertura ou não da porta; pelo mesmo modo que recebeu, o Sistema de Supervisão envia um outro sinal que "sai" do micro e aciona a trava magnética para a abertura da porta.

6.5.4 Implementação

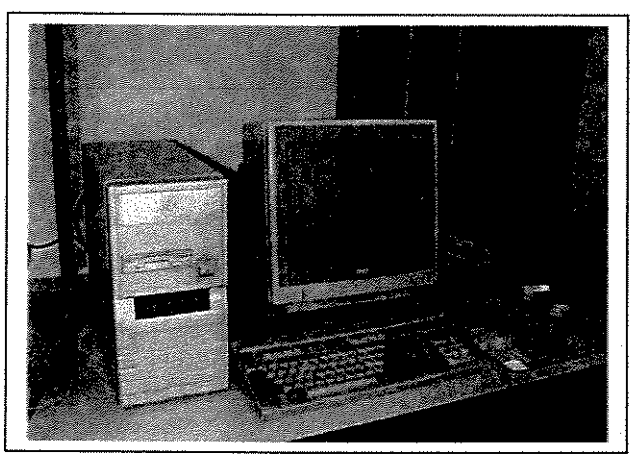
Tendo em vista o alto grau de estruturação que envolve a implementação desse dispositivo, o mesmo foi desenvolvido através de módulos integráveis. Foram implementadas várias etapas de testes, visando o funcionamento individual e conjunto de cada um dos elementos de nossa aplicação voltada a Domótica.

Dentro desse contexto, para a implementação final e validação de um modelo de sistema seqüencial para controle de acessos, tornou-se imprescindível à construção de uma maquete de laboratório, correspondente a uma porta de acesso. Isto permitiu a validação dos programas computacionais desenvolvidos e validação de resultados, antes da colocação do sistema definitivo numa porta de acesso.

6.5.4.1 Parte Operativa

A Parte Operativa dessa maquete é constituída basicamente dos seguintes elementos: fechadura com trava magnética, sensor indutivo para verificação se a porta esta aberta ou fechada, LED's de sinalização de entrada/saída, alarme (campainha), leitor de código de barras e teclado numérico (figura 6.17).

a) Maquete Implementada



b) Parte Comando

Figura 6.17 - Protótipo implementado – Parte Operativa.

Para a realização de testes iniciais foram definidos dois modos de funcionamento do sistema proposto inicialmente no estudo:

Modo Normal: a porta abre e fecha independente do sistema supervisório desenvolvido, ou seja, independente da leitura de cartão magnético.

Modo Código de Barras: é exigida a leitura do código de barras; somente indivíduos com acesso permitido podem passar pela porta, sendo registrada a movimentação.

6.5.4.2 Parte Comando

Foi implementado um Programa Supervisor que verifica a todo instante a situação dos sensores, até o momento em que algum usuário deseje entrar por alguma porta; então, o programa executa sua função para abertura da porta e continua sua leitura incessante dos sensores (figura 6.18).

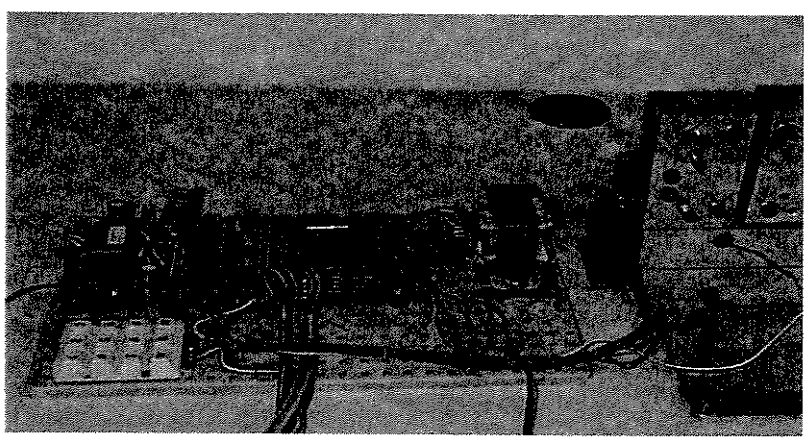
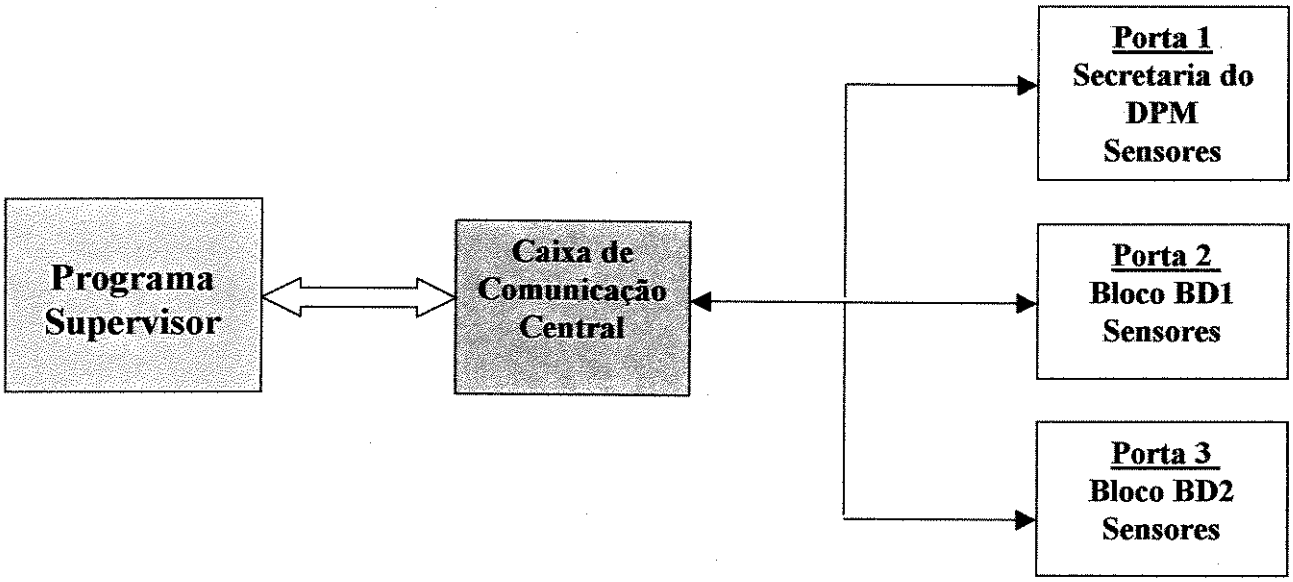


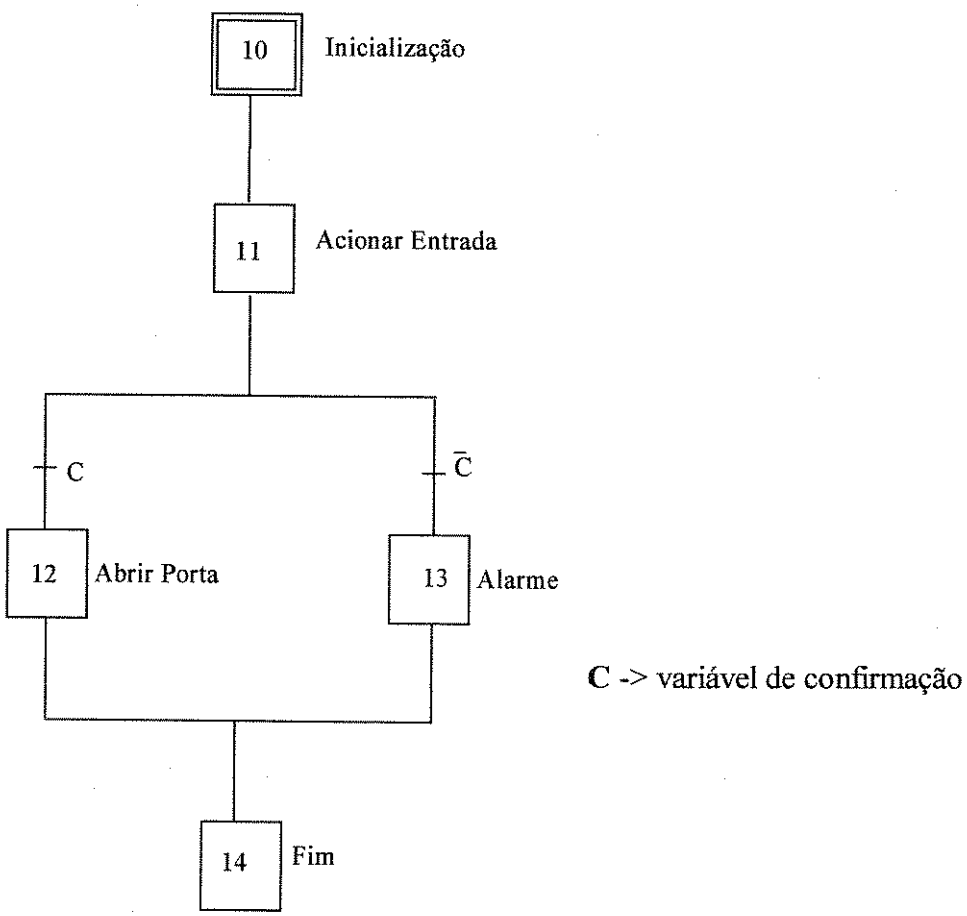
Figura 6.18 - Protótipo implementado - Parte Comando.

Na tela de visualização será possível verificar se está tudo OK e quando alguém estiver acessando alguma porta. Se algum sensor acusar alguma irregularidade, o responsável pela supervisão poderá verificar a situação atual do ambiente no qual se encontra a mesma, pedindo informações mais detalhadas do local. A figura 6.19a apresenta um diagrama de blocos representando a estrutura utilizada para o sistema de abertura/fechamento de uma porta automatizada.

A definição precisa das especificações funcionais do Sistema Automatizado implantado neste projeto de pesquisa é dada a partir de seu GRAFCET Funcional, que descreve o comportamento da Parte Comando em relação à Parte Operativa, prevendo nesse nível, aspectos relacionados a segurança de funcionamento do Sistema, sem depender diretamente da tecnologia empregada (figura 6.19b).



a) Sistema de Acesso: Princípio de Funcionamento.



b) GRAFCET Funcional

Figura 6.19 – Sistema de Abertura/Fechamento de porta automatizada.

6.5.4.3 Descrição das Entradas/Saídas

A partir da implementação da especificação funcional do problema em estudo escrita a seguir e utilizada para gerenciamento das entradas e saídas do sistema:

RELAÇÃO DE ENTRADAS:

Variável	Minemônico	Especificação	(Interface//)
E3	Bot_ent	Botão de entrada	15
E4	Bot_sai	Botão de saída	13
E5	Bot_emerg	Botão de emergência	12
E6	sensor	Sensor magnético da porta	10
E7	Chave	Chave de mudança de modo	11

RELAÇÃO DE SAÍDAS:

Variável	Minemônico	Especificação	(Interface//)
S0	LD_VRD	LED de entrada verde	2
S1	LD_VRM	LED de entrada vermelho	3
S2	TRAVA	Trava magnética	4
S3	ALARM	Alarme – Campainha	5
S4	LD_MODO	LED modo de operação	6

6.5.4.3 Cadastramento pessoal

O cadastramento pessoal é realizado independentemente do sistema supervisor. Para tal, foi desenvolvido um programa em software Visual Basic™, pelo qual o usuário é registrado em banco de dados relacional Access™. As informações que carecem à pessoa são:

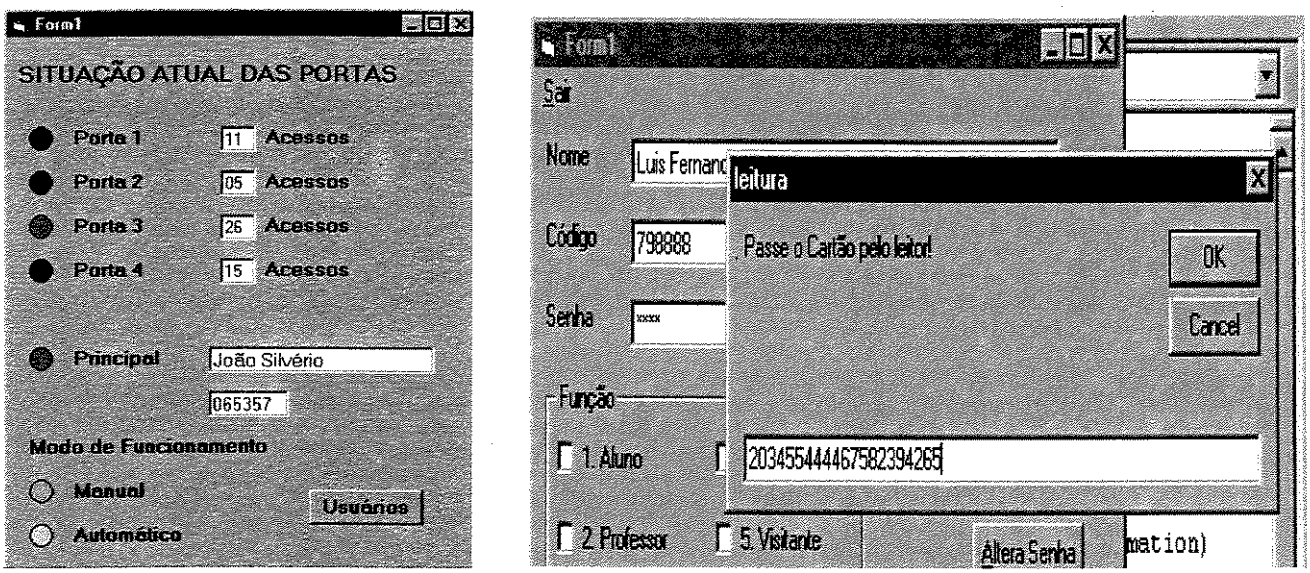
- nome;
- categoria funcional (aluno, funcionário, visitante, estagiário ou professor);
- número de registro na faculdade, que significa o Registro do Aluno ou Identificação Funcional. Para os visitantes e estagiários não vinculados a Unicamp, são fabricadas identidades por meio de um programa gerador de código de barras;
- senha pessoal de quatro dígitos;
- portas de acesso permitido;

Depois de realizado o cadastramento diário, o banco de dados que é acessado pelo sistema supervisor é atualizado por um responsável, e a partir daí os novos integrantes já poderão utilizar o sistema de segurança.

6.5.5 Implementação dos Programas Computacionais

O Sistema de Supervisão é um programa residente num computador pessoal, que se comunica com os módulos de controle de acesso, seja ele via teclado ou via leitor de código de barras, banco de dados e pode ainda se comunicar via rede com um outro computador pessoal. As seguintes funcionalidades foram implementadas no sistema desenvolvido:

- Verificação contínua do estado dos sensores, até o momento em que algum usuário deseje entrar por alguma porta; então, o programa executa sua função para abertura da porta e continua sua leitura incessante dos sensores;
- Realização de diálogo entre as partes constituintes da plataforma é feito através de um protocolo de comunicação em modo mestre-escravo: uma interface lógica dedicada disponível em cada porta de acesso envia informações somente no momento em que as mesmas são requisitadas (por exemplo, digitalização do código de abertura de uma porta).



a) para monitoramento b) para cadastramento

Figura 6.20 – Exemplos de Telas implementadas no Sistema Supervisório.

O Sistema de Supervisão comunica-se com um leitor de cartão magnético (ou código de barras) disposto na entrada principal de acesso aos Departamentos da Faculdade, que é único para redução de custos. A leitura desse código dar-se-á após a solicitação de abertura da porta , feita através de um "botão de entrada" junto ao leitor de código de barras. Ao pressionar esse botão, um sinal lógico é enviado ao dispositivo de controle de acesso instalado na porta; o sinal é traduzido pelo sistema de supervisão que então se prontifica para a leitura do cartão. A figura 6.20 mostra uma tela típica do sistema supervisório implementado.

Na tela de visualização será possível verificar se está tudo OK e quando alguém estiver acessando alguma porta. Se algum sensor acusar alguma irregularidade, o responsável pela supervisão poderá verificar a situação atual do ambiente no qual se encontra a mesma, pedindo informações mais detalhadas do local.

O programa de controle de acessos foi implementado através de um formulário visual que apresenta a situação atual dos sensores, alarmes e porta, representada por LED's gráficos. Essa tela fica exposta ao administrador do sistema, que pode rapidamente identificar se há alguma situação de alarme e tomar as providências necessárias de segurança.

Um programa de cadastramento interligado ao Banco de Dados (figura 6.21) contém o registro de qual porta é permitido o acesso ao usuário, de modo que ele não consegue acessar qualquer uma das portas interiores ao prédio. A decodificação das portas de acesso é realizada por um elemento multiplexador, que interliga o Supervisor aos elementos operativos da porta : teclado para entrada ou trava magnética para saída.

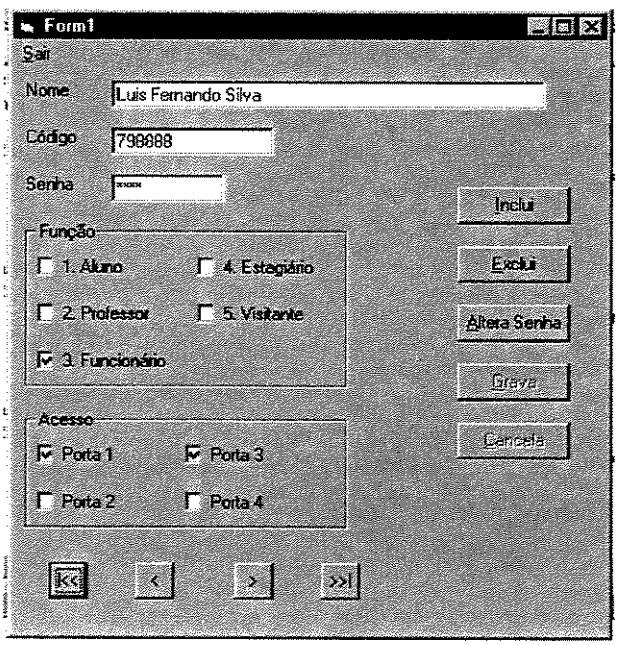
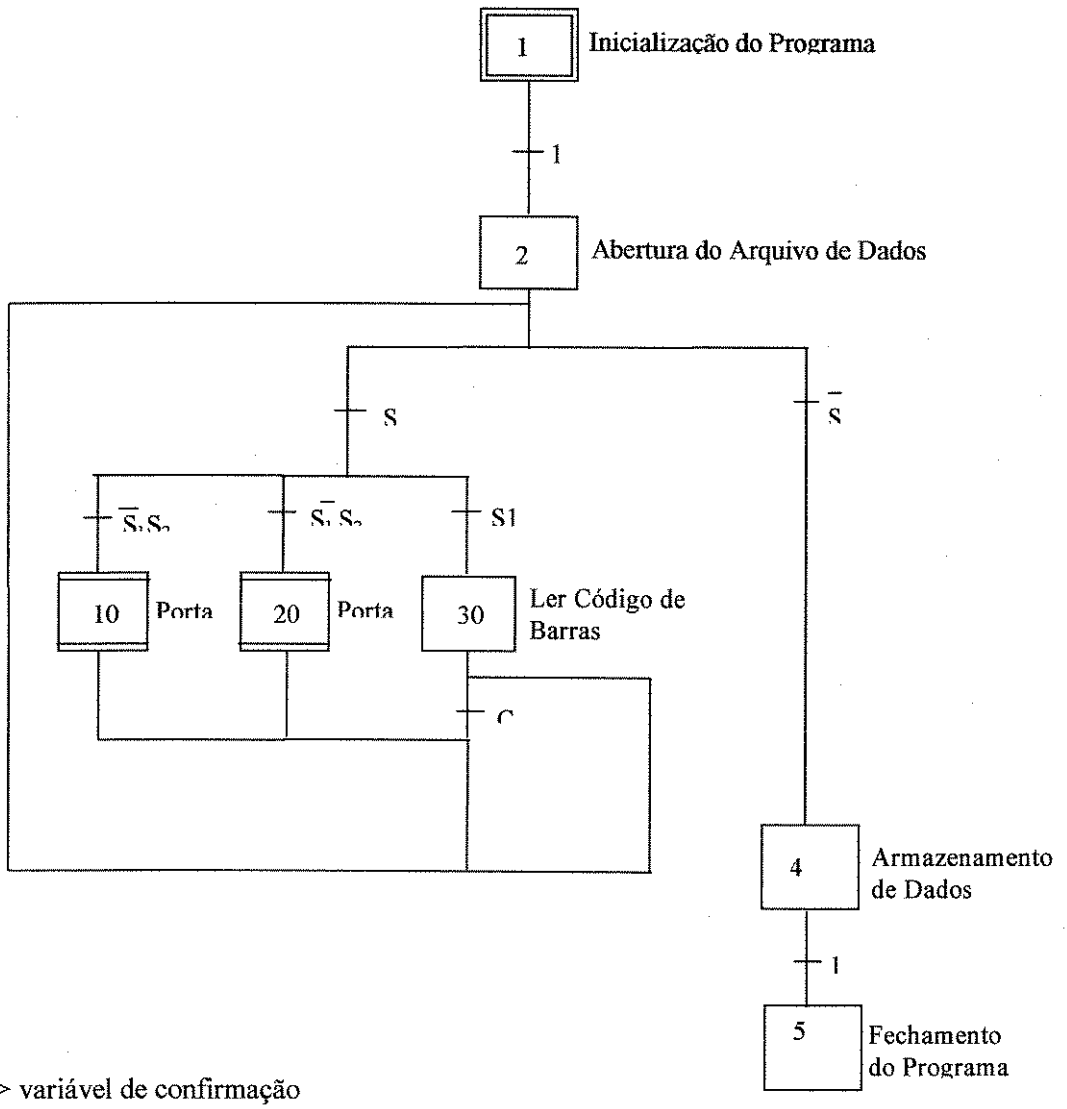


Figura 6.21 – Tela de cadastramento no Banco de Dados.

6.5.6 Implementação do Sistema na FEM-UNICAMP

O sistema foi implementado nas dependências da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, onde foram adicionados em todas as portas os dispositivos para leitura de código de barras e teclado numérico, com extensão ao Sistema Supervisório a possibilidade de gerenciamento do controle de várias portas de acesso simultaneamente.

6.5.6.1 GRAFCET Funcional



C -> variável de confirmação
S_1 e S_2 -> variáveis de chaveamento das portas

Figura 6.22 – GRAFCET Funcional do Sistema.

Ao mesmo tempo foram de integrados no aplicativo final dois modos de acesso: um via código de barras e outro através do teclado numérico. Esse sistema come dois modos evita que haja fraudes contra o sistema, pois um usuário impostor necessitaria além da posse de um cartão de código de barras, a senha associada ao mesmo para que consiga entrar no prédio onde foi instalado esse sistema de segurança.

O GRAFCET Funcional correspondente ao projeto implementado é apresentado na figura 6.22, correspondente à descrição do funcionamento geral do Sistema, e na figura 6.23, correspondente à descrição das macro-etapas implementadas.

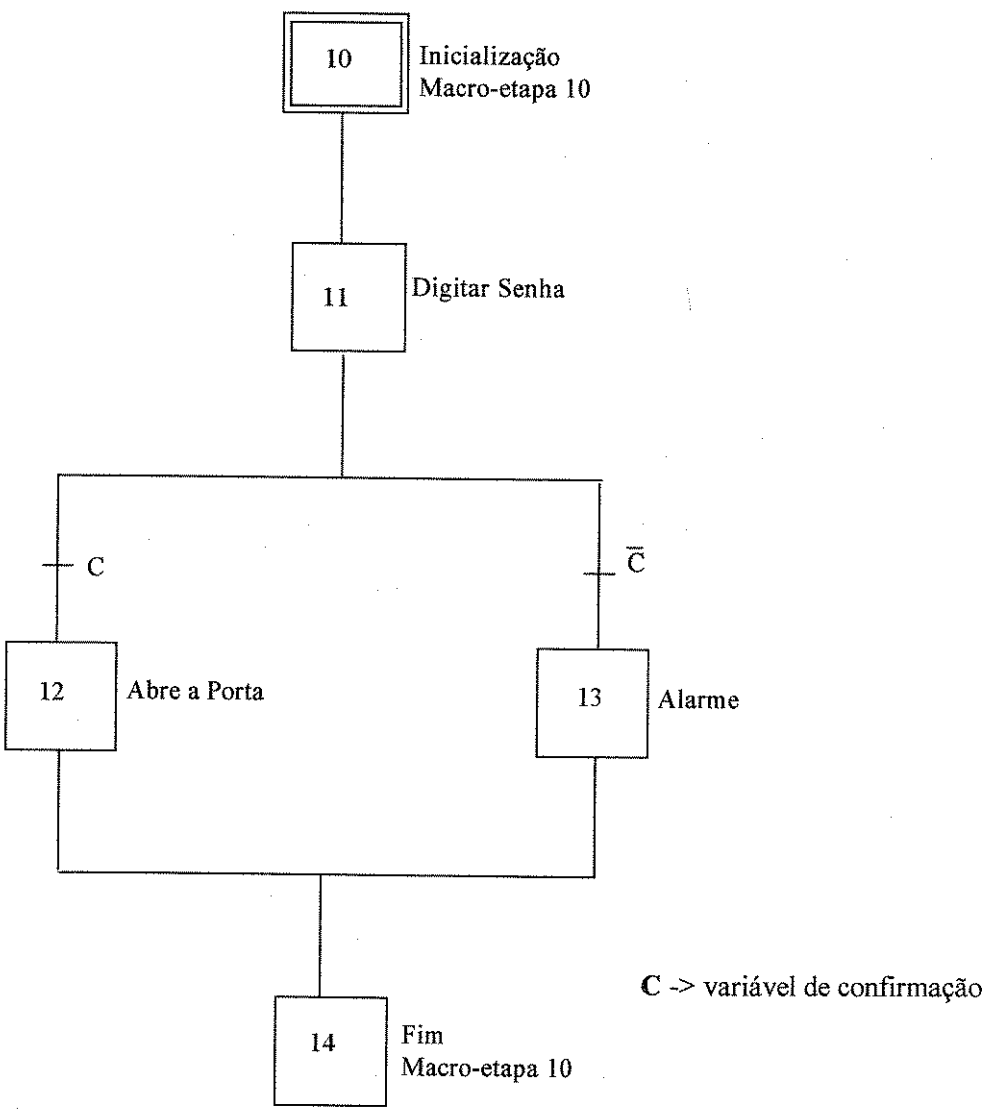


Figura 6.23 – Macro-Etapas do GRAFCET Funcional do Sistema.

6.5.6.2 Implementação do Sistema de Controle de Acesso em Lógica Reprogramável

Visando uma maior flexibilidade do sistema e principalmente o desenvolvimento de um aplicativo de baixo custo, toda a lógica descrita anteriormente foi implementada numa interface digital, a partir do desenvolvimento de um Hardware dedicado, utilizando componentes lógicos comerciais, atendendo assim, as especificações iniciais desse projeto de pesquisa que consistia no controle de várias portas de acesso, utilizando uma solução de maior simplicidade e baixo custo.

As entradas e saídas foram as mesmas utilizadas anteriormente, via interface paralela disponível em qualquer computador. Essa solução apresenta como vantagem o baixo custo de implementação e grande flexibilidade de utilização.

O Teclado Numérico e o Circuito Lógico Reprogramável, constituem um módulo estruturado de acesso (via teclado), onde o mesmo permite que a Parte Comando do sistema supervisor, compare a senha proveniente do teclado com os dados armazenados no banco de dados para decidir se abre ou não a porta. A figura 6.24 mostra o painel de controle e interface computacional implementada na Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

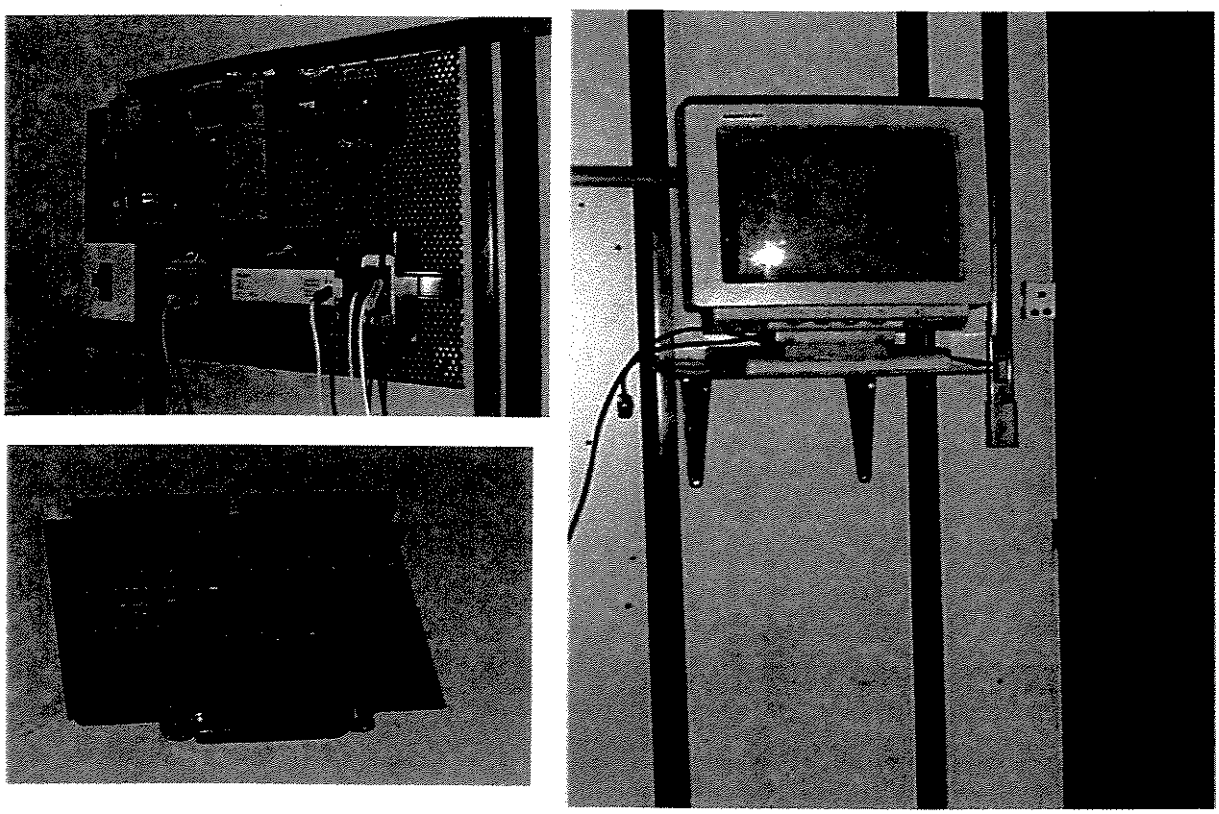


Figura 6.24 – Implementação da Parte Comando e Operativa.

6.6 Aplicação IV: Controle de Acessos – Sistema de Mobilidade através de cadeira de rodas

Um dos aspectos a serem considerados dentro de um Hospital refere-se a mobilidade e transporte de pacientes. Devido a grande demanda social em que encontramos no Brasil em decorrência até mesmo de acidentes no trânsito, ocasionando deficiências físicas múltiplas, se fez necessário o estudo sistemático de um sistema automatizado de baixo custo para movimentação de cadeira de rodas convencionais.

Neste tópico apresentaremos uma proposta de cadeira de rodas automatizada com baixo custo de implementação. O importante deste trabalho, que alguns aspectos sócio-econômicos foram levados em consideração:

- Custo elevado de uma cadeira de rodas elétrica;
- Operacionalização de uma cadeira de rodas elétrica, quando o sistema sofre falhas e desgastes;
- Dificuldade na desmontagem do sistema elétrico e sua manutenção

Para o desenvolvimento deste kit, foram considerados alguns aspectos importantes:

- Conservar a estrutura da cadeira convencional;
- Fazer adaptação Mecânica, sem alterar a estrutura convencional;
- Fazer o sistema automatizado, sendo independente do sistema mecânico.
- Instalação simples do kit na cadeira de rodas convencional.

Assim, um sistema de movimentação foi projetado obedecendo a uma especificação funcional descrita anteriormente, de forma que os conjuntos fossem formados por módulos e fixados sem qualquer tipo de ajuste ou modificação na estrutura da cadeira de rodas. A descrição detalhada do sistema implementado é apresentada no anexo V desse documento. Esse kit é formado por um conjunto de cinco módulos descritos a seguir:

1 – **Módulo Mecânico:** é formado pela placa suporte geral, suporte mecânico de fixação das baterias, suporte mecânico de fixação do carregador das baterias, suporte de pelo suporte de fixação do Joystick, placa suporte dos Moto-Redutores e dois Moto-Redutores.

2 – **Módulo de Potência:** são formadas pelo painel de potência, três baterias, um carregador de baterias e chicote de fiação.

3 – **Módulo de Controle:** é formadas pelo painel de controle, placa de circuito lógico, bateria e Suporte mecânico de fixação.

4 – **Módulo de Acionamento Mecânico:** Formado pela alavanca de acionamento, suporte de limitação da alavanca de acionamento e eixo de acionamento.

5 – **Módulo de Acionamento Eletrônico:** é formado Joystick, garra de fixação, cabo de ligação.

6.6.1 Descrição da montagem e funcionamento do Conjunto de módulos

A montagem e funcionamento do conjunto de módulos são compostos de uma placa suporte geral que contem quatro presilhas para fixação na estrutura da cadeira de rodas, fixado nesta placa tem distribuído estrategicamente três baterias, um carregador de bateria e um painel de Potência. Fixado por meio de um eixo na placa suporte geral, tem também uma placa suporte de fixação com dois Moto-redutores acoplados em rodas de borracha para transmissão do movimento; e havendo entre a placa suporte geral e a placa suporte de fixação um eixo com uma peça em semi circulo (came) travada em uma alavanca que ao ser acionada abaixa a placa suporte de fixação que suspende as rodas da cadeira por um sistema de mola e deixa a rodas dos moto-redutores em contado com o piso, transmitindo assim os movimento acionados pelo sistema de controle. Sendo o sistema de controle formando por um painel fixado na parte traseira da cadeira de roda por um sistema de fixação de barra com presilha, contento uma placa de circuito lógico, com a programação do funcionamento dos movimentos da cadeira de rodas, acionados por um *joystick* fixado em um dos braços da cadeira de roda conforme foto acima por um suporte de fixação.

6.7 Comentários Finais e Conclusões

Neste capítulo é realizada a validação do trabalho e metodologia proposta nos capítulos anteriores através da implementação experimental de uma maquete de laboratório correspondente a um Hospital Inteligente, utilizando um sistema comercial de Supervisão e Controle direcionados a área de Automação Hospitalar com Baixo Custo de Implementação, com ênfase no estudo da Domótica, realizado através da automação de atuadores e sensores visando segurança, controle de iluminação e climatização, controle de consumo de energia, banco de dados permitindo sistemas de acessos e atendimento inteligentes realizados através de sistema de identificação e controle automatizado de acessos, guarita de controle e fluxo de veículos em estacionamento, sistemas de mobilidade: elevador inteligente, dispositivo automatizado de movimentação de cadeira de rodas.

Capítulo 7

Conclusões e Perspectivas Futuras

7.1 Conclusões Gerais

A Domótica é a área tecnológica onde se à busca da eficiência, produtividade, conforto e segurança necessárias e imprescindíveis nas instalações industriais e residenciais. Sua área de abrangência é ampla e seu crescimento como ciência é diretamente proporcional ao desenvolvimento de outras disciplinas tecnológicas, envolvendo conceitos de engenharia civil, tecnologia de automação e de sistemas de controle, modelagem matemática, informática, etc.

Dentro da abordagem de "Hospitais Inteligentes" (HI), a integração de sistemas é considerada um elemento essencial para a otimização dos serviços do hospital. Entre os diversos sistemas, este trabalho considerou em particular a integração do sistema de ar condicionado, cuja importância é evidenciada, entre outras coisas, pela necessidade de manutenção do conforto térmico dos usuários. Neste contexto, a metodologia apresentada no presente trabalho teve como principal objetivo a utilização de conceitos básicos de Domótica direcionados a integração de dispositivos inteligentes a automação hospitalar, para criação de modelos genéricos de hospitais inteligentes, que levem em conta aspectos relacionados a segurança, consumo de energia, racionalização de procedimentos e custo.

No desenvolvimento de projetos direcionados a área de Automação Hospitalar torna-se necessário à união de competências o, podendo ser entendido como um conjunto de subsistemas de automação que formam um único sistema integrado de serviços, tais como a Distribuição de energia elétrica e controle de demanda, controle de iluminação, de acessos e simulação de presença; funcionamento e interrupção de funcionamento de instrumentos; Controle bio-climático através de calefação, ventilação e condicionamento de ar; Distribuição, filtragem e aquecimento de água; consumo de recursos hídricos e energéticos, segurança e comunicação e acesso remoto.

Para conseguir estes objetivos torna-se imprescindível considerarmos novos conceitos e diferentes técnicas de abordagens no projeto de sistemas de controle, entre outras atividades, a especificação de uma arquitetura de comando. Principalmente em sistemas com estrutura de controle-comando bastante distribuída, esta especificação é determinante para todo o restante do ciclo de vida do sistema em questão.

Nesses casos, o projetista vê-se face à difícil tarefa de, numa fase inicial de projeto, escolher uma arquitetura de comando capaz de atender a pré-requisitos funcionais como tempos de resposta do sistema. No decorrer desse trabalho os seguintes aspectos foram abordados:

i) Projeto e Implementação de uma Maquete Experimental de um Hospital Inteligente:

Todo o projeto e implementação de um Hospital Inteligente, foram realizados através da idealização de uma Maquete Didática, composta de vários elementos constituintes de um Hospital, onde a Parte Comando composto de Sistema de Supervisão e Controle, CLP, Rede de Comunicação Industrial e sensores e a Parte Operativa com elevadores, sistema de iluminação, controle térmico e sistema de acesso.

Utilizando essa maquete foram implementados e validados a Automação de alguns elementos integrantes dessa maquete, tais como Sistema de Controle de Acessos e Segurança, Sistemas de Mobilidade: cadeira de rodas, elevadores e guaritas, Sistema de Controle de Iluminação e Energia. A arquitetura modular dessa maquete permitirá a inclusão de novos elementos, sem haja grandes modificações nos modelos existentes.

A sistematização e a estruturação adotada no desenvolvimento do trabalho possibilitou a complexidade do sistema automatizado. As dificuldades de integração encontradas, foram na realização da comunicação entre as diferentes formas de programação / software adotado para cada elemento utilizado.

Sabendo-se que a velocidade com que as novas tecnologias aparecem no mercado, esta maquete desenvolvida deverá permitir de modo rápido e fácil a inclusão dessas tecnologias.

ii) Apresentação de Ferramentas Dedicadas para Modelagem de Sistemas Domóticos

Para descrição formal de Sistemas Automatizados são apresentadas inicialmente ferramentas dedicadas largamente utilizadas na modelagem de Sistemas Automatizados, tais como GRAFCET (SFC – Sequential Function Chart) e RdP – Redes de Petri.

Entretanto essas ferramentas mostram-se adequadas para a modelagem de uma classe especifica de sistemas. Assim, neste trabalho foram apresentados conceitos e aplicações através de uma abordagem híbrida, onde aspectos discretos e contínuos são considerados, se mostrando adequados como ferramenta de modelagem ser aplicável a uma grande gama de tipos de sistemas, tendo em vista a possibilidade de se incorporar em modelos discretos elementos que representem variáveis continuas (como lugares e transições contínuos para as Redes de Petri) ou em modelos contínuos elementos que representem eventos discretos (como variáveis discretas em equações), definindo uma interface entre os dois modelos de modo a permitir maior flexibilidade de modelagem tanto da parte continua quanto da parte discreta.

Os sistemas híbridos são um tópico de estudo relativamente recente, quando comparado, com os sistemas a eventos discretos ou com os sistemas de variáveis continuas. Existem ainda muitas controvérsias a respeito de definições de conceitos para estes sistemas, a começar da própria definição de sistemas híbridos, e a respeito, da adaptação de conceitos utilizados em sistemas discretos para sistemas contínuos e vice-versa.

Dois estudos de caso direcionados a Domótica são apresentados, um primeiro utilizando RdP coloridas para controle do fluxo de acesso, e um segundo direcionado ao estudo do Conforto Térmico num ambiente, utilizando para isso, RdP PTD - Predicado-Transição Diferencial, onde através de exemplo detalhado, procurou-se conservar as características iniciais dos dois modelos: RdP e sistemas de equações diferenciais e algébricas.

Observa-se que estes estudos apresentam um grande potencial de aplicação na otimização do consumo de energia e controle de acessos, onde os aspectos relacionados a segurança e acesso a diferentes espaços, e o sistema de refrigeração representam pontos críticos no controle de consumo de energia dentro de um edifício, estando entre os principais objetivos na Automação Hospitalar.

iii) Sistema Supervisório e Redes de Comunicação

Visando os avanços tecnológicos, a rede de comunicação industrial tem cada vez mais apoiados os sistemas de automação e controle, isto devido à crescente complexidade dos processos industriais, e a tendência atual é a implantação de sistemas que possuam alguma forma de comunicação de dados. A busca de estruturas que garantam a segurança na transmissão dos dados, bem como na velocidade de comunicação faz com que haja o desenvolvimento de diferentes esquemas de comunicação de dados em ambientes industriais. Com isto, os sistemas com estrutura aberta, e considerando-se que alguns dispositivos produzem informações e outros consomem tais informações, podemos ter redes eficientes na maximização de troca de dados e também um aumento da flexibilidade da rede.

Com esse objetivo, nesse trabalho foram apresentados conceitos de Sistema de Supervisão Cooperativa para gerenciamento de informações em que suas funções e componentes estejam em estado da arte, e que se apresente totalmente adequado a DOMÓTICA, subdividido em subsistemas mais flexíveis e com maior número de funções na área de Automação, abordando os seguintes aspectos:

- componentes de redes de comunicação;
- protocolos de comunicação;
- conexão com bancos de dados e fontes externas de informação;
- plataformas computacionais para sistemas de informação e controle.

7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

A maquete de um Hospital Inteligente implementada durante esse trabalho de pesquisa permitirá a integração de conhecimentos adquiridos pelos diferentes pesquisadores envolvidos neste projeto, temos como objetivo que os resultados obtidos sejam facilmente estendidos a outras aplicações, contribuindo através da transferência de tecnologia e conhecimentos a formação e preparação de profissionais na área de Domótica.

Ao mesmo tempo, por se tratar de uma área de multidisciplinar este trabalho, reunindo informações e conhecimento de diferentes áreas. A tendência do projeto é que haja a inclusão de novos conhecimentos pois uma das características dessa maquete é a capacidade de incorporação de técnicas e tecnologias.

Portanto, como sugestões para trabalhos futuros, temos a implantação final na maquete de um Hospital Inteligente de um Sistema de Supervisão e Controle, uma vez que este é considerado dentro de estrutura de comunicação, no nível de controle de processo, sendo responsável pela aquisição de dados do CLP para o computador, pela organização, utilização e gerenciamento dos dados. Quanto a algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros, propõem-se:

- Desenvolvimento de uma metodologia semelhante para outros sistemas do Hospital Inteligente, considerando inclusive o BMS (Building Management System).
- Implementação de outros módulos aplicativos;
- Adaptação da metodologia proposta para outros tipos de sistemas híbridos e especificações de sistemas de controle;
- Implementação da Parte Comando realizada num Hospital.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[Abramson, 1995]
Abramson, A. B. "The Inteligent Building Evolution", In: Proceedings IB/IC Inteligent Buildins Congress, Telaviv

[Antsaklis & Nerode, 1998]
Antsaklis, P. J. & Nerode, A. 1998]. "Hybrid Control Systems: An Introductory Discussion to the Special Issue" IEEE Transactions on Automatic Control, vol 43, n.4 pp 457-459.

[Arkin & Paciuk, 1995]
Arkin, H. & Paciuk, M. "Service Systems Integration in Inteligent Buildings"; In: Proceedings of IB/IC Inteligent Buildings Congress", Telaviv.
",[Arkin & Paciuk, 1995]

[Arkin,1997]
Arkin H. "Introduction of special issue of inteligent buildings", In: Automation in Construction, vol. 6 n.5, pp379-381

[Agerwala 74]
T. Agerwala; "A Complete Model for Representing the Coordination of Asynchronous Process"; Hopkins Computer Research Report Number 32, Computer Science Program, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland; July 1974

[Antunes, Martins & Rodrigues]
Fernando Antunes, Carlos Martins, V. Pimenta Rodrigues; "Problemas de projecto envolvendo múltiplos processos em tempo real"; ISEL, documento interno

[Bail, Alla & David 91]
Jean Le Bail, Hassane Alla, René David; "Hybrid Petri Nets"; Proceedings of European Control Conference, Grenoble, France, July 2-5 1991; pp 1472-1477

[BRA83]
Brams G. W. Réseaux de Petri: "Théorie et pratique, tomos 1 et 2, Masson Editions, 1983.

[Bernardinello & De Cindio, 92]
Luca Bernardinello, Fiorella De Cindio; 1992; "A Survey of Basic Net Models and Modular Net Classes"; em "Advances in Petri Nets 1992"; Lecture Notes in Computer Science; G. Rozenberg (Ed.); Springer-Verlag

[David 91]
René David; "Modeling of Dynamic Systems by Petri Nets"; Proceedings of European Control Conference, Grenoble, France, July 2-5 1991; pp 136-147

[David & Alla 92]
René David & Hassane Alla; "Petri nets & Grafcet: tools for modelling discrete event systems"; Prentice Hall; 1992

[Demongodin & Koussoulas, 1998]

Demongodin , I. & Koussoulas, N. T. 1998. " Differential Petri Nets: Representing Continuous Systems in a Discret-Event World". IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 43, n. 4, pp 573-579.

[DeMarco, 1979]

DeMarco, T., 1979, Structured Analysis and Systems Specification, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

[Denis & Meunier, 1997]

Denis, B. & Meunier, P., 1997, Validation du Comportement Dynamique des Architectures de Conduite de Systèmes de Production par Simulation, Modélisation et Simulation des Systèmes de Production et de Logistique, Junho 5-6, Rouen, França, pp. 229-238.

[Fanger, 1972]

Fanger, P. O. (1972)"Conditions for Thermal Comfort – A Review", In: Proceedings of CIB Comission W 45 Symposium, s 1.

[Finley et al, 1991]

Finley, M.R. & karakura, A & Nborgni; "Survey of Intelligent Buildings Concepts"; In: IEEE Communications Magazine, pp 18-21, vol. 31 m.10

[Finley & Kamae, 1993]

Finley, M. R. & Kamae, T. "Current Trends in Intelligent Buildings: From Materials to Media", In: Communications Magazine, pp 18-21, vol. 31 n. 10

[Flax,1991]

Flax, B. M. "Inteligent Buildings"; In: IEEE Communictions Magazine, pp 24-26, vol. 29 n. 4

[Frota &Schiffer, 1988]

Frota, A. B. & Schiffer, S. R. " Manual de Conforto Térmico, Nobel, São Paulo

[Fujie & Mikami, 1991]

Fujie, S. & Mikami, Y. 1991; "Construction Aspects of Intelligent Buildings"; In: IEEE Comunications Magazine, pp 50-57, vol. 29 n. 4

[Gane & Sarson, 1979]

Gane C. & Sarson T., 1979, Structured Systems Analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

[Genrich 86]
H. J. Genrich; "Predicate/Transition nets"; incluído em W. Brauer, W. Reisig and G. Rozenberg (eds.): "Petri Nets: Central Models and Their Properties", Advances in Petri Nets 1986 Part I, Lecture Notes in Computer Science, vol. 254, Springer-Verlag, pp. 207-247

[Genrich & Lautenbach 81]
H. J. Genrich, K. Lautenbach; "System modelling with high-level Petri nets"; Theoretical Computer Science 13; 1981; pp. 109-136

[Gomes 91]
Luís Gomes; "Especificação de sistemas digitais - Trabalho de síntese"; Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica; UNL-FCT; Novembro 91

[Gomes, 97]
Luís Gomes; Julho 1997; "As Redes de Petri Reativas e Hierárquicas - integração de formalismos no projecto de sistemas reativos de tempo-real"; Tese de Doutoramento; UNL-FCT;

[Gomes & Steiger-Garção 92]
Luís Gomes, Adolfo Steiger-Garção; "Especificação e realização de controladores utilizando redes de Petri coloridas e sincronizadas integrando lógica imprecisa"; Workshop Ibero-americano de Sistemas Autônomos em Robótica e CIM; Lisboa; 2 a 4 de Novembro 1992; Publicado em "Revista Robótica e Automatização", nº 10, Nov 1992, pp 31-38

[Gomes & Steiger-Garção 95a]
Luís Gomes, Adolfo Steiger-Garção; "Programmable controller design based on a synchronized colored Petri net model and integrating fuzzy reasoning"; ATPN'95; 16th International Conference on Application and Theory of Petri Nets; Torino, Italy; 26 a 30 de Junho 1995; em Lecture Notes in Computer Science LNCS 935; Giorgio De Michelis, Michel Diaz (Eds.), pp. 218-237; Springer Verlag; ISBN 3-540-60029-9

[Gomes & Steiger-Garção 95b]
Luís Gomes, Adolfo Steiger-Garção; 1995; "Fuzzy Petri net model for real-time control"; AARTC'95; Preprints of the 3rd IFAC/IFIP Workshop on Algorithms and Architectures for Real-Time Control; Ostend, Belgium; 31 de Maio a 2 de Junho 1995; pp. 467-472

[Hack 72]
M. Hack; "Analysis of Production Schemata by Petri Nets"; Master's thesis, Department of Electrical Engineering, Massachusets Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, Fevereiro 1972

[Hack 75]
M. Hack; "Decidability Questions for Petri Nets"; Ph. D. dissertation, Dep. of Electrical Engineering, Massachusets Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, December 1975

[Ho,1987]

Ho, Y. C. "Basic research manufacturing automation, and putting trhe cart before the horse". IEEE Transactions on Automatic Control, vol. AC-32, n. 12 pp.1042-1043.

[Ho,1991]

Ho, Y. "Discret Event Dynamic Systems. Analyzing Complexity and Performance in the Modern Wold". IEEE Control Systems Sociey, Sponsor New York, 1991.

[Huber, Jensen & Shapiro 90]

P. Huber, K. Jensen e R. M. Shapiro; "Hierarchies in Coloured Petri Nets"; incluído em G. Rozenberg (ed.); Advances in Petri Nets 1990; Lecture Notes in Computer Science, vol. 483, Springer, 1990, pp. 313-341 e em "High-level Petri Nets - Theory and Application"; K. Jensen, G. Rozenberg (Eds.); Springer-Verlag; 1991; pp. 215-243

[JEN87]

Jensen K. "Coloured Petri Nets, em Petri Nets: central models and their properties, Lecture Notes in Computer Science, 254, Springer-Verlag, Berlin, pp. 248-299, 1987.

[Jensen 81]

K. Jensen; "Coloured Petri nets and the invariant method"; Theoretical Computer Science 14; 1981; pp. 317-336

[Jensen 83]

K. Jensen; "High-level Petri Nets"; em A. Pagnoni, G. Rozenberg (eds.); "Applications and Theory of Petri Nets", Informatik-Fachberichte vol. 66 Springer-Verlag 1983; pp. 166-180

[Jensen 86]

K. Jensen; "Coloured Petri nets"; incluído em W. Brauer, W. Reisig and G. Rozenberg (eds.): "Petri Nets: Central Models and Their Properties", Advances in Petri Nets 1986 Part I, Lecture Notes in Computer Science, vol. 254, Springer-Verlag, pp. 248-299

[Jensen 90]

K. Jensen; "Coloured Petri Nets: A High Level Language for System Design and Analysis"; incluído em G. Rozenberg (ed.); Advances in Petri Nets 1990; Lecture Notes in Computer Science, vol. 483, Springer, 1990, pp. 342-416 e em K. Jensen, G. Rozenberg (Eds.); "High-level Petri Nets - Theory and Application"; Springer-Verlag; 1991; pp. 44-119

[Jensen 92]

K. Jensen; "Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use - Volume 1"; Springer-Verlag , 1992

[Jensen 95]
K. Jensen; "Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use - Volume 2"; Springer-Verlag , 1995

[Jensen & Rosenberg 91]
K. Jensen, G. Rozenberg (Eds.); "High-level Petri Nets - Theory and Application"; Springer-Verlag; 1991

[Karp e Miller 68]
R. Karp, R. Miller; "Parallel Program Schemata"; RC-2053 IBM T. J. Watson Research Center, New York; 1968

[Kroner.1997]
Kroner, W.M. "An inteligent and responsive architecture"; In: Automation in Construction, pp 381-393, vol. 6 n. 5

[Kujuro & Yasuda, 1993]
Kujuro, A & Yasuda, H "Systems Evolution in Inteligent Buildings"; In: IEEE Communications Magazine, pp 22-26, vol. 31 n. 10

[Lakos 95]
Charles Lakos; 1995; "From Coloured Petri Nets to Object Petri Nets"; ATPN'95; 16th International Conference on Application and Theory of Petri Nets; Torino, Italy; 26 a 30 de Junho 1995; em Lecture Notes in Computer Science LNCS 935; Giorgio De Michelis, Michel Diaz (Eds.), pp. 178-297; Springer Verlag; ISBN 3-540-60029-9

[Lakos 96]
C. Lakos; "The consistent use of names and polymorphism in the definition of Object Petri nets"; Proceedings of the 17th International Conference on Application and Theory of Petri Nets; pp. 380-399; in LNCS 1091; Jonathan Billington and Wolfgang Reisig (Eds.); Springer-Verlag; 1996

[Lin & Marinescu 88]
C. Lin, D. C. Marinescu; "Stochastic High-level Petri Nets and Applications"; IEEE Transactions on Computers, 37, 7, 1988; pp. 815-825; e também incluído em "High-level Petri Nets - Theory and Application"; K. Jensen, G. Rozenberg (Eds.); Springer-Verlag; 1991; pp. 459-469

[Maciel, 1996]
Maciel, P. R. M. *et al*, 1996, Introdução às Redes de Petri e Aplicações, Instituto de Computação – UNICAMP, Campinas.

[Maeda, 1993]
Maeda, S. "Inteligent Buildings – a Key Solution for the 21 Centure Office; Thesis, Stanford University, Stanford.

[Marsan et al. 84]

M. Ajmone Marsan, G. Balbo, G. Conte; Maio 1984; "A class of generalised stochastic Petri nets for the performance analysis of multiprocessor systems"; ACM Transactions on Computer Systems, 2(1)

[Matsusaki, 1998]

Matsusaki, C. T. M. (1998) Redes F-MFG (Functional Mark Flow Graph) e sua aplicação no projeto de sistemas antropocêntricos, dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

[Miyagi, 1988]

Miyagi, P. E. (1988);"Control System design, Programming and Implementation for Discrete Event Production Systems by Using Mark FLOW Graph, Doctoral Thesis, Tokyo Institute of Technology, Tokyo.

[Molloy 82]

Michael K. Molloy; "Performance Analysis Using Stochastic Petri Nets"; IEEE Trans. on Computers, Vol. C-31, nº 9, Sept. 82; pp.913-917

[Murata 89]

Tadao Murata; "Petri Nets: Properties, Analysis ans Applications"; Proceedings of the IEEE, vol. 77, nº 4, Abril 1989, pp. 541-580

[Murata & Zhang 88]

T. Murata, D. Zhang; "A predicate-transition net model for parallel interpretation of logic programs"; IEEE Transactions on Software Eng., vol. 14, nº 4, Abril 1988, pp. 481-497

[Natkin 80]

S. Natkin; "Les réseaux de Petri stochastiques", Thèse de Doctorat, CNAM, Paris, Junno 1980

[PALASM, 90]

PALASM, Advanced Micro Devices; 1990; "PALASM User's Manual"

[Peterka & Murata 89]

G. Peterka, T. Murata; "Proof procedure and answer extraction in Petri net model of logic programs"; IEEE Transactions on Software Eng., vol. 15, nº 2, Fevereiro 1989, pp. 209-217

[Peterson 77]

J. Peterson; "Petri Nets"; Computing Surveys, Volume 9, Number 3; September 1977; pp 223-252

[Peterson 81]

James L. Peterson; "Petri Net Theory and the Modeling of Systems"; Prentice-Hall, Inc.; 1981

[Petri 62]
Carl A. Petri; "Kommunikation mit Automaten"; Schriften des Institutes für Instrumentelle Mathematik; Bonn 1962.

[Ramadge & Wonham, 1989]
Ramadge, P. J.; Wonham, W.M. "The Control of Discrete Event Systems. Proceedings of the IEEE, v. 77, n. 1, 1989

[Reisig 82]
Wolfgang Reisig; "Petri Nets - An Introduction"; Springer-Verlag; 1982

[Reisig 92]
Wolfgang Reisig; "A Primer in Petri Design"; Springer-Verlag; 1992

[Rosario, 1996]
Rosário, J. M. *et al*, 1996, Platform for Teaching and Research on Industrial Automation, Proceedings of the Third International Eletronic Engineering Conference, August, Trujillo, Peru.

[Ross & Schoman]
Ross, D. & Schoman, K., 1977, Structured Analysis for Requirements Definition, IEEE Transactions on Software Engineering, vol. SE-3, n. 1, pp. 6-15.

[Rozenberg&Thiagarajan,86]
G. Rozenberg, P. S. Thiagarajan; 1986; "Petri nets: basic notions, structure, behaviour"; in Current Trends in Concurrency, LNCS 224; J.W. de Bakker, W. -P. De Roever, G. Rozenberg (Eds.); Springer-Verlag

[Shapiro 91]
R. M. Shapiro; "Validation of a VLSI Chip Using Hierarchical Colored Petri Nets"; Microelectronics and Reliability, Special Issue on Petri Nets; Pergamon Press 1991; incluído em "High-level Petri Nets - Theory and Application"; K. Jensen, G. Rozenberg (Eds.); Springer-Verlag; 1991; pp. 667-687

[Silva 85]
Manuel Silva; "Las Redes de Petri: en la Automática y la Informática"; Editorial AC, Madrid; 1985

[Storrle, 1998]
Storrle, H. (1998) "An evaluation of High End Tools for Petri-Nets", In: http://www.daimi.aau.dk/PetriNets/.

[Thiagarajan, 87]
P. S. Thiagarajan; 1987; "Elementary net systems"; in Petri nets: central models and their properties, LNCS 254; W. Brauer, W. Reisig and G. Rozenberg (Eds.); Springer-Verlag; pp. 26-59

[Thomas 76]
P. Thomas, "The Petri Net: A Modeling Tool for the Coordination of Asynchronous Processes"; Master's thesis, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, June 1976

[Tomé 89]
José Alberto Baptista Tomé; "Controlo de Sistemas Digitais"; Editorial Presença - Colecção Informática e Computadores; 1989

[Yourdon (1989]
Yourdon E., Moder structured analysis, Yourdon Press, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.

[Zurawski & Zhou, 1994]
Zurawski , R,; Zhou, M. "Petri nets and industrial applications"; a tutorial. IEEE transactions on Industrial Electronics, v.41, n.6, pp. 567-583, December, 1994.

ANEXO I

Conceitos Básicos de Edifícios Inteligentes

O conceito de edifícios inteligentes surgiu nos EUA por volta de 1981. Embora sem uma definição formal, eram intensamente relacionados à utilização de alta tecnologia. Em Simpósio Internacional realizado em Toronto, em maio de 1985, surgiu a seguinte definição: "Um edifício inteligente combina inovações, tecnológicas ou não, com capacidade de gerenciamento, para maximizar o retorno do investimento". A edição de novembro de 1985 da revista *Engineering Digest* apresentava um artigo sobre edifícios inteligentes. As revistas *Fortune, Forbes e Business Week* seguiram a tendência publicando extensas matérias sobre o mercado de automação predial.

Podemos concluir que, nos anos 80, os sistemas de automação de segurança, iluminação e intrusão, mostraram coordenação entre componentes do mesmo sistema. O *Lloyds Building* (figura 1) foi o primeiro da geração dos Edifícios Inteligentes. Construído em Londres e projetado pela *Richard Roger Partnership*, o sistema de gestão do edifício incluía avanços tecnológicos para a época, porém estes sistemas operavam de forma independente, sem integração entre eles.

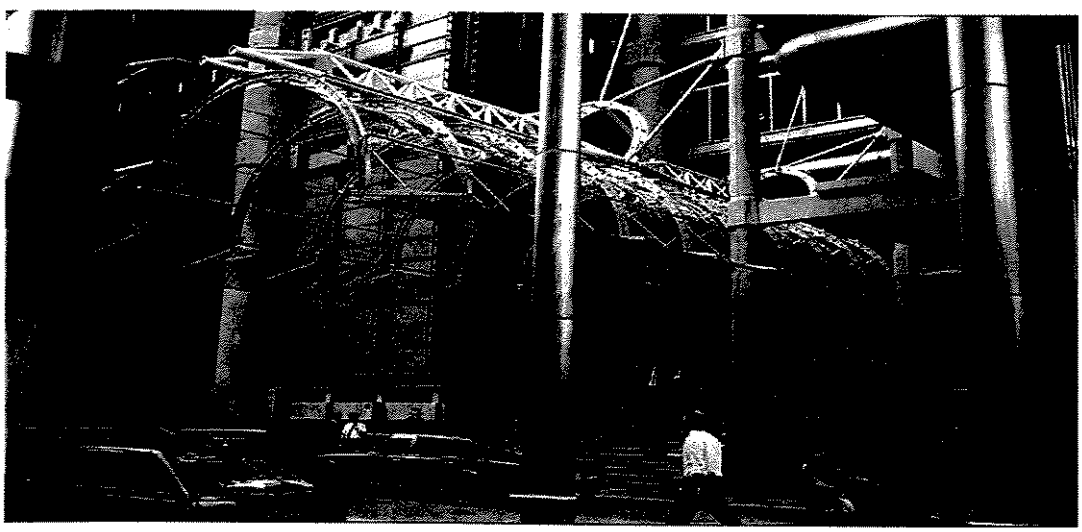


Figura 1- Lloyds Building - Foto de © Donald Corner E Jenny Young

O desenvolvimento das redes de comunicação de dados no ambiente predial foi um passo decisivo para a integração dos diversos subsistemas, proporcionando, como conseqüência uma descentralização do controle.

Em 1978, empresas como a *Leviton* e *X10 Corp* já haviam iniciado o desenvolvimento de suas linhas de produtos buscando explorar duas tecnologias fundamentais na moderna automação predial: redes de comunicação e eletrônica embutida nos próprios elementos de supervisão e controle. Sistemas de Automatização de edifícios e aplicações *X10 Smart Home* foram instaladas em aproximadamente quatro milhões de edifícios no ano de 1996.

Os fabricantes de controladores programáveis (figura 2) se adaptaram a esta realidade e incorporaram a equipamentos a possibilidade de comunicação em rede através de diversos protocolos, proprietários ou padronizados por organismos internacionais.

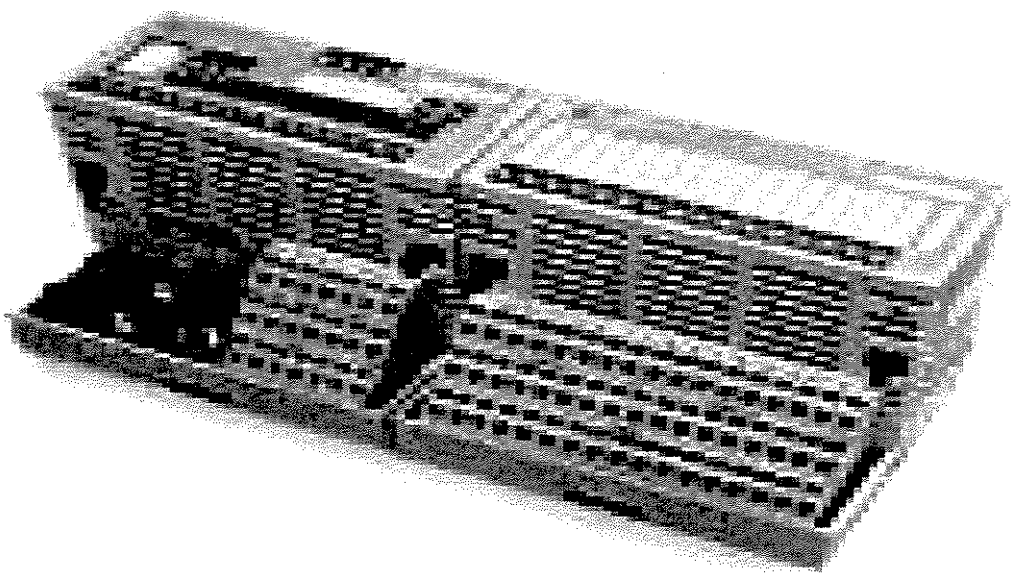


Figura 2- Controlador Programável

Historicamente, o maior esforço das empresas fornecedoras de equipamentos e soluções técnicas se concentrou no mercado de edificações industriais, comerciais e serviços, com menor atuação no mercado residencial ou SoHo (abreviatura de *Small office Home office*).

Uma experiência interessante é a casa adaptativa, iniciada em 1991 pelo Professor Michael Mozer da Universidade do Colorado. Localizada na cidade de Boulder, no estado americano do Colorado, o projeto utiliza-se da tecnologia de redes neurais para prover um sistema domótico que se adapte à rotina dos moradores da residência. A figura 3 apresenta uma tela do sistema de supervisão da casa adaptativa.

Nos anos 90, duas tecnologias se popularizaram de forma tão rápida e profunda que modificaram inclusive as relações humanas. Estas tecnologias, cujas integrações com a domótica ainda estão sendo avaliadas, são a telefonia móvel celular e a Internet.

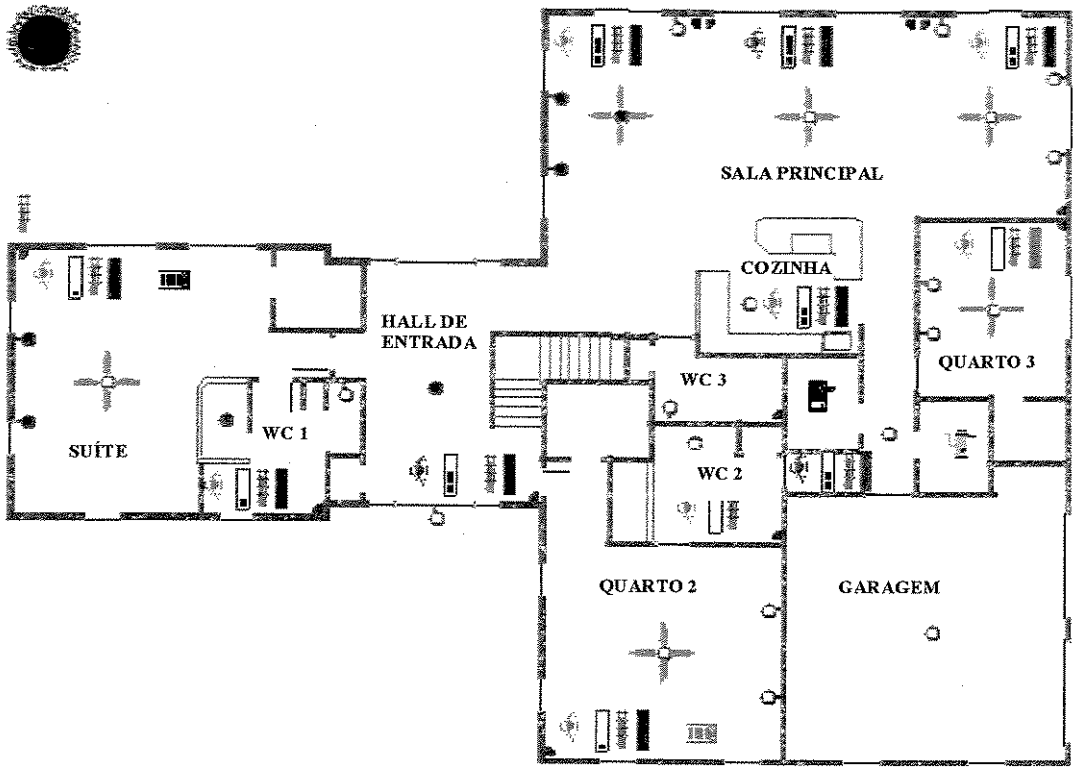


Figura 3- Casa Adaptativa - © Michael C. Mozer

1 - Agentes de um Sistema Domótico

Como já foi ressaltado, o fator determinante do sucesso de um sistema domótico é a integração entre seus diversos agentes ou subsistemas. Sensores, transdutores ou detectores de um subsistema podem ter suas informações utilizadas por outro, simplificando as estratégias de controle e propiciando redução significativa de custos.

Os subsistemas podem ser agrupados e classificados de acordo com o tipo de gerenciamento que executam sendo que quatro se destacam como essenciais para a composição de um sistema domótico:

A) **GESTÃO DE ENERGIA:** Envolve a distribuição e utilização da energia elétrica. Ligamento e desligamento de equipamentos podem ser programados para efetuar um controle de demanda e promover a conservação de energia. Por exemplo, o aquecimento de água através de *boiler* pode ser otimizado, bem como o funcionamento do *chiller* de refrigeração.

B) **GESTÃO DA SEGURANÇA FÍSICA E PATRIMONIAL:** Responsável pela segurança dos moradores e preservação da propriedade, agrega o controle de acesso, a detecção de intrusão e a simulação de presença. A detecção e o combate a incêndio ou inundação também são objeto do mesmo. Embora possa ser controlado pela gestão de

energia, o fornecimento interrupto de energia elétrica pode ser parte integrante deste subsistema.

C) **GESTÃO DO CONTROLE AMBIENTAL:** Promove o controle bioclimático da residência. Pode gerenciar filtragem de água, caldeiras, calefação, condicionadores de ar e ventiladores. A automatização da iluminação pode ser feita através de programação de luminosidade com a ajuda de sensores.

D) **GESTÃO DAS COMUNICAÇÕES:** Fazem parte deste subsistema os serviços de acesso ao mundo exterior como: telefonia, fac-símile, televisão por assinatura (CATV), acesso à Internet e RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados). A rede local para voz, dados ou controle e o circuito fechado de televisão (CCTV) são exemplos de facilidades que podem estar presentes na gestão das comunicações. Tecnologias como cabeamento estruturado podem estar presentes.

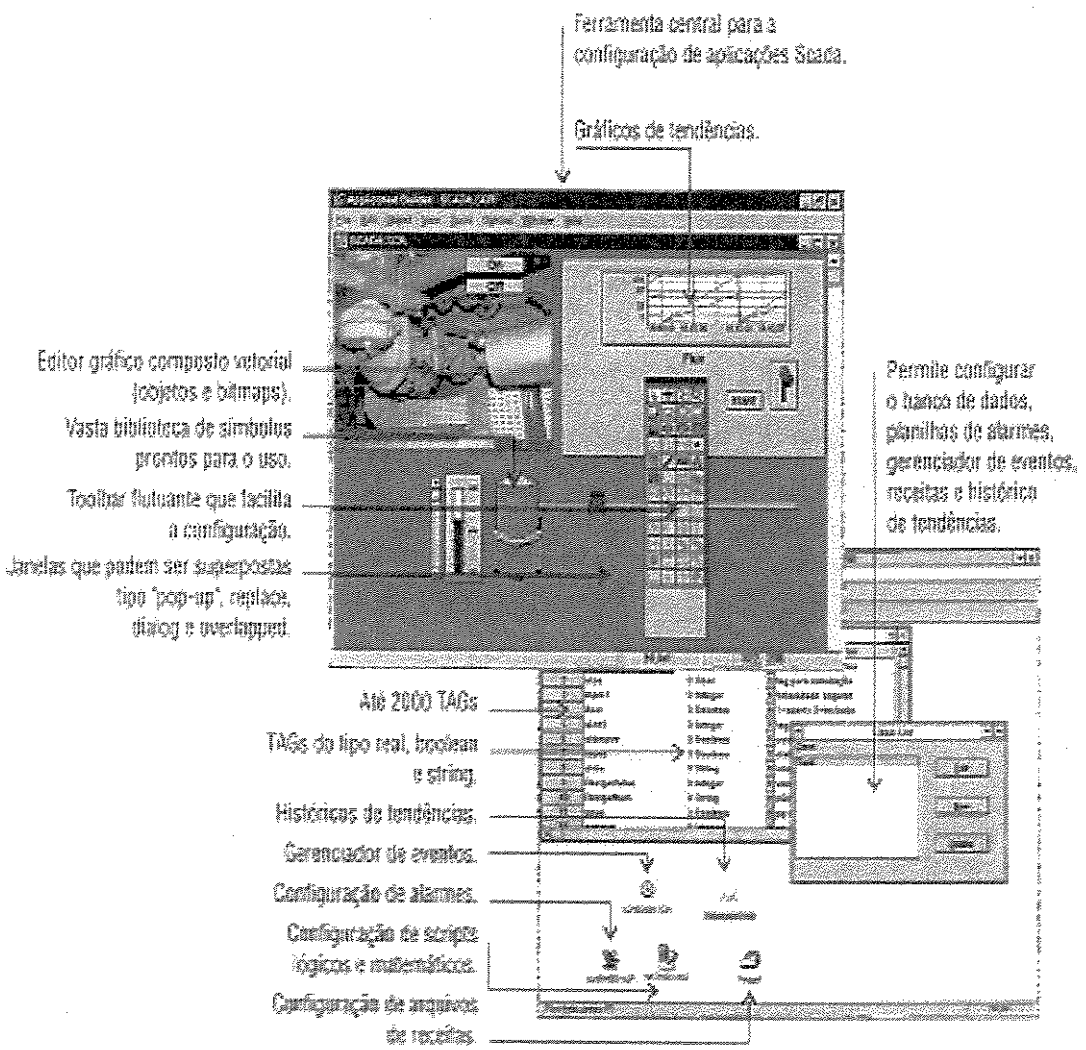


Figura 4 - Exemplo de Sistema Supervisório.

A classificação de um componente como integrante de um determinado subsistema é apenas uma proposição, pois o mesmo pode ser utilizado para mais de uma função.

Os subsistemas podem estar interligados a um programa de aquisição de dados e controle supervisório (*SCADA*) localizado em um microcomputador central. O aplicativo para prover esta funcionalidade pode ser desenvolvido em linguagem de alto nível ou utilizar-se de pacotes supervisórios comerciais que apresentam maior facilidade de configuração (figura 4).

Interfaces homem-máquina dedicadas para automação e de construção robusta podem ser utilizadas para simplificar ainda mais a configuração do sistema supervisório (figura 5).

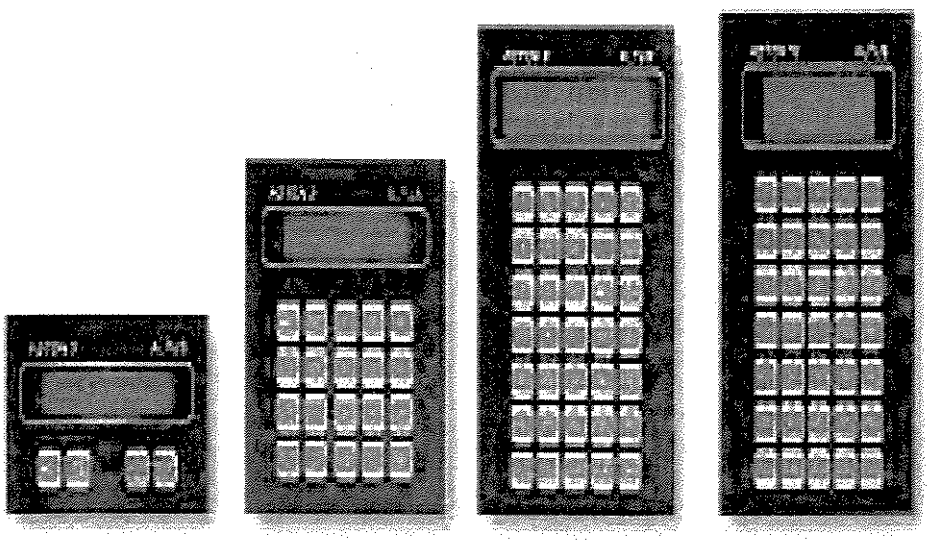


Figura 5- Interfaces Homem-Máquina

Outra possibilidade vem a ser a utilização de uma arquitetura cliente/servidor sobre uma plataforma protocolar de rede, TCP/IP. Um servidor *WEB* é embutido no equipamento de controle, possibilitando que a aplicação SCADA, implementada através de *applets* Java, esteja alojada em área de memória não volátil do próprio equipamento. O acesso ao aplicativo supervisório requer apenas que, o microcomputador conectado via TCP/IP ao equipamento de controle, disponha de um navegador Internet, independentemente da plataforma computacional utilizada.

ANEXO II

Descrição de Sistemas Automatizados através de Redes de Petri

Neste item discutiremos e exemplificaremos, os modelos de rede de Petri, através de aplicações direcionadas no projeto de sistemas de manufatura que possuem características semelhantes às aplicações em Domótica. Redes de Petri são projetadas para a modelagem de sistemas com componentes que interagem entre si, assim sendo elas se aplicam tanto a sistemas de informação quanto a sistemas de manufaturas. Nestes as peças fluem pelas máquinas, sistemas de transporte, de armazenagem, ferramentas e as unidades de controle. Os sistemas de informação são constituídos pelos processos produtivos e por redes de computadores por onde fluem informações e portanto também podem ser representados por este enfoque.

Inicialmente vamos definir os requisitos que precisaríamos para representar os sistemas discretos de manufatura. O sistema mais simples é composto por dois elementos básicos: uma fila e uma máquina, como mostrado na figura 4.9. Esta máquina pode ser um sistema de transporte, uma máquina, um operador, ou seja, todo elemento capaz de manipular; transformar, transportar, inspecionar partes ou peças. Constitui-se portanto em um elemento de ação ou atuação sobre a peça. O tempo de ação ou serviço realizado pela máquina em uma peça pode ser determinístico ou probabilístico. A armazenagem é um elemento estático do sistema e não atua sobre as partes ou peças. Uma fila é um ponto de espera condições por parte das peças localizado em uma armazenagem. Sistemas mais complexos são constituídos deste sistema básico de armazenagem-máquina acrescido de outras condições. Para descrever o sistema acima podemos utilizar a seguinte lista de eventos:

1. Chegada de um pedido
2. A máquina começa executar o pedido
3. A máquina termina o pedido
4. O pedido é entregue

As pré-condições para ocorrência do evento 2 (executar o pedido) são: existe pedido esperando por processamento e a máquina está desocupada. Então o que queremos representar através de uma linguagem de representação aqui chamada de Rede de Petri são os eventos e condições acima expostos.

A figura 1 é uma das possíveis descrições dos sistemas físicos armazenagem-máquina, outra poderia ser a seqüência de eventos. Vamos aqui partir para descrição através de círculos e barras.

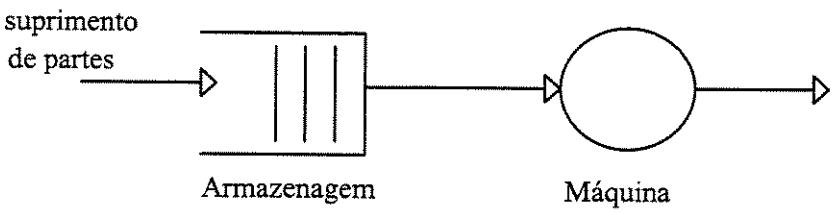


Figura 1 - Sistema máquina-armazenamento.

Por convenção as barras serão os pontos indicadores de início/término de eventos e por isso serão habilitadores de transição de estados e serão chamadas de transição. Os círculos indicarão espera por alguma condição e portanto são pontos ou lugares onde as partes esperam por condição e serão chamadas de lugares. Esta é uma linguagem gráfica de fácil entendimento por "todos" no processo produtivo e como resultado desta representação, o sistema armazenagem-máquina poderia ser descrito atrvés da figura 2. "Por acaso" esta é a representação do sistema armazenagem-máquina por rede de Petri.

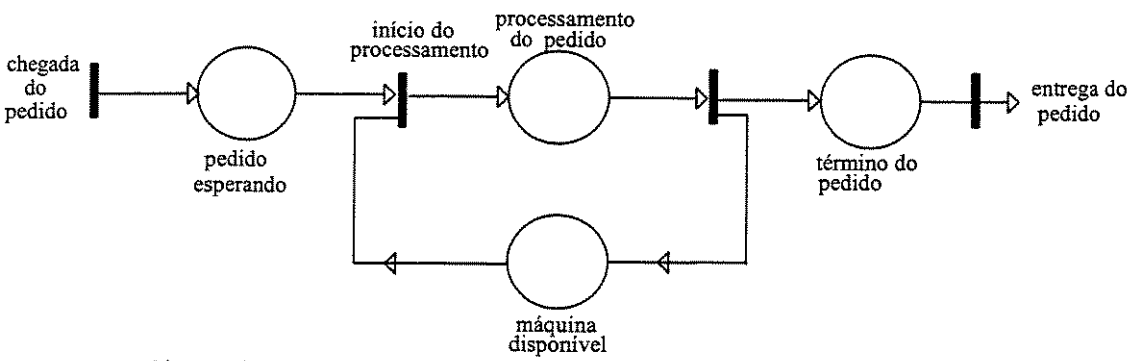


Figura 2 - Representação por Petri do sistema armazenagem-máquina.

A extensão do modelo apresentado na figura 2 para consideração de um processo produtivo com duas máquinas e armazenagem intra-estágio é apresentada na figura 3.

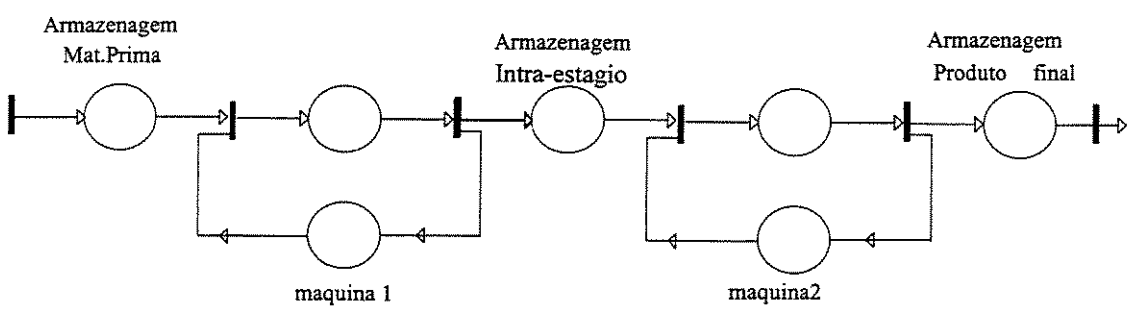


Figura 3 - Representação por Petri do sistema duas máquinas.

Sistemas mais complexos podem ser modelados por composição do sistema armazenagem máquina com outras condições como por exemplo: limitação de capacidade de sistemas de armazenagem e outras que serão apresentadas neste tópico.

Uma forma reduzida de apresentar o sistema armazenagem-máquina é omitindo, mas deixando subentendido, o arco máquina disponível (figura 4). Com esta simplificação os modelos se tornam menos poluídos de símbolos.

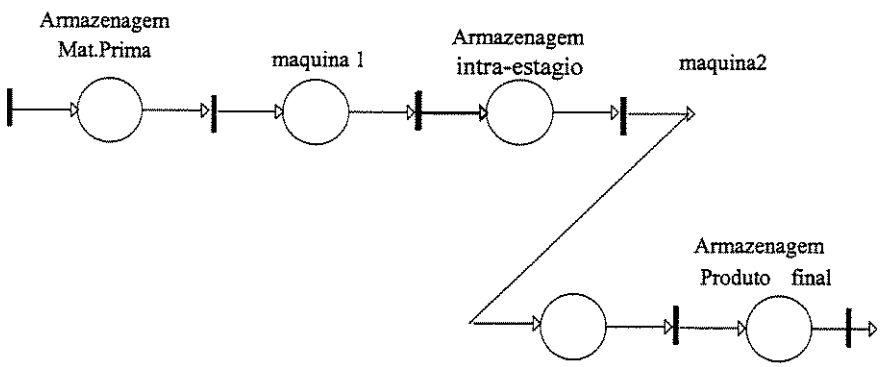


Figura 4: Representação reduzida.

Como todo enfoque descritivo e analítico, a rede de Petri pode ser sintetizada usando enfoque *top-down* ou *bottom-up*. A síntese *top-down* é o procedimento que parte de um modelo inicial superficial e chega ao modelo final por refinamento. Um exemplo é apresentado na figura 5, onde a cada passo novos detalhes são inseridos no modelo.

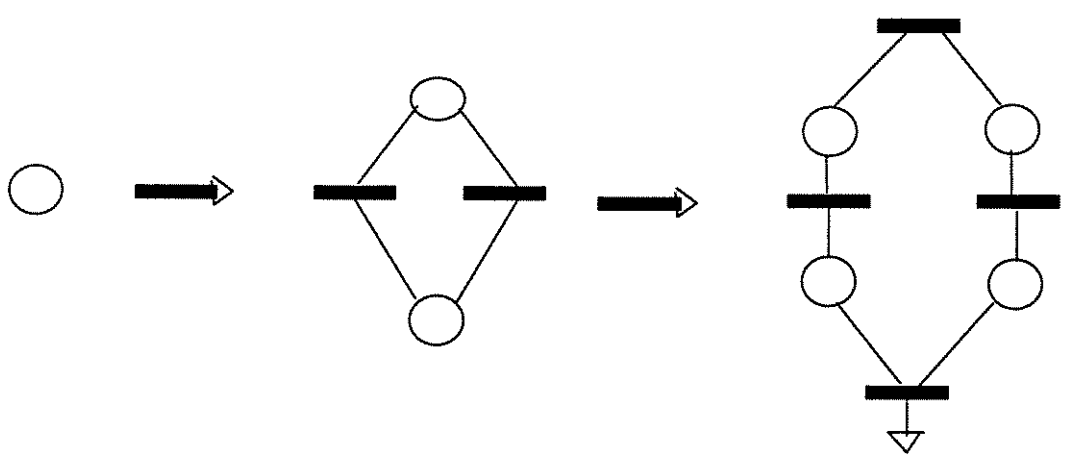
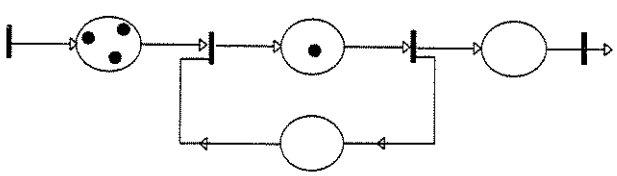


Figura 5 - Modelagem Top-Down.

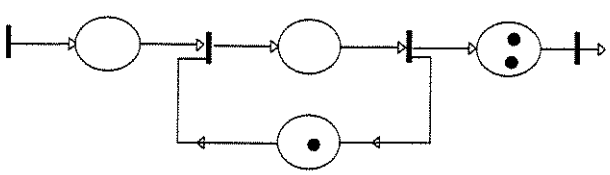
1. A Dinâmica do Sistema na Rede de Petri

Até agora foi descrita a representação dos sistemas físicos por rede de Petri. Esta é uma estrutura estática. O comportamento dinâmico do sistema é descrito pelas mudanças de estado que ocorrem na estrutura da rede. Estas mudanças chamadas de transição são definidas por marcas e por regras de evolução que dependem do nível de detalhe adotado para representação do sistema.

Para representação da dinâmica do sistema produtivo, passeio das peças ou partes pelas máquinas (e em alguns casos as próprias máquinas), adotaremos bolas que colocadas nos círculos indicarão o estado do sistema. Assim na figura 6a existem três pedidos esperando por processamento, uma máquina processando um pedido e nenhum pedido terminado. Na figura 6 não há pedido a ser processado e existem dois pedidos a ser entregue. Estas bolas receberão o nome de "marcas" e uma rede de Petri marcada mostra a evolução do sistema no tempo. Como veremos mais a frente uma forma de estudar o sistema é através de simulação de sua evolução. Poderíamos ai termos uma idéia de quantas entidades existiria ao longo do tempo em uma fila, do carregamento das máquinas etc.. que nos permitiria fazer uma avaliação do sistema.



a)Antes do processamento



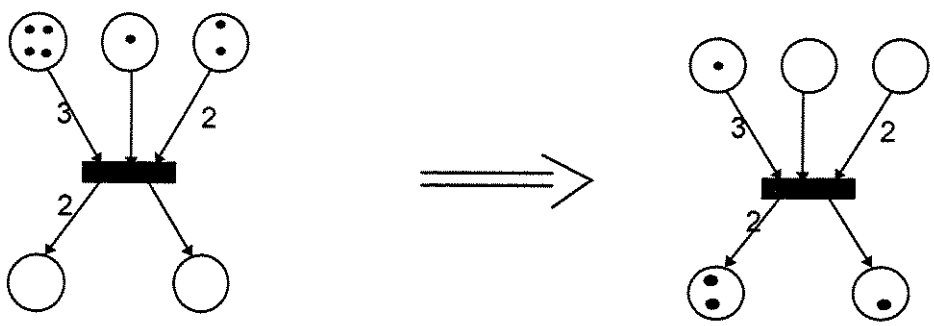
b)Após o processamento

Figura 6 - Dinâmica na rede de Petri

Este sistema armazenagem-máquina pode ser entendido como *qualquer conjunto condicionador* e assim esquema semelhante modelaria também um sistema simples de computador com chegada de *jobs*, processamento e colocação de *jobs* na fila para saída. Outros exemplos poderiam ser encontrados facilmente no mundo real que teriam a mesma representação que um sistema Fila-Máquina.

O número total de marcas em um lugar representa o estado do lugar. O número associado a um arco de ligação simboliza o número de marcas necessárias no lugar que precede este arco para que esta transição dispare. A condição para disparo, mudança de estado no sistema físico, é que haja pelo menos o número necessário de marcas, estabelecido nos arcos de ligação, em todos os lugares que antecedem a uma determinada transição.

As pré-condições para que ocorra uma transição podem ser vistas como os requisitos de recursos para que uma transição seja disparada. As pós-condições representam os recursos produzidos pelo disparo da transição. Assim na figura 7a, o arco 1 necessita de três marcas para que haja o disparo, o arco 2 necessita de uma marca e o arco três necessita de duas marcas, respectivamente nos lugares que os antecedem. Serão geradas no lugar 4 da figura 7b duas marcas, já que o arco que o antecede tem peso dois. O peso "um" para o arco não é normalmente especificado.



a) antes do disparo b) após o disparo

Figura 7 - Condição de disparo.

2. Tempo de Disparo

Uma extensão necessária às redes de Petri é a consideração do tempo de processamento. Dado que as transições representam atividades que mudam o estado do sistema, é natural associar a elas uma duração. Esta duração é representada pela letra t associada a uma determinada transição. Assim t_2 representa o tempo para montagem/processamento das peças P_2 e P_3.

Este tempo pode ser determinístico ou aleatório. A figura 4.16 mostra duas condições diferentes para disparo. A figura 8a mostra a condição inicial de um sistema que em um tempo t_2 evolui para a situação apresentada na figura 8b, que após um tempo t3 evolui para situação apresentada na figura 8c. Na evolução da figura 8b para a figura 8c existem duas possíveis transições a serem disparadas devido a marca em P4 e uma escolha deve ser feita. Este caso é chamado de contenção porque somente uma das transições pode ser disparada.

A transição que dispara depende da regra de cada representação específica. Por exemplo poderia se decidir pela transição de menor número, neste caso disparando a transição t3 passando a marca de P4 para P7. A escolha pode também ser feita por "entidade externa". Por definição é suposta a ocorrência de um único evento por vez, daí o disparo de uma nova transição somente ocorrerá após o término do processo em progresso.

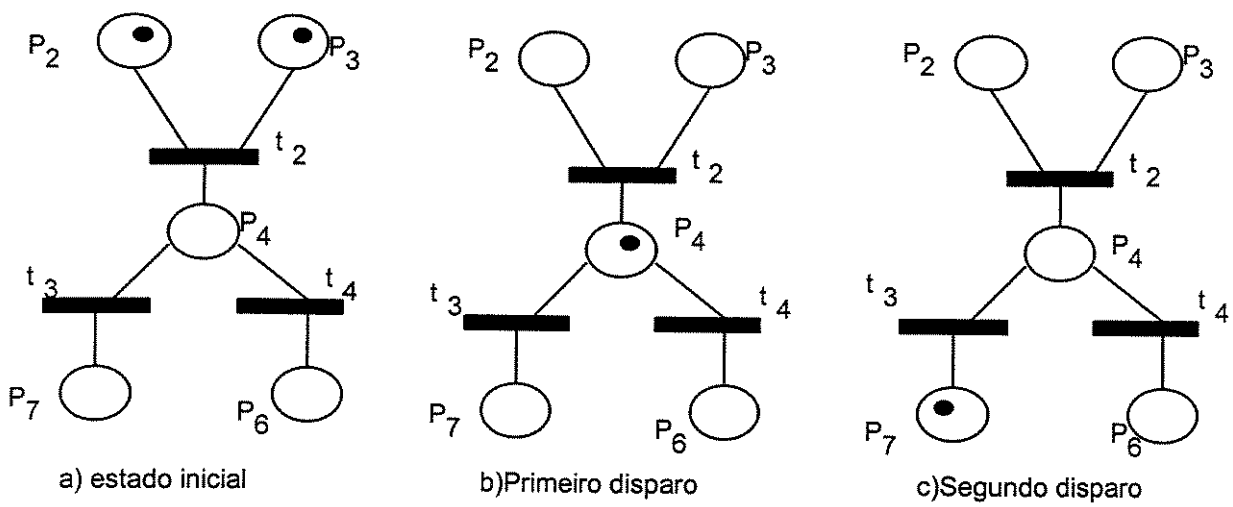


Figura 8 - Evolução temporal.

3. Definição Formal para as Redes de Petri

Redes de Petri (Petri Nets - PN) são grafos direcionados constituídos de dois elementos básicos: lugares e transições no qual um lugar esta sempre seguido por uma transição e vice-versa.

A dinâmica do sistema físico na rede de Petri é representada por marcas nos lugares da rede. O número e as posições das marcas mudam para representar as mudanças do sistema físico. Lugares são pequenas bolas no interior dos círculos que representam os lugares. Um lugar contendo uma ou mais marcas é chamado de lugar marcado. Uma rede contendo marcas é chamada de rede marcada. A marcação de uma rede de Petri é a designação de marcas aos lugares da rede.

Numa rede de Petri podemos utilizar a representação analítica ou a representação gráfica. A representação analítica teria solução analítica e enfrenta várias dificuldades para sistemas maiores devido a problemas de dimensionalidade. A representação gráfica normalmente leva a soluções por simulação e será o caso considerado. Na representação gráfica, a estrutura da rede de Petri é definida por três conjuntos: de lugares P; de transições T; e de arcos direcionados A.

Um arco conecta transição a um lugar ou um lugar a uma transição. Um lugar é uma entrada para uma transição se existe algum arco da transição para o lugar. A definição formal de uma rede de Petri [Cao and Ho] é dada por:

$PN = (P, T, A)$

$P = \{ p_1 , p_2 , ..p_n \}$

$T = \{ t_1, t_2, ... t_m\}$

$A = A_i \cup A_0$

$A_i \subseteq P \times T$

$A_0 \subseteq T \times P.$

onde $p_1 , p_2 , ..p_n$ são lugares e $t_1, t_2, ... t_m$ são transições. Na representação gráfica, lugares são simbolizados por círculos e transições por barras; Arcos são vetores de um lugar para uma transição ou de uma transição para um lugar.

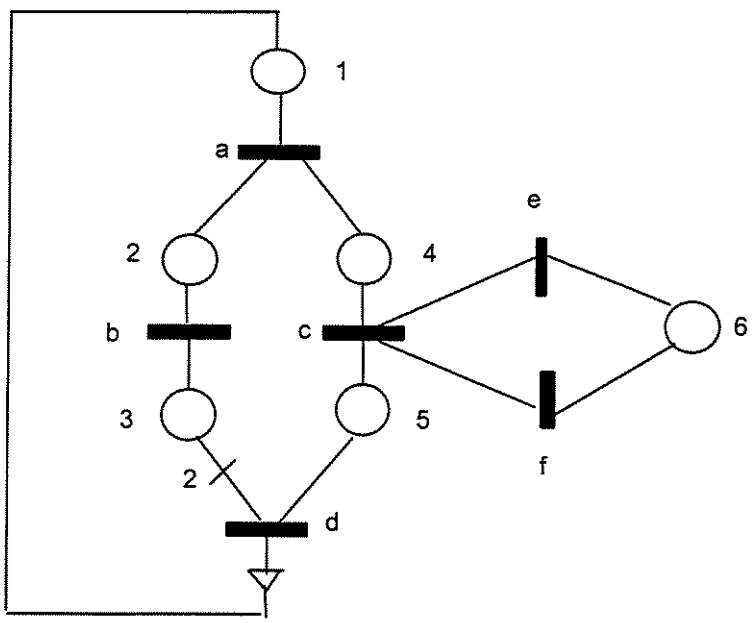


Figura 9 - Rede para Incidência.

Outro enfoque de definição de uma rede é através das relações entre seus componentes (lugares e transições), que pode ser feito pela definição de duas matrizes Pré-incidência (Prei) e Pós-incidência (Posi). A matriz de pré-incidência para a figura 9 é definida como:

	a	b	c	d	e	f
P1	1					
P2		1				
P3				2		
P4			1		1	
P5				1		
P6						1

A Matriz de Pós-incidência é definida como:

	a	B	c	d	e	f
P1				1		
P2	2					
P3		1				
P4	1					
P5			1			1
P6					1	

A Matriz de incidência é definida como: C = Post - Pre

Há forma matemática de trabalhar com as matrizes acima para se obter parâmetros para análise do sistema modelado. Particularmente é um enfoque caro em termos de tempo computacional, ficando limitado a sistema muito pequenos e longe de aplicações práticas. Assim passa a ser desinteressante para um curso rápido como este.

4. Princípios de Modelagem de Sistemas Automatizados

4.1 Modelagem de Sistemas de Manufatura

Para exemplificação dos conceitos e representações Sistema Automatizado através de Redes de Petri, apresentados no item anterior, exemplificará neste item, a modelagem de alguns sistemas simples de manufatura, tendo em mente, que sistemas mais complexos serão formados da composição de sistemas simples.

1. Processamento por máquina e recurso para armazenagem limitado (Capacidade=2);
2. Recurso em Paralelo para processamento de um único produto.

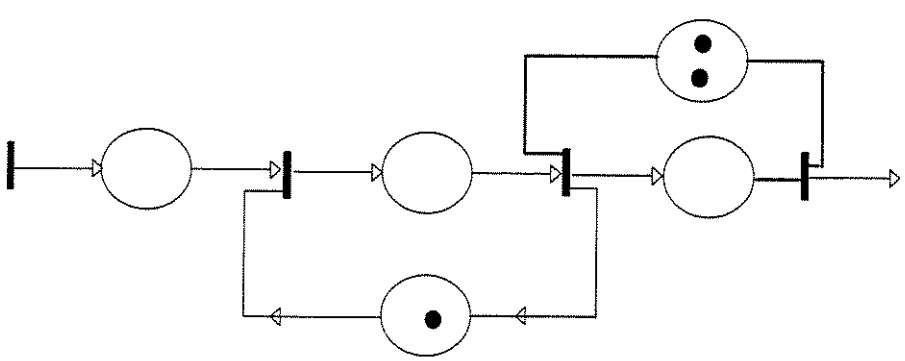
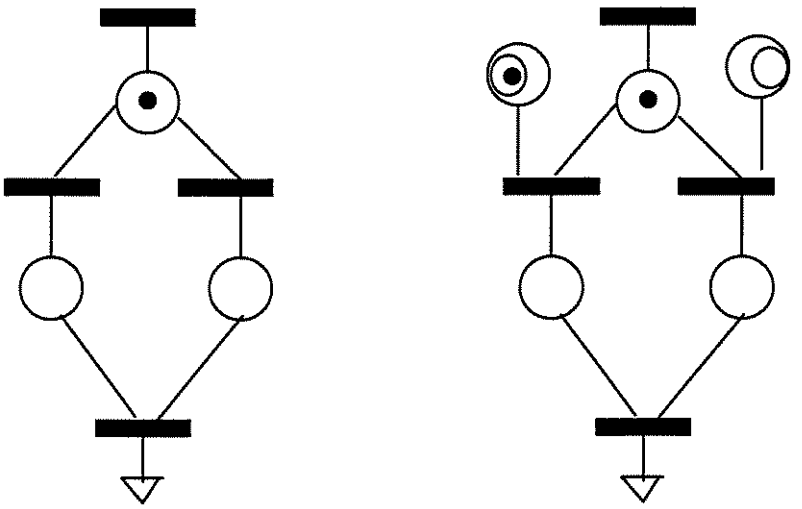


Figura 10 - Capacidade de armazenagem.

A escolha de qual máquina deve ser utilizada primeiro, pode ser estabelecido a priori. Então a peça a ser processada, deve escolher se toma o caminho à direita ou à esquerda de forma aleatório (figura 11a), ou por processo externo de decisão (figura 11b).

O disparo de uma transição de um lugar de "controle externo" não resulta na remoção de marcas contidas nestes lugares. Em outras palavras, o estado dos lugares de controle dependem de decisões exógenas. O próximo disparo ocorrerá depois que o disparo atual termine. A extensão para n máquinas em paralelo é imediata.



a)Decisão Aleatória b)Decisão Externa

Figura 11 - Máquinas em Paralelo.

4.2 Compartilhamento de Recursos

Um outro caso muito comum em sistemas de manufatura é a existência de compartilhamento de recursos, ou seja, quando uma máquina é disputada para realizar mais de uma atividade (figura 12).

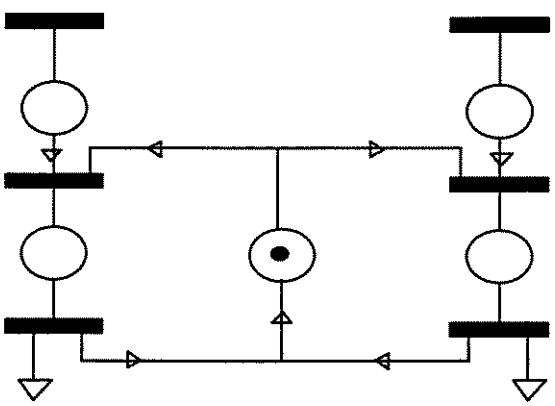


Figura 12 - Recurso compartilhado.

4.3 Recurso compartilhado com controle externo

O controle externo vai definir, para a estrutura apresentada na figura 13, onde começa o processo e por interferência externa quando termina o processo. Esta interferência pode ser definindo-se o tempo de término, o número de entidades processadas, etc.

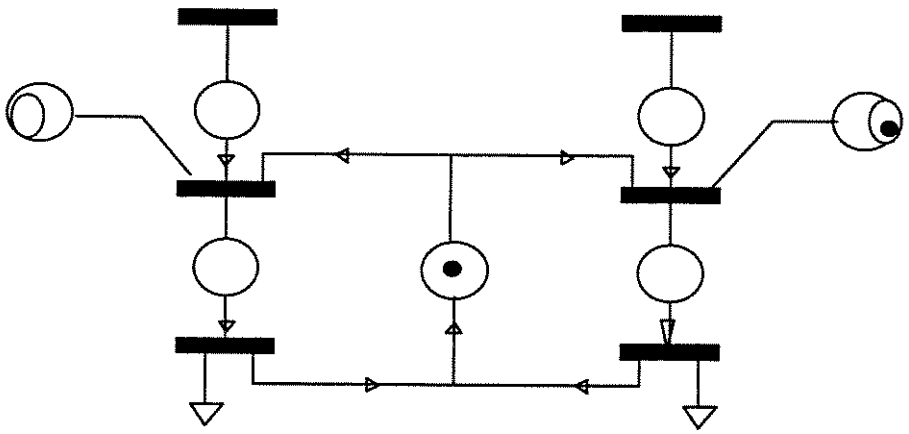


Figura 13 - Recurso compartilhado com controle externo.

4.4 Recurso compartilhado com operação alternada e controle externo

O sentido de operação alternada aqui é o processamento alternado de cada um dos produtos, ou seja, produto 1- produto 2 - produto 1 ....

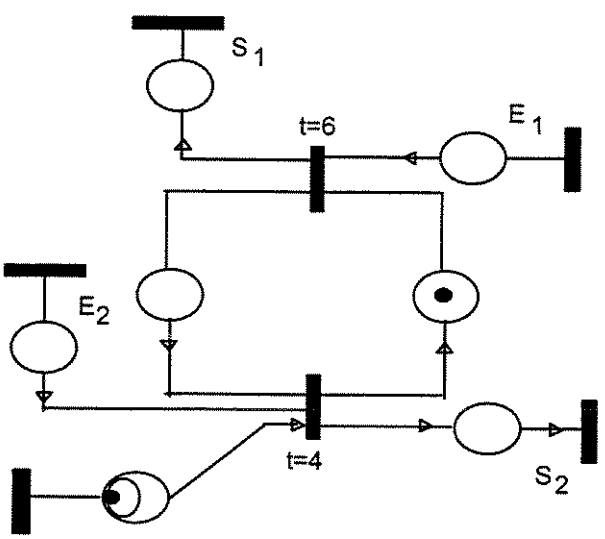


Figura 14 - Operações alternadas.

Este é um sistema para manufaturar dois tipos de partes denominadas de P1 e P2 respectivamente. Seis unidades de tempo são necessárias para a manufatura da parte P1 e quatro unidades para a parte P2. É assumido que existe uma única máquina e dadas as marcas na figura 14 a colocação de um pedido em E1 dispara a primeira manufatura. Devemos observar que:

i) o "controle externo" poderia estar alocado à entrada 1;
ii) poderíamos associar tempos à entradas de pedidos e tempos para transporte de pedidos terminados até aos usuários finais
iii) poderíamos conectar "controle externo" às duas entradas, neste caso marcas alternadas deveriam ser colocadas em cada uma.

5. Exemplo de Aplicação – Sistema Automatizado para Armazenagem

5.1 Esteira Transportadora (dois espaços)

A generalização para "n" espaços na esteira é imediata. Aqui fica clara a natureza discreta da representação dos sistemas, mesmo que eles sejam na realidade contínuos. A evolução da peça na esteira se dá do espaço 1, para o espaço 2, para o espaço 3...(figura 15).

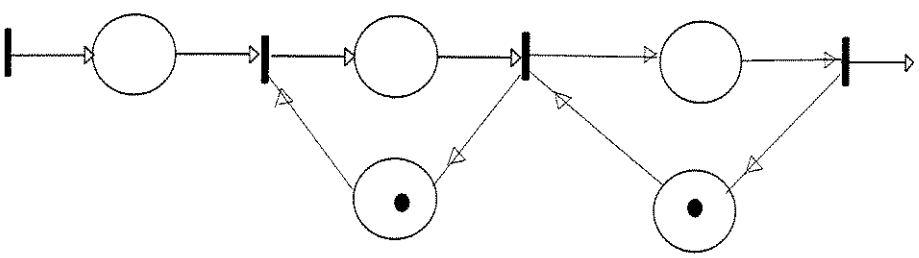


Figura 15 - Modelagem de esteiras transportadoras.

5.2 Sistema de Armazenamento

Existem várias formas de se administrar um sistema de armazenagem. Entre elas destacam-se as formas Primeiro a chegar Primeiro a ser Atendido (First-In First-Out) FIFO: Primeiro a chegar e último a ser atendido Last-in First-out (LIFO) e o atendimento em ordem aleatória.

A administração da armazenagem de estoque segundo uma política FIFO as partes deixam a fila na mesma ordem em que elas chegam na armazenagem e ai o modelo para sua representação é o mesmo das esteiras transportadoras.

5.3 Operação de Montagem

A mais simples operação de montagem exige pelo menos três condições: que duas partes estejam disponíveis para montagem tornando-se uma única após a operação e que o instrumento de montagem - máquina esteja disponível (figura 16).

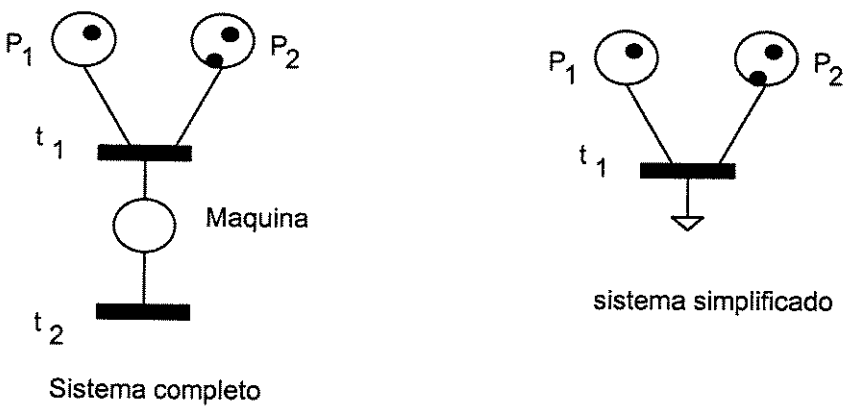


Figura 16 - Modelagem de sistemas de montagem.

Um outro exemplo muito importante é a modelagem de uma máquina realizando duas operações de montagem (uma máquina, cinco partes e dois produtos). A melhor forma de apresentar este problema é progredindo-o a partir de uma máquina que processa a montagem de duas partes dando como resultado um único produto final.

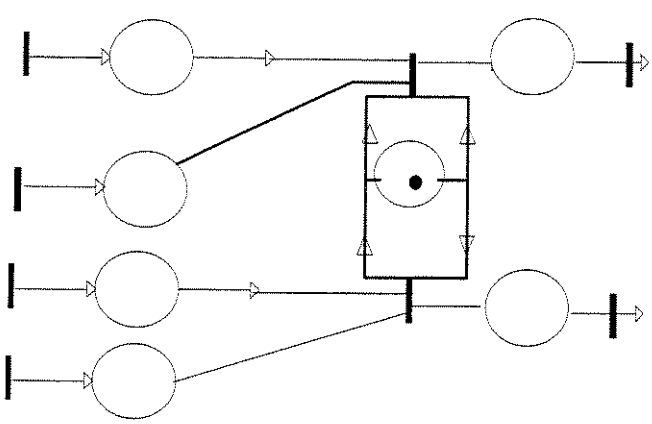


Figura 17 - Máquina realizando diferentes operações de montagem

5.4 Sistemas job-shop

Um sistema de produção é composto de três máquinas (M1 , M2 e M3) e deve processar três produtos diferentes na proporção de 25%, 50% e 25% respectivamente. A seqüência de produção para cada produto é:

$P_1 = M_1(3) - M_2(1) - M_3(4)$
$P_2 = M_3(2) - M_1(1)$
$P_3 = M_2(6) - M_1(4) - M_3(3)$

onde o número entre parênteses representa o tempo de processamento. Para sistemas mais complexos é interessante seguirmos alguns passos básicos para modelagem.

- Identifique as atividades e recursos necessários. Ordene as atividades para relação de precedência determinada.
- Monte o modelo para cada parte (definindo lugares e transições individual e em conjunto integrado).
- Especifique as operações cíclicas do sistema
- Especifique as marcas

Passo1: Modelagem do processo para cada tipo de parte (figura 18):

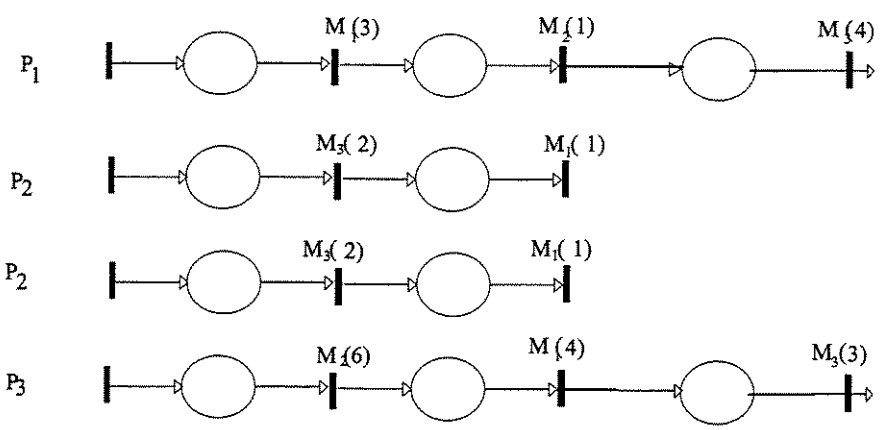


Figura 18 - Definição das linhas individuais.

Passo 2: Modelagem das operações cíclicas assumindo que uma nova parte é inserida no sistema assim que alguma parte deixa o sistema (figura 19).

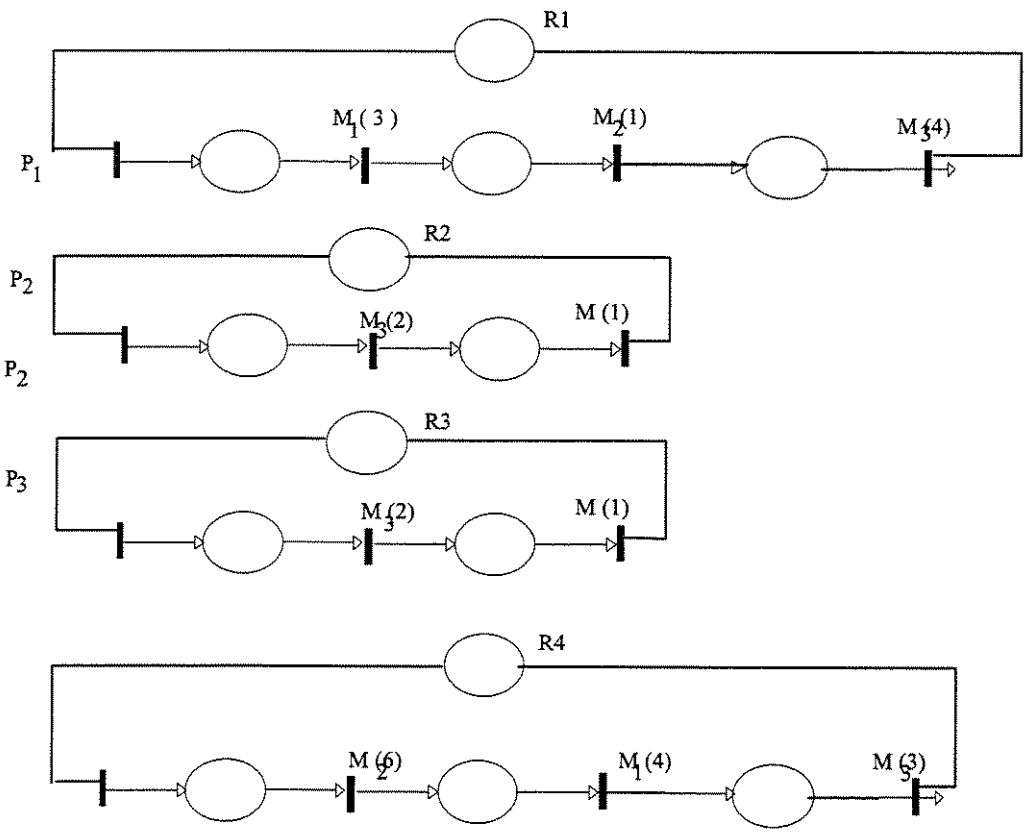


Figura 19 - Repetição cíclica.

Passo 3: Integração dos Modelos Individuais (figura 20):

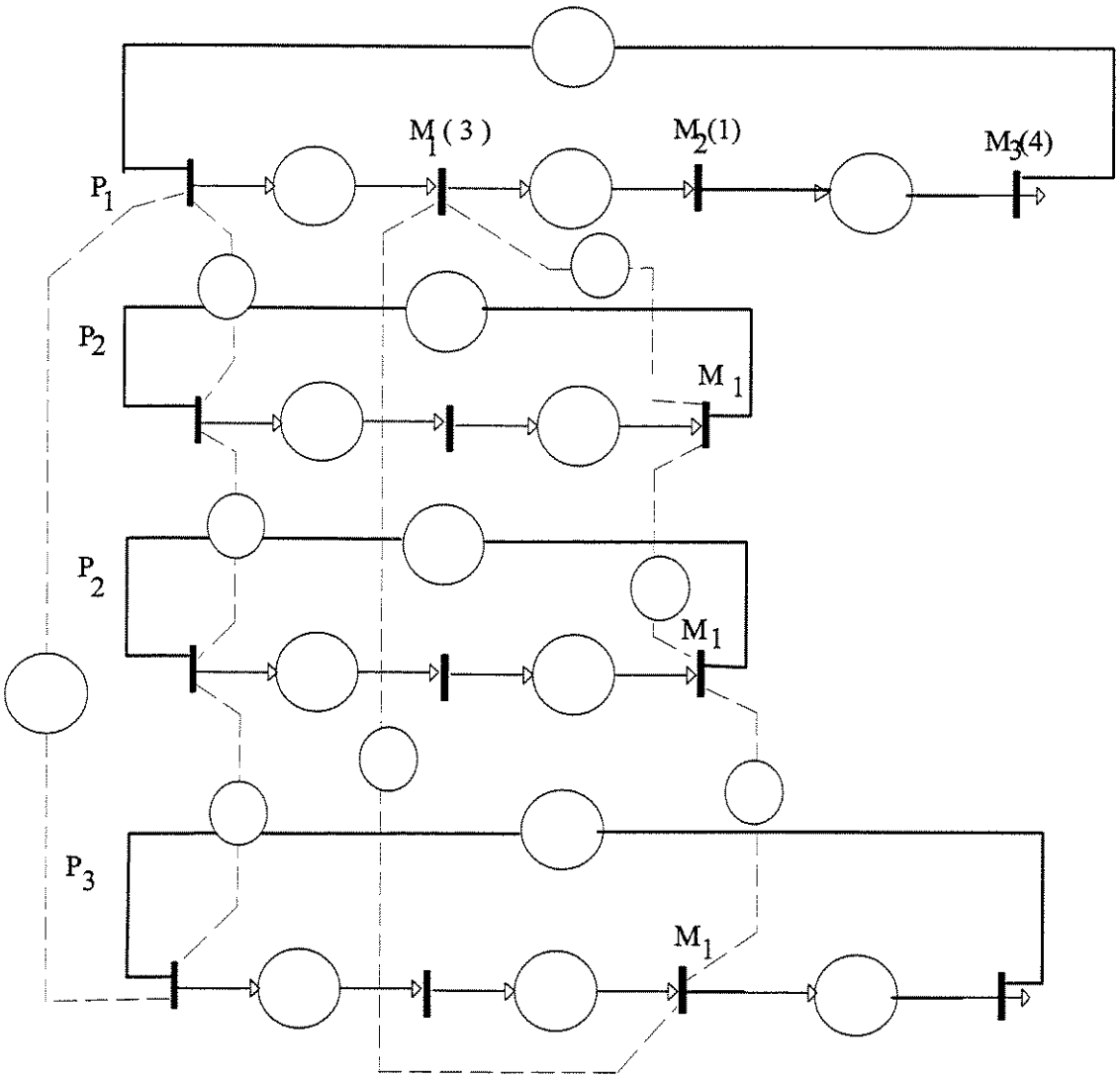


Figura 20 - Sistema Job-Shop – Rede Job-Shop.

Uma organização para a montagem de modelos de rede de Petri para representação de sistemas reais é importante e pode seguir um dos dois caminhos: *Bottom-up* e *Top-down*. O método *bottom-up* parte da definição de elementos ou de circuitos elementares que depois são interligados enquanto o método *top-down* começa com o modelo agregado que abandona os pequenos detalhes. O refinamento do modelo é feito, passo a passo, para incorporação de detalhes através da expansão de lugares e transições.

5.5 Sistemas de Fabricação apoiado em Robô

Na figura 21 é apresentado um sistema de fabricação apoiado por robô integrado com duas máquinas. Uma parte é fixada a um *pallet* e entregue a Máquina 1 que a processa. Terminado o processamento o robô pega a peça trabalhada e a coloca no buffer onde fica até ser requisitada pela Máquina 2. A segunda operação do robô é descarregar a Máquina 2 quando esta termina sua operação.

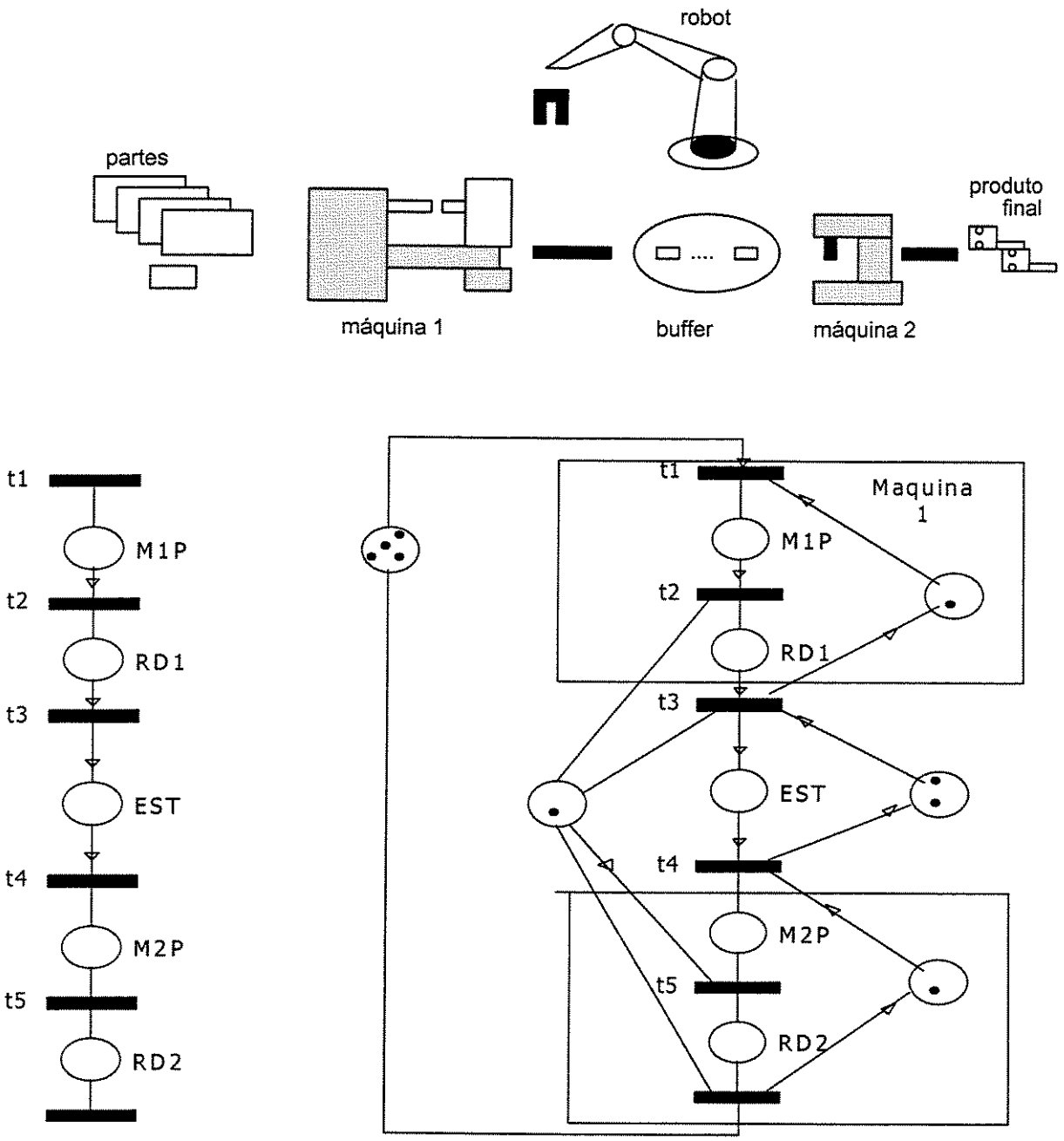


Figura 21 - Sistema máquina-robô.

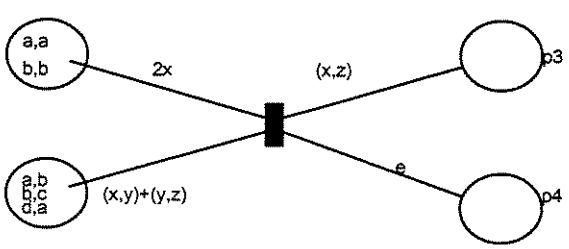
Outras seqüências de funcionamento poderiam ser testadas. Por exemplo, o Robô alimenta a máquina 2 a partir do buffer; o Robô alimenta a máquina 1 a partir do buffer e a máquina 2. ... etc.

5.6 Redes de Petri estendidas e reduzidas

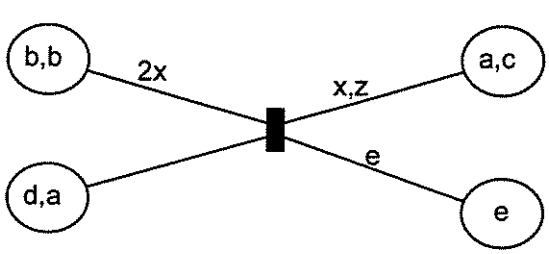
Os modelos de rede de Petri para representação de sistemas reais de manufatura são muito grandes e tornam-se ilegíveis e difíceis de serem analisados. Um outro aspecto a ser considerado é que até agora somente foi considerada a circulação de um único produto pelas redes.

Para aumentar os recursos disponíveis para modelagem e reduzir o modelo final tornando-o menos poluído em termos de símbolos são utilizadas as redes de Petri Estendidas. Estas são redes enriquecidas por lugares de controle, transições de entrada, transições de saída, arcos relacionados a determinado tipo de informação e principalmente que as marcas devem ter tipos (também chamadas de cores) que as diferenciem quando são marcas que contenham informação diferenciada. Estas redes são também chamadas de REDES DE ALTO NÍVEL e a seguir passaremos a discutir os aspectos elementares de sua aplicação.

A seguir serão discutidas as regras de disparo de transição em redes de alto nível, onde os diversos produtos são identificados por letras distintas colocadas dentro dos lugares e com condição de transição especificada sobre os arcos.



(a) antes do disparo



(b) apos o disparo

Figura 22 - Rede de alto nível.

A rede anterior consiste de uma transição e quatro lugares. Observe que os arcos possuem peso que estabelecem quantos e quais as marcas coloridas que serão removidas ou adicionadas aos lugares. Por exemplo, quando a transição t dispara, ocorrerá:

- p1 perde duas marcas da mesma cor, x:
- p2 perde duas marcas de cores diferentes
- p3 ganha uma marca de cor (x,z) e
- p4 ganha uma marca de cor e, (uma constante).

Este mesmo sistema poderia ser representado por uma rede regular como mostrado na figura 23.

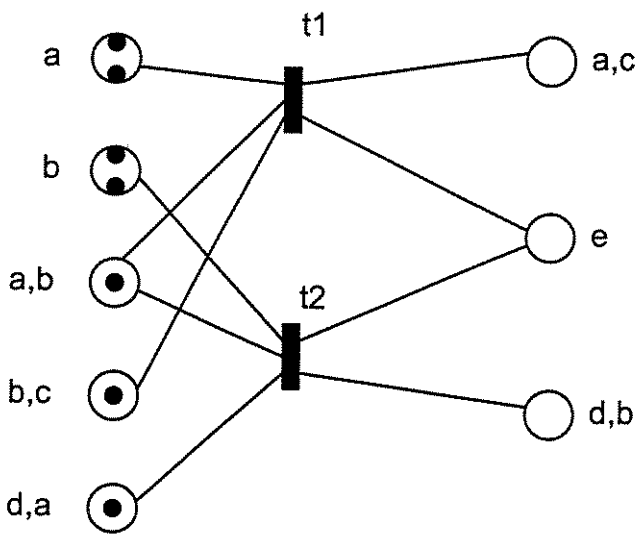


Figura 23 - Rede regular

6. Equivalência entre Rede de Petri e GRAFCET

Em geral, GRAFCET é usado para descrever, especificar e projetar sistemas a eventos discretos com o propósito de realizar seu controle tanto em aplicações acadêmicas quanto em aplicações industriais. GRAFCET é uma ferramenta também importante na especificação progressões complexas (seqüência, escolha, sincronização, paralelismo, exclusão mútua), requisitos necessários para aplicação ao planejamento e controle da produção. Contudo ela não é de fácil análise.

Além disso, os modelos precisam de uma validação quantitativa e qualitativa para assegurar que, por exemplo, a capacidade de produção é a desejada (quantitativa) e que as especificações funcionais do processo estão sendo consideradas (qualitativa).

Aparece então a necessidade de haver uma compatibilização de linguagem para quem está desenvolvendo projetando, especificando com aquele que tem o interesse de planejar este sistema. A seguir será estuda a possibilidade que equivalência entre as representações e a validação desta equivalência.

Para realizar estas validações o caminho é estabelecer uma rede de Petri equivalente. Esta transformação exige regras que irão limitar a capacidade GRAFCET. A metodologia proposta é:
1) Obter o modelo funcional de GRAFCET representativo do processo funcional.
2) Transformar o GRAFCET obtido em rede de Petri e realizar a validação **qualitativa**.
3) Estabelecer a rede de Petri para a validação **quantitativa**.

Se ambas as validações concordam com as especificações do processo modelado, então seu controle pode ser obtido a partir do modelo inicial de GRAFCET.

6.1 Exemplo de aplicação

Dois tipos de partes são processados pela célula mostrada na figura 24. O Robô R1 coloca as partes em uma esteira que as leva a um identificador de partes. O robô R2 carrega e descarrega a máquina. Sendo o objetivo obter a taxa máxima de produção e conhecidos os tempos de processamento de P1 e P2 faça a especificação funcional.

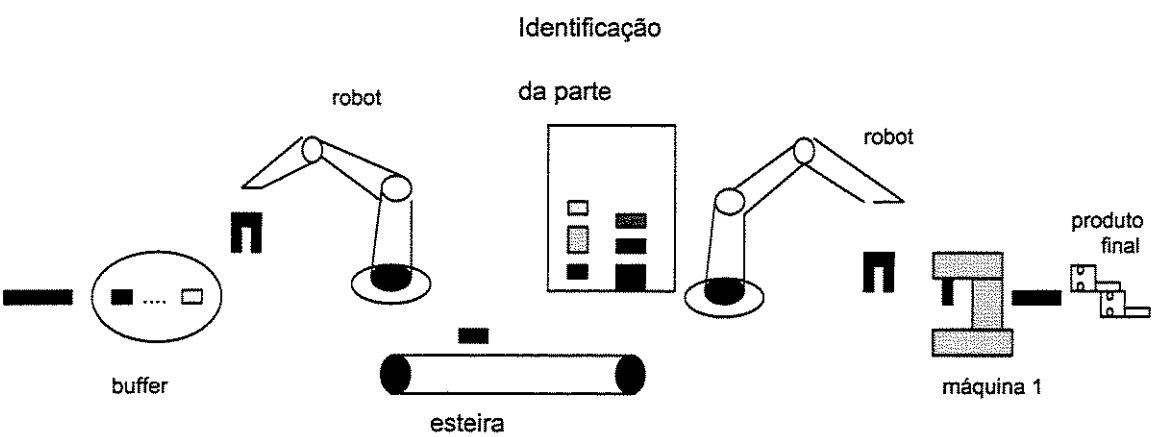


Figura 24.– Exemplo de Sistema.

Da descrição acima é difícil se especificar o sistema . O GRAFCET é o método para a representação que combina a linguagem textual com a linguagem gráfica que resulta em uma representação não ambígua da especificação.

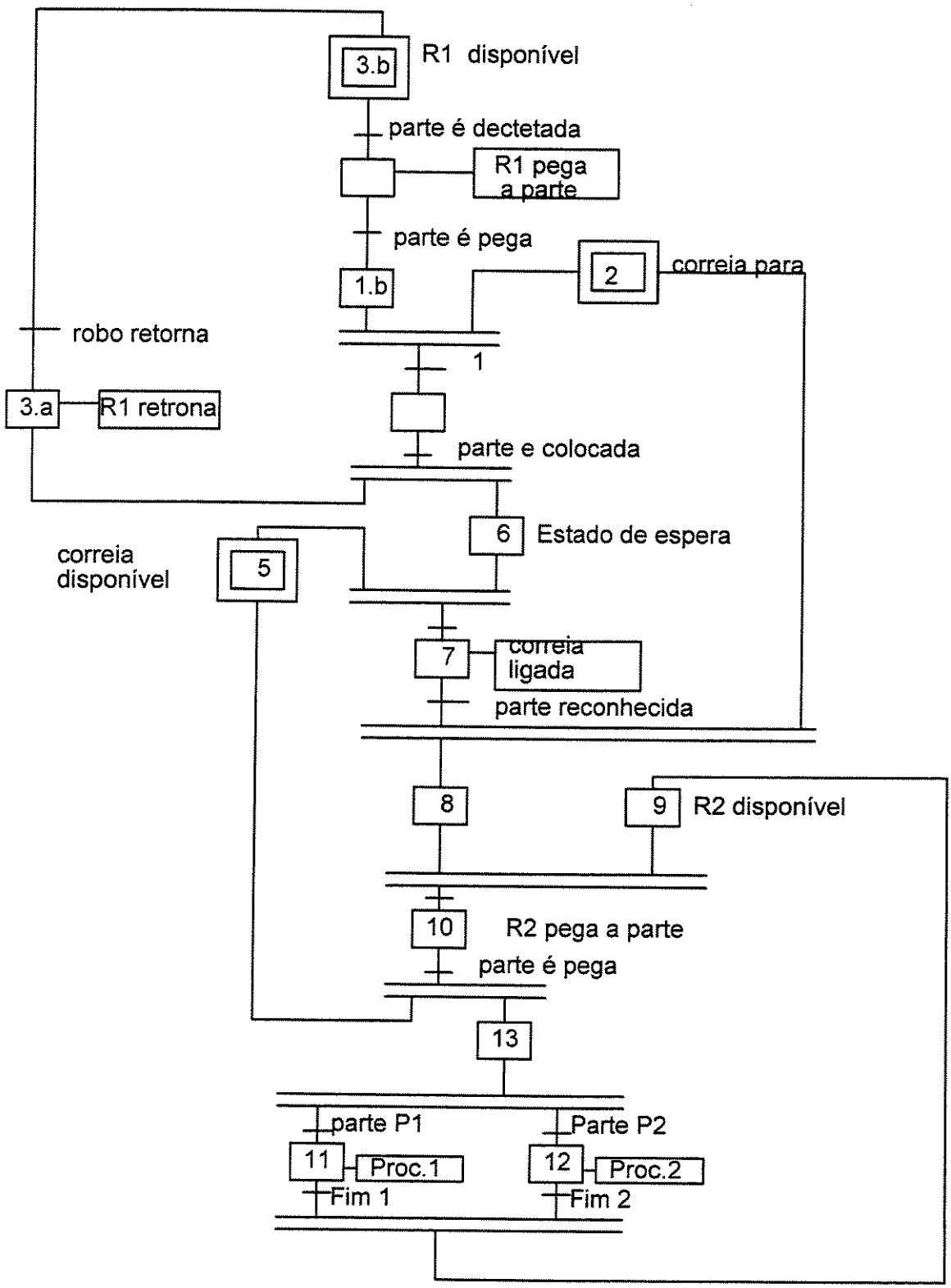


Figura 25 - GRAFCET correspondente à figura 24.

A metodologia usada para obter o modelo em GRAFCET é o estabelecimento da seqüência dos diferentes estados do processo e os eventos que estabelecem a evolução do sistema. Um possível modelo de GRAFCET do problema proposto é mostrado na figura 25. É difícil assegurar que todas as especificações funcionais foram levadas em conta por este modelo. Então serão propostas regras de transformação para se obter a rede de Petri correspondente e com isto se obter uma validação analítica.

Para assegurar que todas as especificações tenham sido consideradas é necessário determinar a Rede de Petri autônoma, obtida do modelo de GRAFCET inicial, utilizando as seguintes regras:

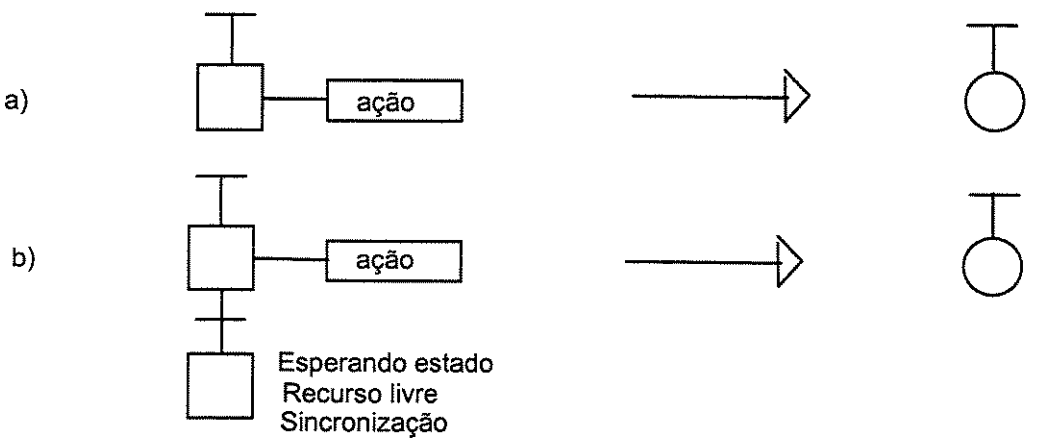


Figura 26 - Transformação Passo - Lugar

Estas transformações são compatíveis com a rede de Petri temporizada onde devem ser realizadas as avaliações de desempenho.

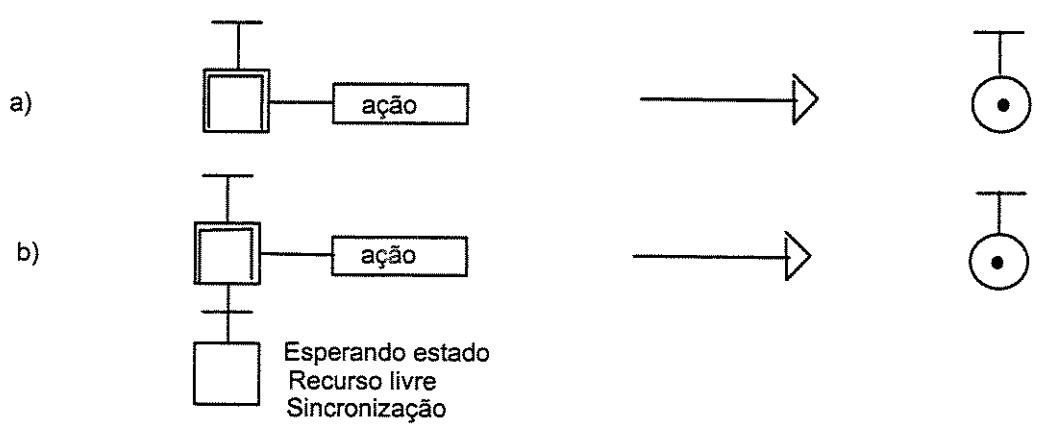


Figura 27 - Rede marcada.

Um lugar tem dois estados na rede de Petri: Estado indisponível quando a ação está sendo processada; estado disponível apontando para um estado de espera a partir do qual a

marca habilita o disparo de uma transição. A forma de identificação destes estados é através de marcas. Assim uma marca define dois estados que devem modelar duas condições diferentes em GRAFCET como mostrado na figura 28.

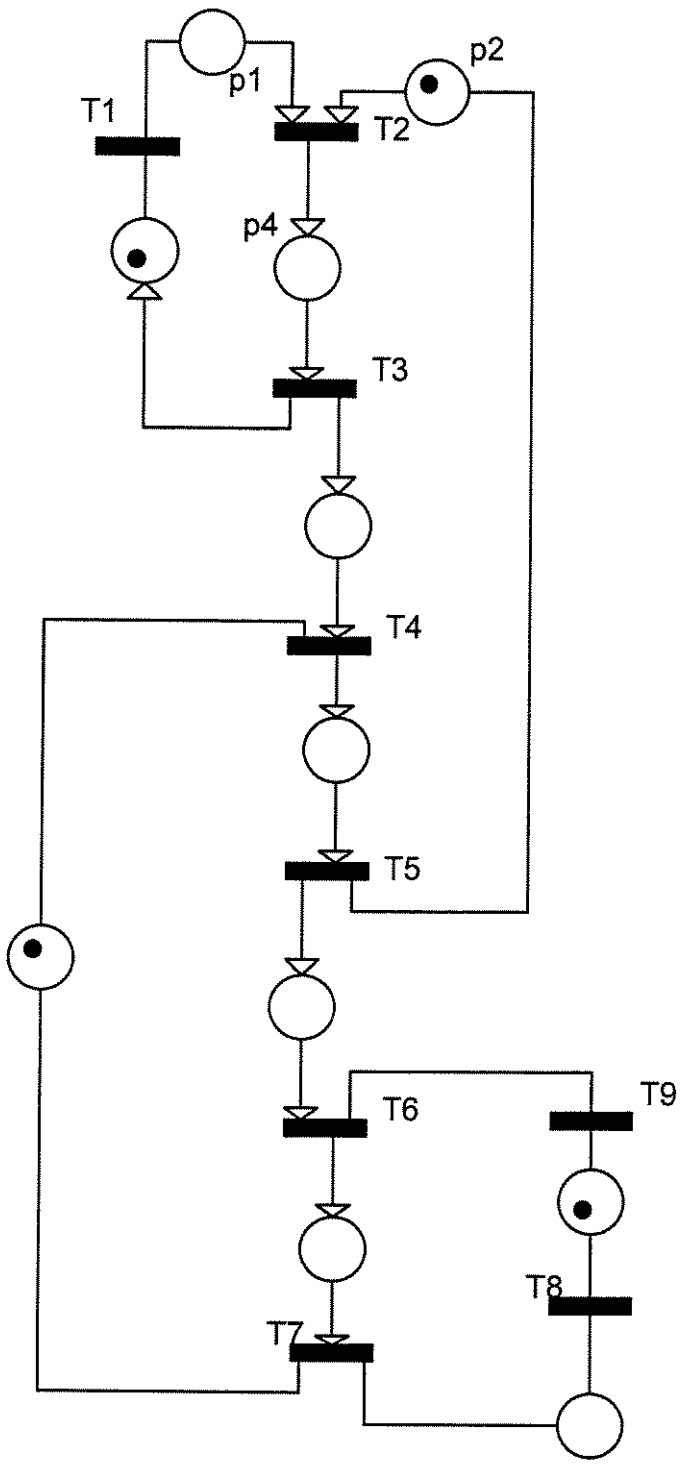


Figura 28 - GRAFCET para o Produto P1.

Para aplicar diretamente esta transformação o processo deve ser representado por um único GRAFCET, o que é uma condição pouco restritiva. A rede de Petri apresentada na figura 28, representa as transformações propostas acima, para o produto P1, onde o significado de cada lugar é:

P1: R1 pega a parte e espera pela esteira
P2: A esteira está parada,
P3: Após a carga o R1 retorna a sua posição inicial -disponível
P4: R1 coloca a parte na esteira e assim por diante.....

A extensão para consideração dos dois produtos, P1 e P2, é realizada na figura 29 através da adição de linhas pontilhadas na figura 28.

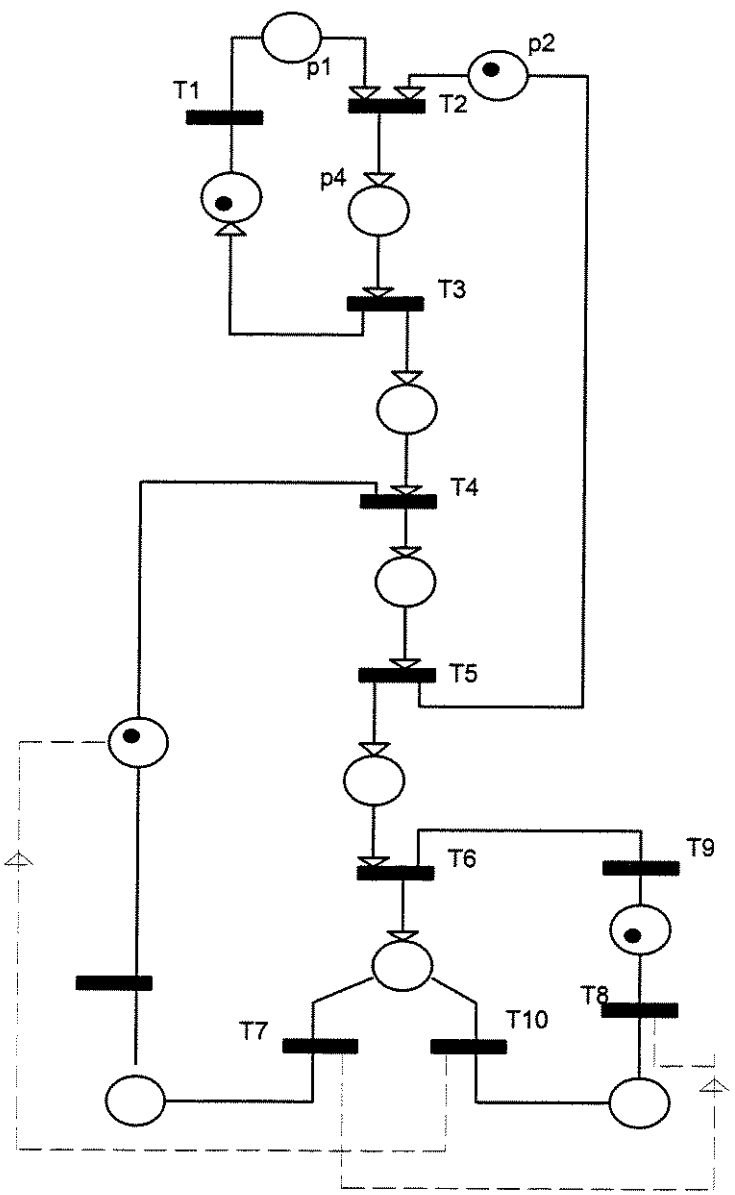


Figura 29 - GRAFCET para os dois produtos P1 e P2.

6.2 Validação Quantitativa

O processo de validação consiste em extrair do modelo propriedades no sentido de checar se correspondem com as especificações. Os resultados da validação são importantes porque dois modelos podem representar o mesmo estado. Após a validação quantitativa, o próximo passo consiste na verificação do desempenho onde a rede anterior deve levar em consideração o tempo de evento.

6.3 Avaliação de Desempenho

A avaliação de desempenho esta associada a redes temporizadas. Elas podem ser determinísticas ou probabilísticas. Nas redes determinísticas a avaliação pode ser por métodos analíticos ou métodos de simulação. Já na rede estocástica a avaliação deve ser por simulação.

ANEXO III

Especificações Tecnológicas de um Edifício Inteligente
Parte Operativa

Relação das saídas e entradas da CLP Telemecanique.

As variáveis utilizadas como LABEL na programação da CLP são as variáveis da penúltima coluna, que correspondem às saídas da CLP e são os cabos *jumpeados* vindos da maquete.

A lógica do endereçamento das variáveis é a seguinte:

B11A6

- A6 — QUANTIDADE DE LEDs EM PARALELO
- A — LETRA INDICANDO DIFERENTES BLOCOS DE LEDs
- 1 — Nº DO PISO
- 1 — Nº DO BLOCO
- B — B INDICANDO 'BLOCO'

Se na penúltima coluna há um vazio, isso indica que há um *jump* das variáveis da 5ª coluna. Exemplo: **B13J8** = jump (na quinta coluna) de **B13J4** e **B13M4**. Como foi feito um *jump* de 4 leds+4leds, o *label* da nova variável será o mesmo da primeira mas com a soma dos leds.

Relação de Saídas

Bloco	Piso	Ligação	Descrição	Variável	Descrição JMP	Variável JMP	Saída CLP
Bloco 1	1	A6	Iluminação 111	B11A6	Iluminação 111	B11A6	%Q2.0
Bloco 1	2	C6	Iluminação 121	B12C6	Iluminação 121	B12C6	%Q2.1
Bloco 1	2	D3	Iluminação 122	B12D3	Iluminação 122	B12D3	%Q2.2
Bloco 1	3	I3	Iluminação 131	B13I3	Iluminação 131	B13I3	%Q2.3
Bloco 1	3	J4	Iluminação 132	B13J4	Iluminação 132	B13J8	%Q2.4
Bloco 1	3	M4	Iluminação 133	B13M4			
Bloco 1	1	B6	Emergência 111	B11B6	Emergência 111	B11B6	%Q2.5
Bloco 1	2	E6	Emergência 121	B12E6	Emergência 121	B12E7	%Q2.6
Bloco 1	2	F1	Emergência 122	B12F1			
Bloco 1	3	K4	Emergência 131	B13K4	Emergência 131	B13K8	%Q2.7
Bloco 1	3	N4	Emergência 132	B13N4			
Bloco 1	2	G5	Ar 121	B12G5	Ar 121	B12G6	%Q2.8
Bloco 1	2	H1	Ar 122	B12H1			
Bloco 1	3	L4	Ar 131	B13L4	Ar 131	B13L8	%Q2.9

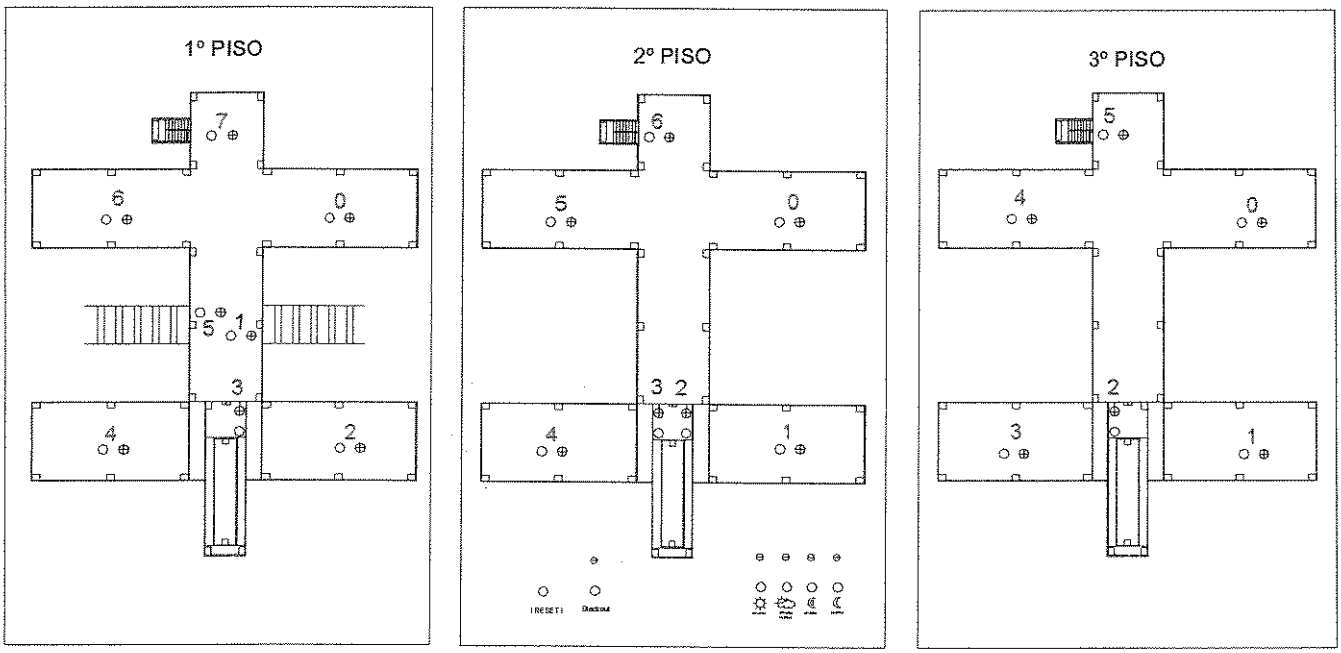
Bloco 1	3	O4	Ar 132	B13O4			
Bloco 2	1	A8	Iluminação 211	B21A8	Iluminação 211	B21A8	%Q6.0
Bloco 2	2	C2	Iluminação 221	B22C2	Iluminação 221	B22C2	%Q6.1
Bloco 2	2	D6	Iluminação 222	B22D6	Iluminação 222	B22D10	%Q6.2
Bloco 2	2	E2	Iluminação 223	B22E2			
Bloco 2	2	H2	Iluminação 224	B22H2			
Bloco 2	3	M2	Iluminação 231	B23M2	Iluminação 231	B23M2	%Q6.3
Bloco 2	3	N4	Iluminação 232	B23N4	Iluminação 232	B23N8	%Q6.4
Bloco 2	3	Q4	Iluminação 233	B23Q4			
Bloco 2	1	B2	Emergência 211	B21B2	Emergência 211	B21B2	%Q6.5
Bloco 2	2	F2	Emergência 221	B22F2	Emergência 221	B22F6	%Q6.6
Bloco 2	2	I2	Emergência 222	B22I2			
Bloco 2	2	K2	Emergência 223	B22K2			
Bloco 2	3	O4	Emergência 231	B23O4	Emergência 231	B23O8	%Q6.7
Bloco 2	3	R4	Emergência 232	B23R4			
Bloco 2	2	G2	Ar 221	B22G2	Ar 221	B22G6	%Q2.10
Bloco 2	2	J2	Ar 222	B22J2			
Bloco 2	2	L2	Ar 223	B22L2			
Bloco 2	3	P4	Ar 231	B23P4	Ar 231	B23P8	%Q2.11
Bloco 2	3	S4	Ar 232	B23S4			
Bloco 3	1	A2	Iluminação 311	B31A2	Iluminação 311	B31A2	%Q8.2
Bloco 3	1	B2	Iluminação 312	B31B2	Iluminação 312	B31B4	%Q8.3
Bloco 3	1	C2	Iluminação 313	B31C2			
Bloco 3	2	H2	Iluminação 321	B32H2	Iluminação 321	B32H2	%Q8.4
Bloco 3	2	I2	Iluminação 322	B32I2	Iluminação 322	B32I4	%Q8.5
Bloco 3	2	J2	Iluminação 323	B32J2			
Bloco 3	3	O2	Iluminação 331	B33O2	Iluminação 331	B33O2	%Q8.6
Bloco 3	3	P2	Iluminação 332	B33P2	Iluminação 332	B33P4	%Q8.7
Bloco 3	3	Q2	Iluminação 333	B33Q2			
Bloco 3	1	D1	Emergência 311	B31D1	Emergência 311	B31D2	%Q8.8
Bloco 3	1	F1	Emergência 312	B31F1			
Bloco 3	2	K1	Emergência 321	B32K1	Emergência 321	B32K2	%Q8.9
Bloco 3	2	M1	Emergência 322	B32M1			
Bloco 3	3	R1	Emergência 331	B33R1	Emergência 331	B33R2	%Q8.10
Bloco 3	3	T1	Emergência 332	B33T1			
Bloco 3	1	E1	Ar 311	B31E1	Ar 311	B31E2	%Q8.11
Bloco 3	1	G1	Ar 312	B31G1			
Bloco 3	2	L1	Ar 321	B32L1	Ar 321	B32L2	%Q8.0
Bloco 3	2	N1	Ar 322	B32N1			
Bloco 3	3	S1	Ar 331	B33S1	Ar 331	B33S2	%Q8.1
Bloco 3	3	U1	Ar 332	B33U1			
Bloco 4	1	A4	Iluminação 411	B41A4	Iluminação 411	B41A4	%Q10.0
Bloco 4	2	C2	Iluminação 421	B42C2	Iluminação 421	B42C2	%Q10.1
Bloco 4	2	D4	Iluminação 422	B42D4	Iluminação 422	B42D8	%Q10.2
Bloco 4	2	E4	Iluminação 423	B42E4			
Bloco 4	3	H2	Iluminação 431	B43H2	Iluminação 431	B43H2	%Q10.3
Bloco 4	3	I4	Iluminação 432	B43I4	Iluminação 432	B43I8	%Q10.4
Bloco 4	3	J4	Iluminação 433	B43J4			

Bloco 4	1	B4	Emergência 411	B41B4	Emergência 411	B41B4	%Q10.6
Bloco 4	2	G4	Emergência 421	B42G4	Emergência 421	B42G4	%Q10.7
Bloco 4	3	K4	Emergência 431	B43K4	Emergência 431	B43K6	%Q10.7
Bloco 4	3	L2	Emergência 432	B43L2			
Bloco 4	2	F2	Ar 421	B42F2	Ar 421	B42F2	%Q10.8
Bloco 4	3	M4	Ar 431	B43M4	Ar 431	B43M6	%Q10.9
Bloco 4	3	N2	Ar 432	B43N2			
Escada		A2	Iluminação	EA2	Iluminação	EA2	%Q4.0\1.0
Rampa		A5	Iluminação	RA5	Iluminação	RA5	%Q4.0\1.1
Rampa		B5	Iluminação	RB5	Iluminação	RB5	%Q4.0\1.2
Corredor	1	A6	Iluminação 511	C1A8	Iluminação 511	C1A8	%Q4.0\1.3
Corredor	2	B8	Iluminação 521	C2B8	Iluminação 521	C2B8	%Q4.0\1.4
Corredor	3	D8	Iluminação 531	C3D8	Iluminação 531	C3D8	%Q4.0\1.5
Escada		B2	Emergência	EB2	Emergência	EB2	%Q4.0\1.6
Corredor	1	F6	Emergência 511	C1F6	Emergência 511	C1F6	%Q4.0\1.7
Corredor	2	C6	Emergência 521	C2C6	Emergência 521	C2C6	%Q4.0\1.8
Corredor	3	E6	Emergência 531	C3E6	Emergência 531	C3E6	%Q4.0\1.9
				Total saídas: 79		Total saídas: 51	

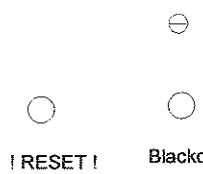
Relação de Entradas

Bloco	Piso	Descrição	Entrada CLP
Bloco 1	1	Corredor	%I1.0
Bloco 1	2	Corredor	%I1.1
Bloco 1	3	Corredor	%I1.2
Bloco 2	1	Corredor	%I1.3
Bloco 2	2	Corredor	%I1.4
Bloco 2	3	Corredor	%I1.5
Bloco 3	1	Corredor	%I1.6
Bloco 3	2	Corredor	%I1.7
Bloco 3	3	Corredor	%I1.8
Bloco 4	1	Corredor	%I1.9
Bloco 4	2	Corredor	%I1.10
Bloco 4	3	Corredor	%I1.11
Corredor	1	Entrada porta 1	%I3.0
Corredor	1	Entrada porta 2	%I3.1
Corredor	1	Entrada/Saída Escada	%I3.2
Corredor	1	Entrada/Saída Rampa	%I3.3
Corredor	2	Entrada/Saída Escada	%I3.4
Corredor	2	Entrada/Saída Rampa	%I3.5
Corredor	3	Entrada/Saída Escada	%I3.6
Corredor	3	Entrada/Saída Rampa	%I3.7
Chave 1		Período 07-18hs normal	%I5.0
Chave 2		Período 07-18hs nublado	%I5.1
Chave 3		Período 18-22hs	%I5.2
Chave 4		Período 22-07hs	%I5.3

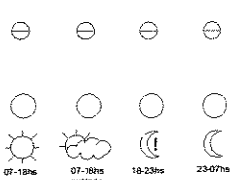
Planta dos 3 pisos da maquete. Os números em vermelho correspondem aos *push-buttons* que simulam o sensor de presença.



Na planta central há outros 6 push-buttons:



Botão de *reset* que reiniciará a simulação apagando todos os leds que estiverem acesos.
Botão de simulação de Black-Out, quando todas as luzes de emergência acenderão.
As circunferências representam a posição dos *push-buttons* e as circunferências riscadas representam a posição de um LED indicador.



Botões para escolha do período do dia e condições do tempo. Período de 7 às 18hs em um dia ensolarado. Período de 7 às 18hs em um dia nublado, com pouca luminosidade. Período de 18 às 23hs, quando há aulas noturnas e portanto há uma redução da iluminação. Período de 23 às 7hs, onde as luzes estarão apagadas e só acenderão mediante à presença de alguém no prédio.

ANEXO IV

Planta física dos diferentes andares dos Blocos H e I da FEM-UNICAMP utilizado para Implementação da Maquete de Sistema Automação Predial

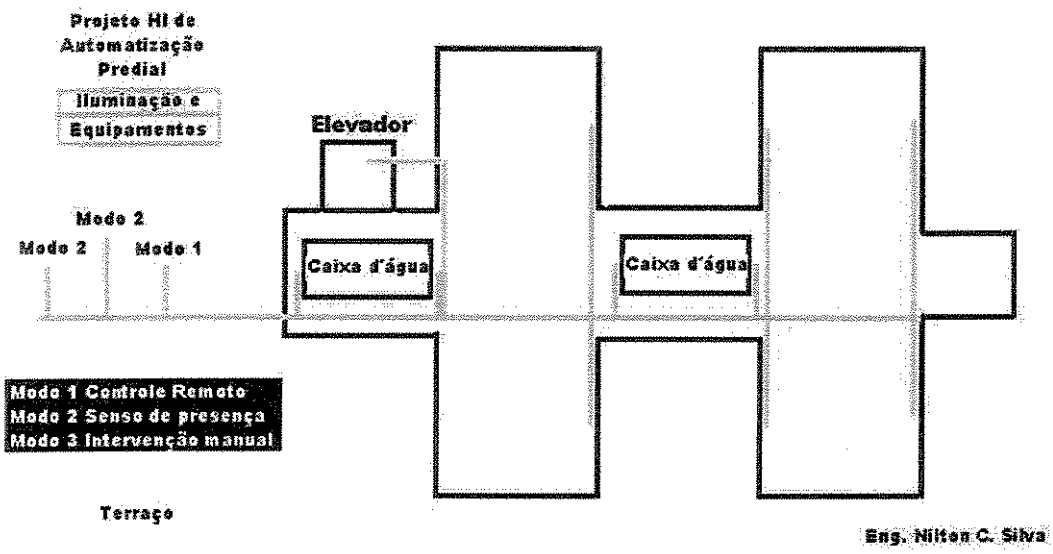


Figura 1: Planta - vista de topo - iluminação externa e reservatório de água no teto.

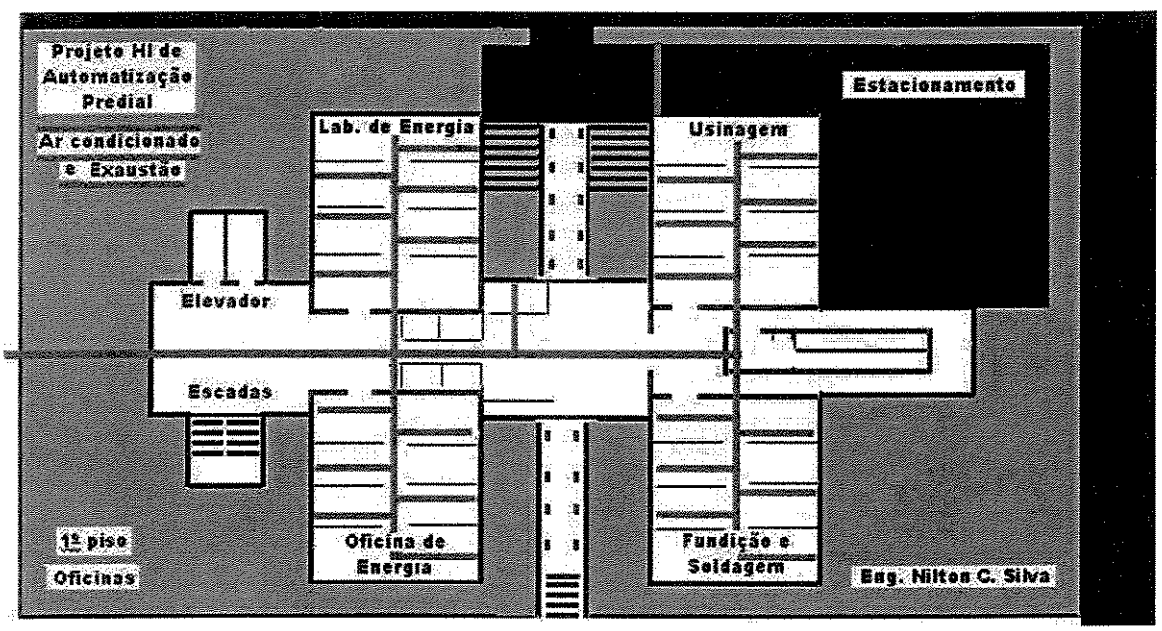


Figura 2: Planta 1o piso (andar térreo) – sistema de ar condicionado e exaustão nas oficinas.

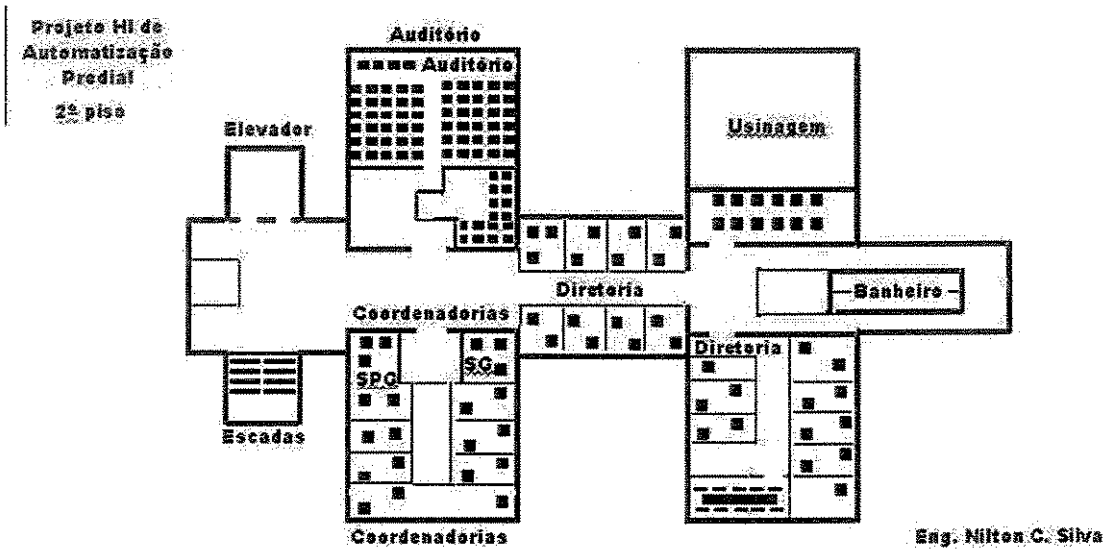


Figura 3: Planta 2o piso (2° andar) – Diretoria, Coordenações e Auditórios.

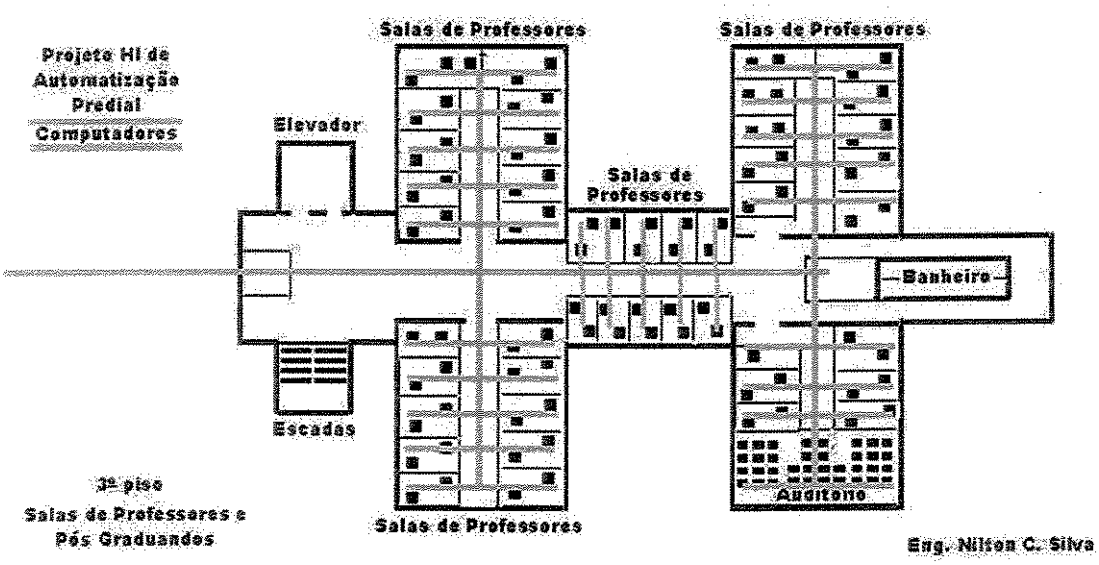
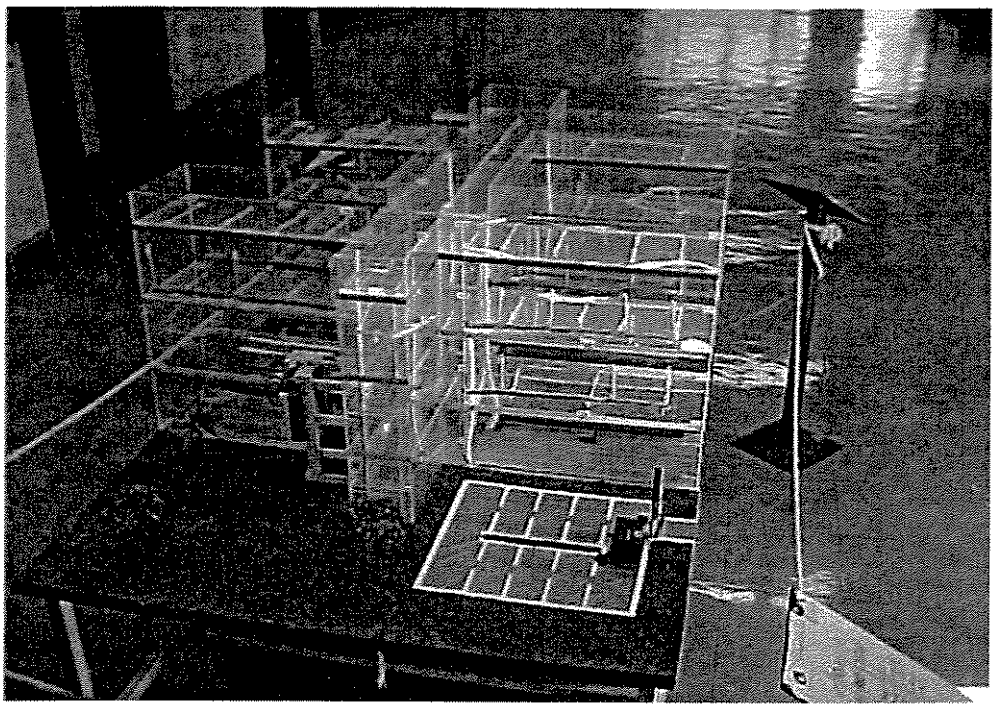
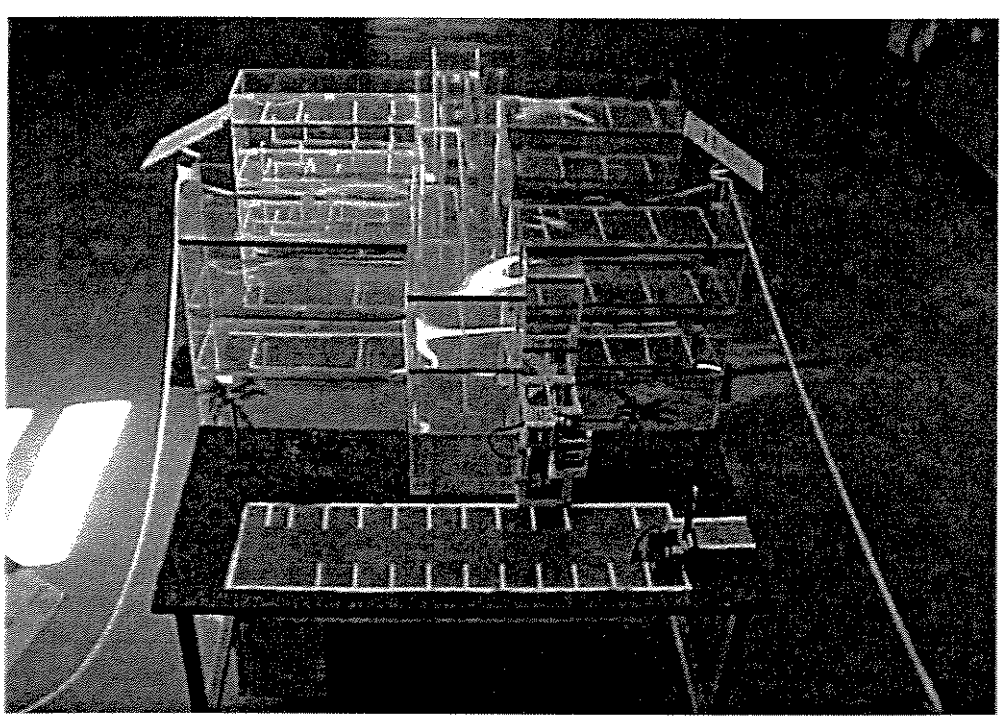


Figura 4: Planta 3o piso (3° andar) – sala de professores e alunos.



(a)

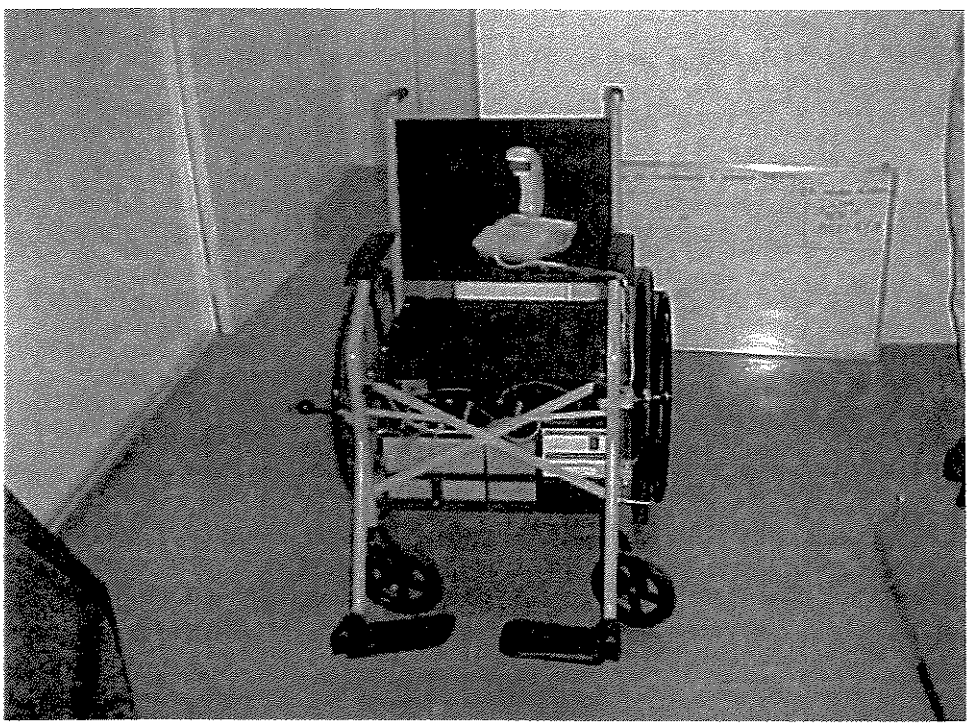


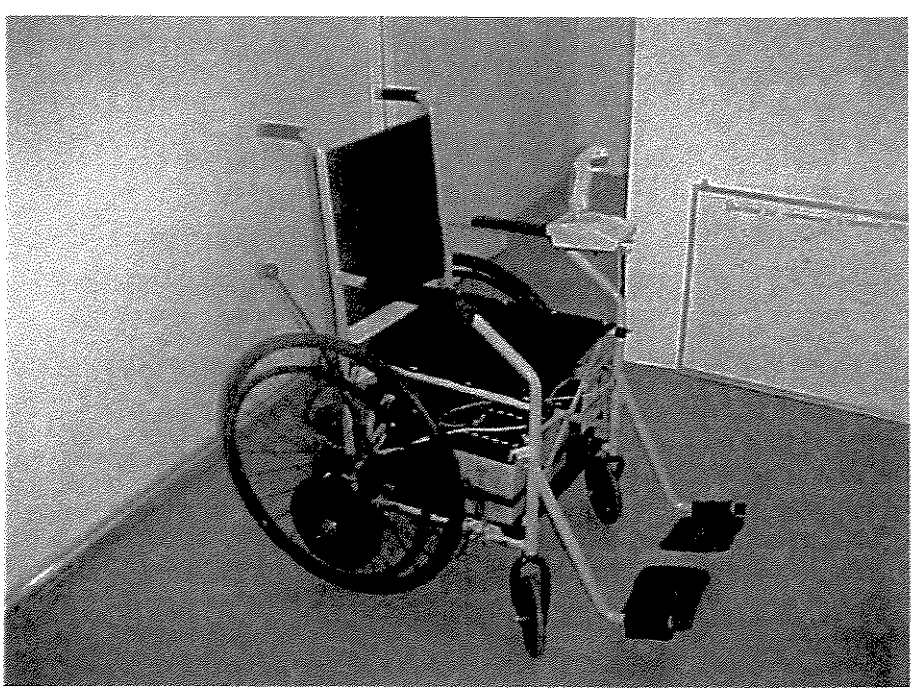
(b)

Figura 5: Detalhes da Maquete correspondente a um Edifício Inteligente.

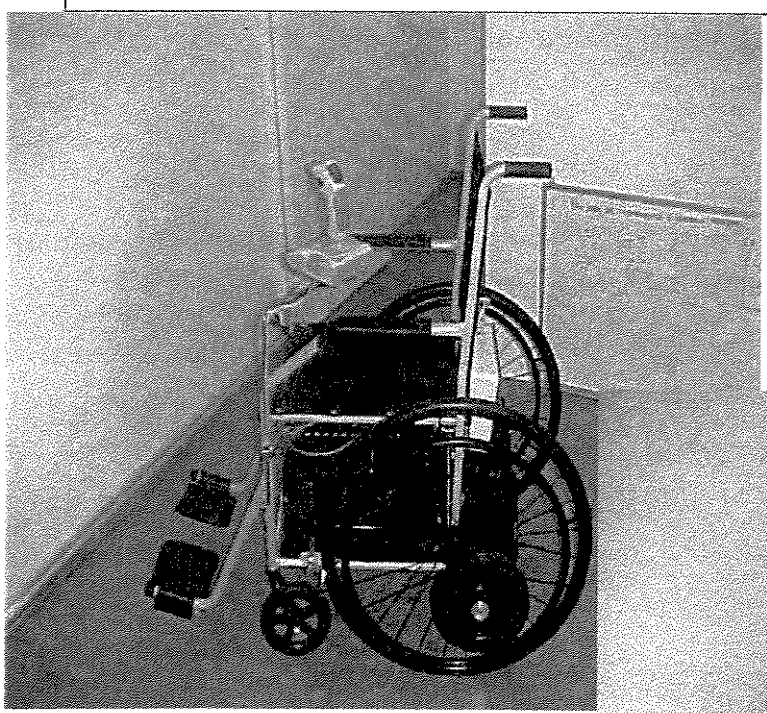
ANEXO V

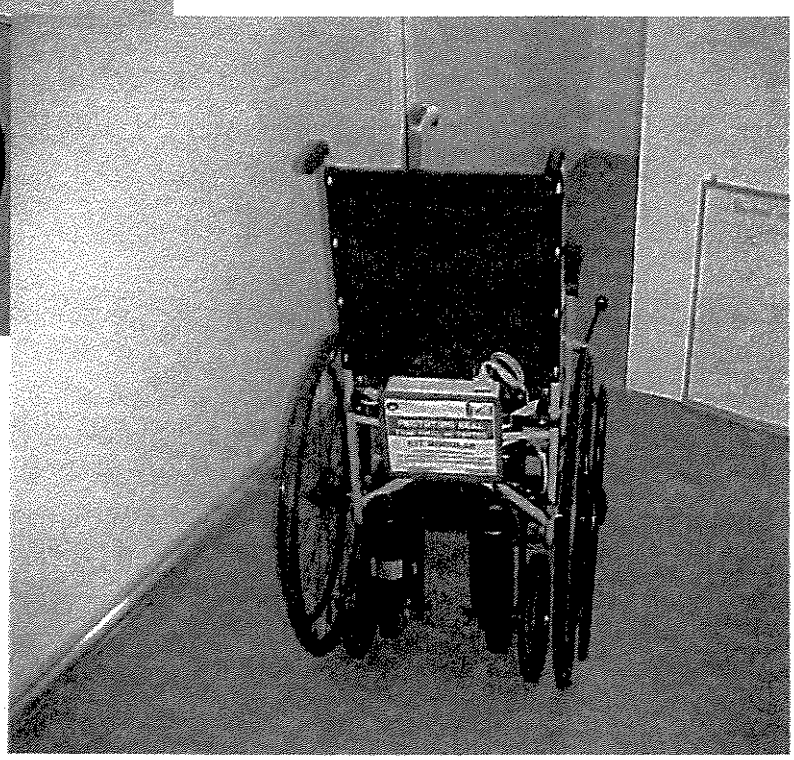
Desenvolvimento de Kit Modular de Sistema Automatizado de Baixo Custo para Movimentação de Cadeira de Rodas Convencionais



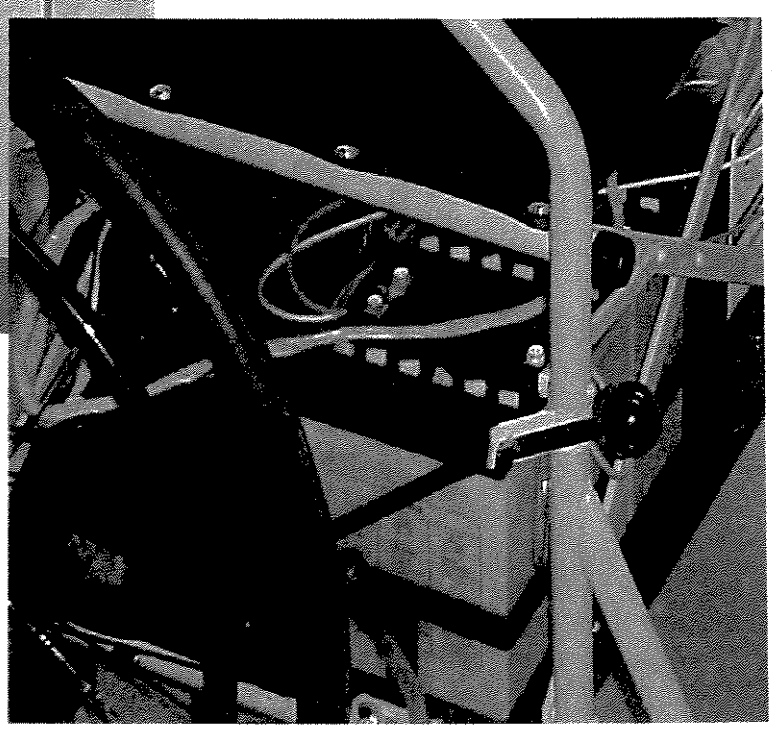


Projeto Mecânico e Dispositivo de Controle

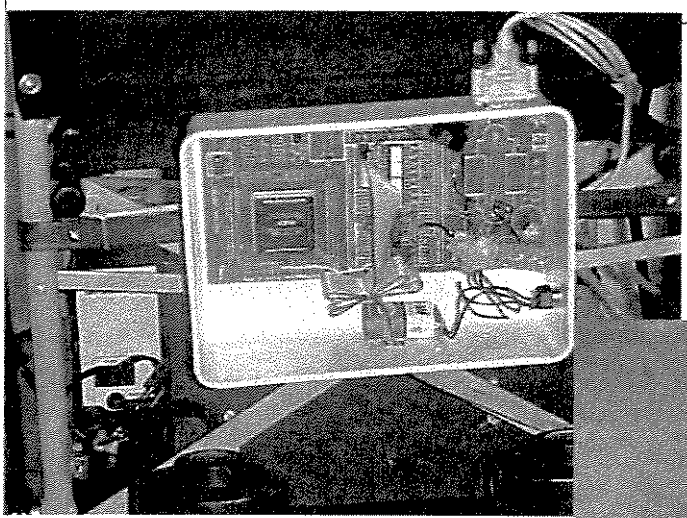


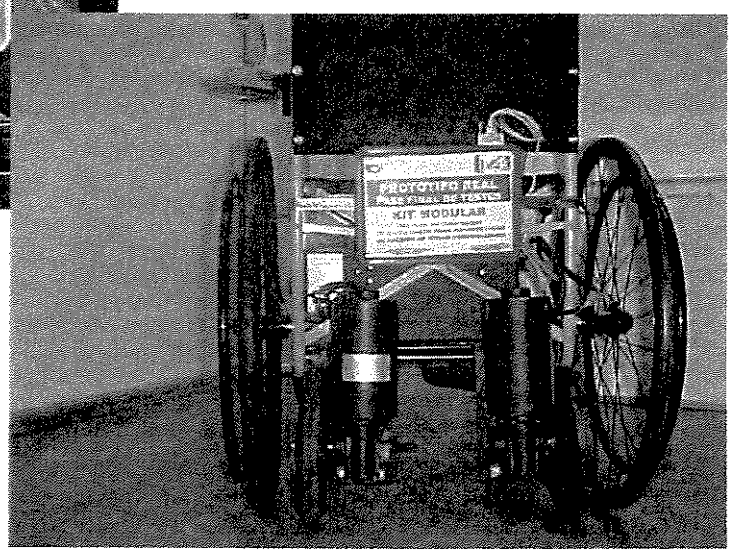


Detalhe do Sistema de Acionamento e Controle



Interface Eletrônica e Sistema de Acionamento





ANEXO VI

Desenvolvimento de Sistema de Controle Automatizado de Acessos – Infra-estrutura implementada no Laboratório de Automação Integrada e Robótica – FEM-UNICAMP

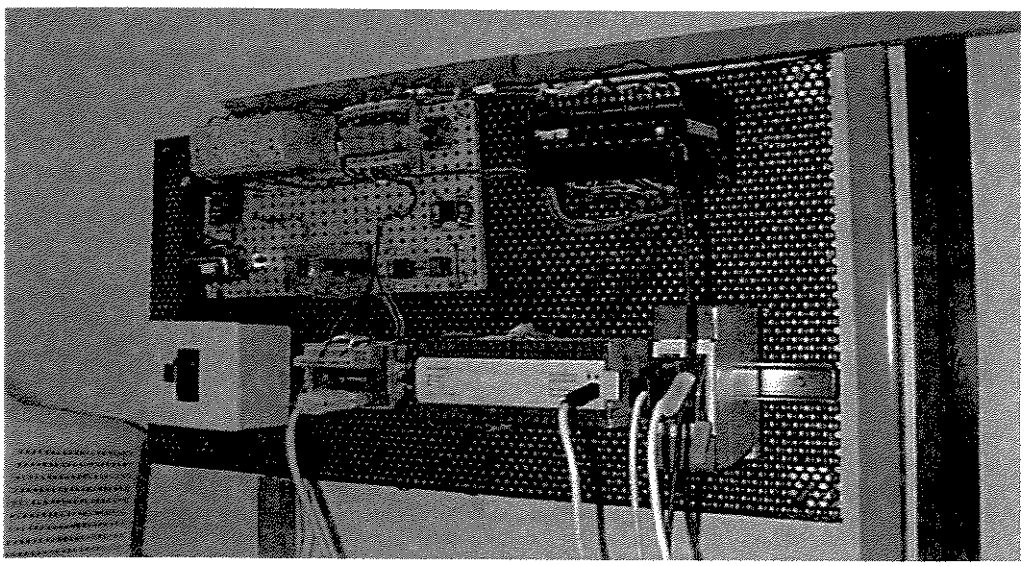


Figura 1: Maquete de Sistema de Controle e Saida de Fluxo de Pessoas (Controlador Lógico Programável Koyo E Mitsubishi)

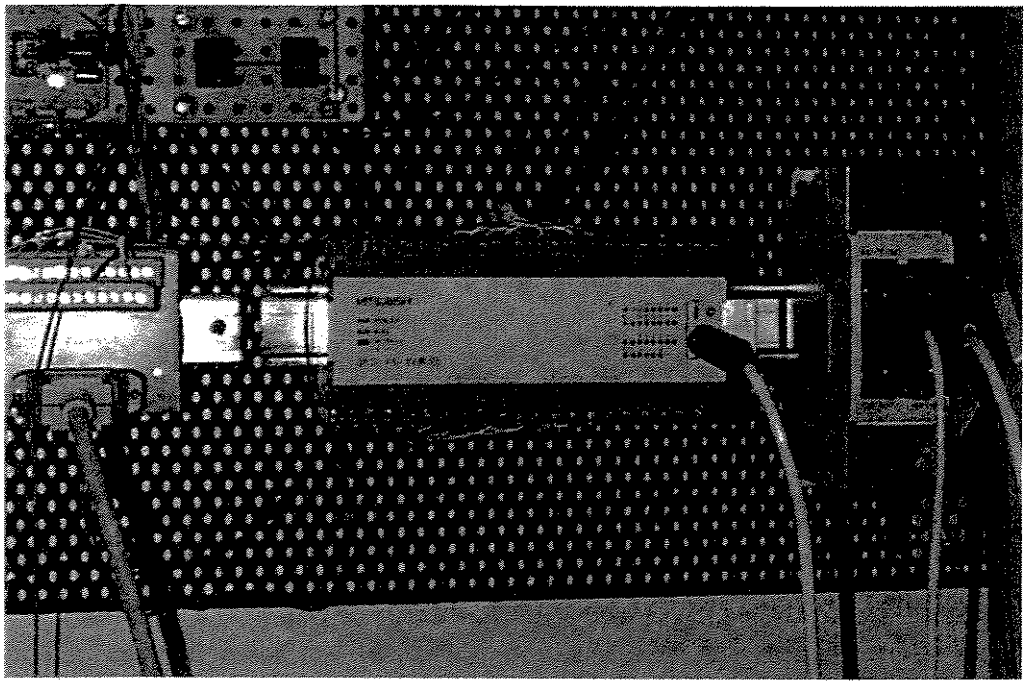


Figura 2: Detalhe do Controlador Lógico Programável Mitsubishi

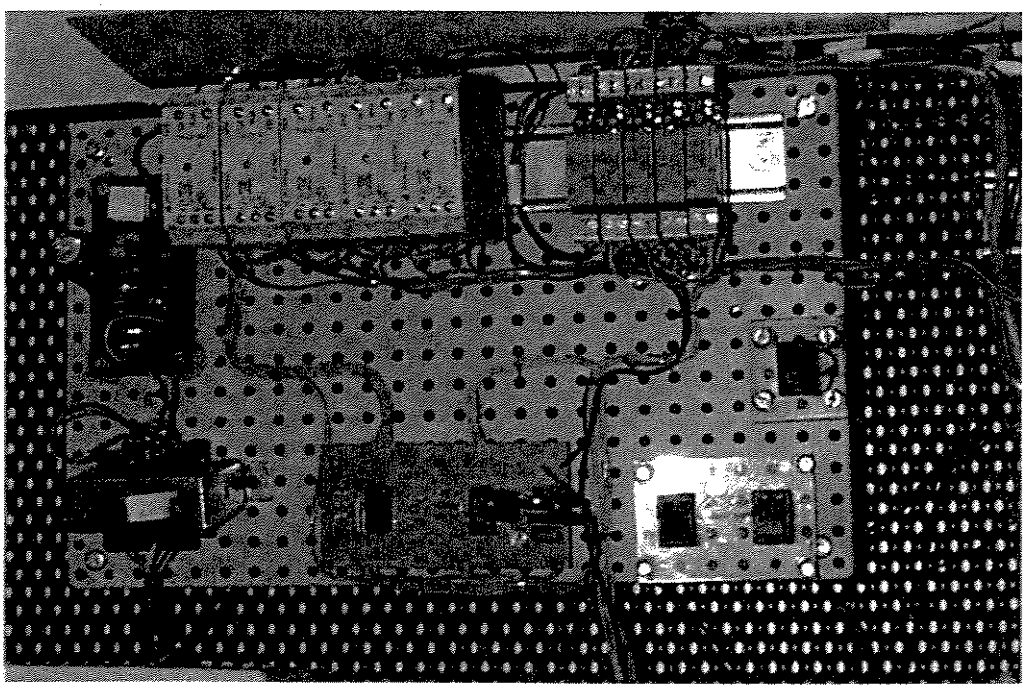


Figura 3: Detalhe do Sistema de Cabeamento utilizado (Régua de Bornes)

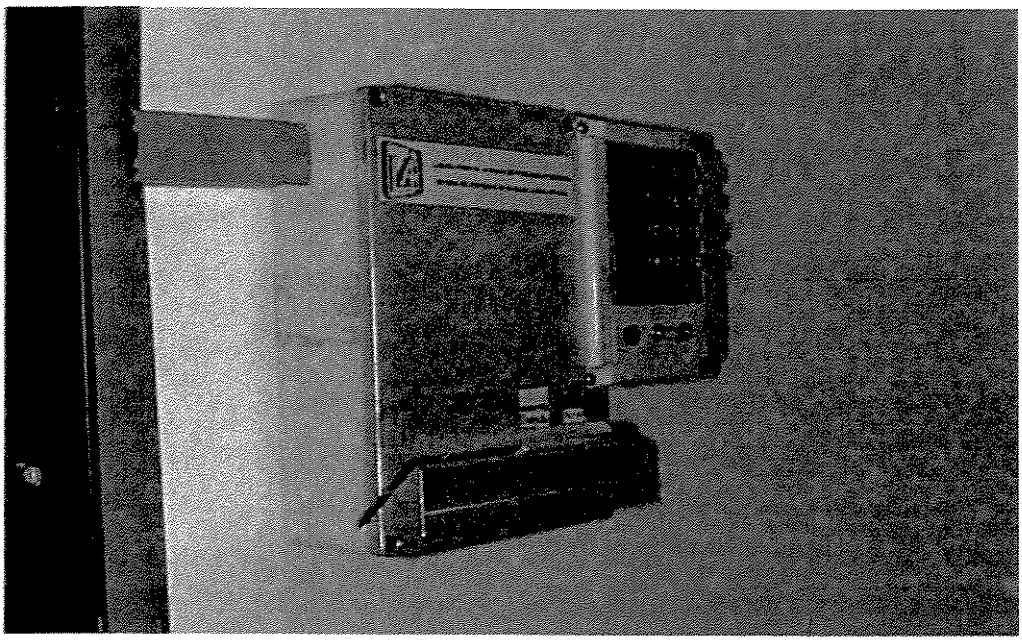


Figura 4: Dispositivo Mecânico de controle de Entrada nas Dependências do LAR – FEM

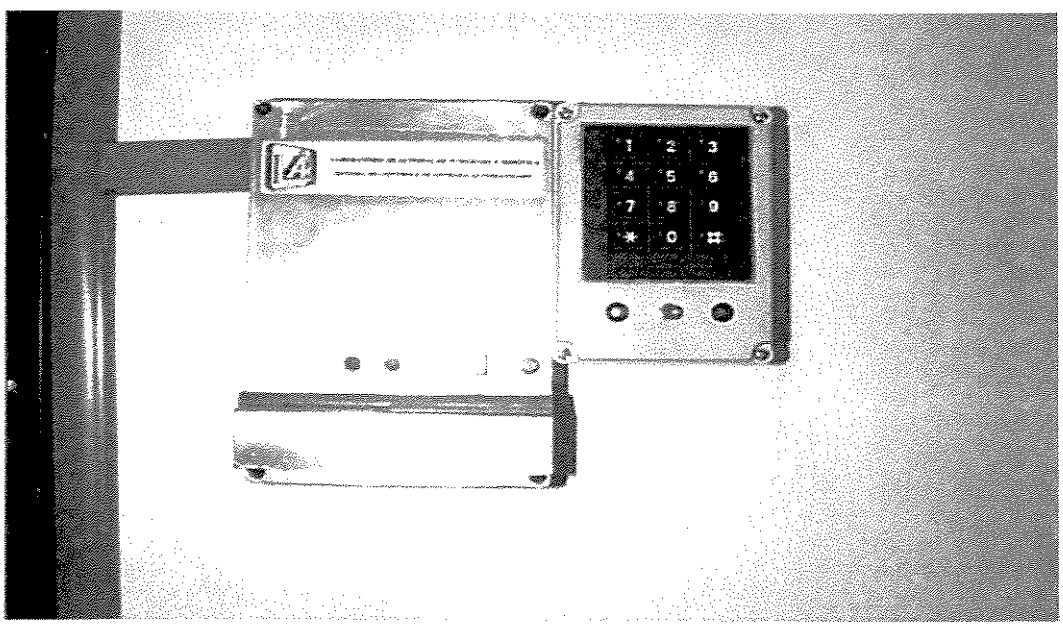


Figura 5: Dispositivo Mecânico de Entrada nas dependências do LAR - FEM (Leitor de Código de Barras + Teclado)

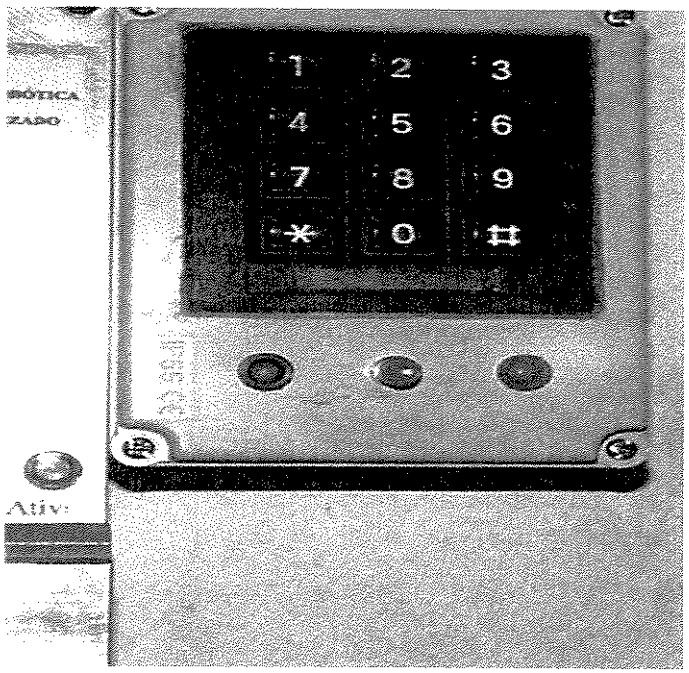


Figura 6: Teclado Digital (Sistema de Codificação) para Acesso as dependências do LAR.

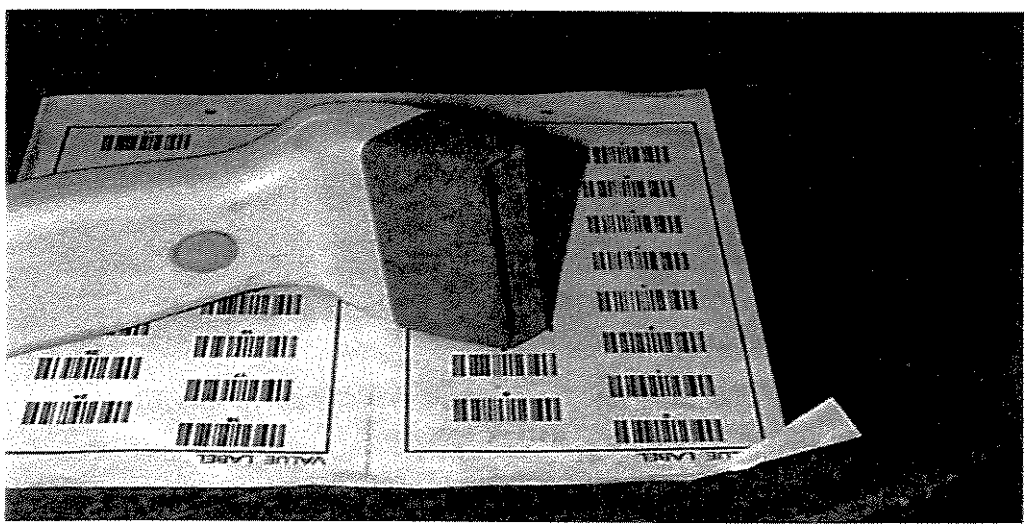
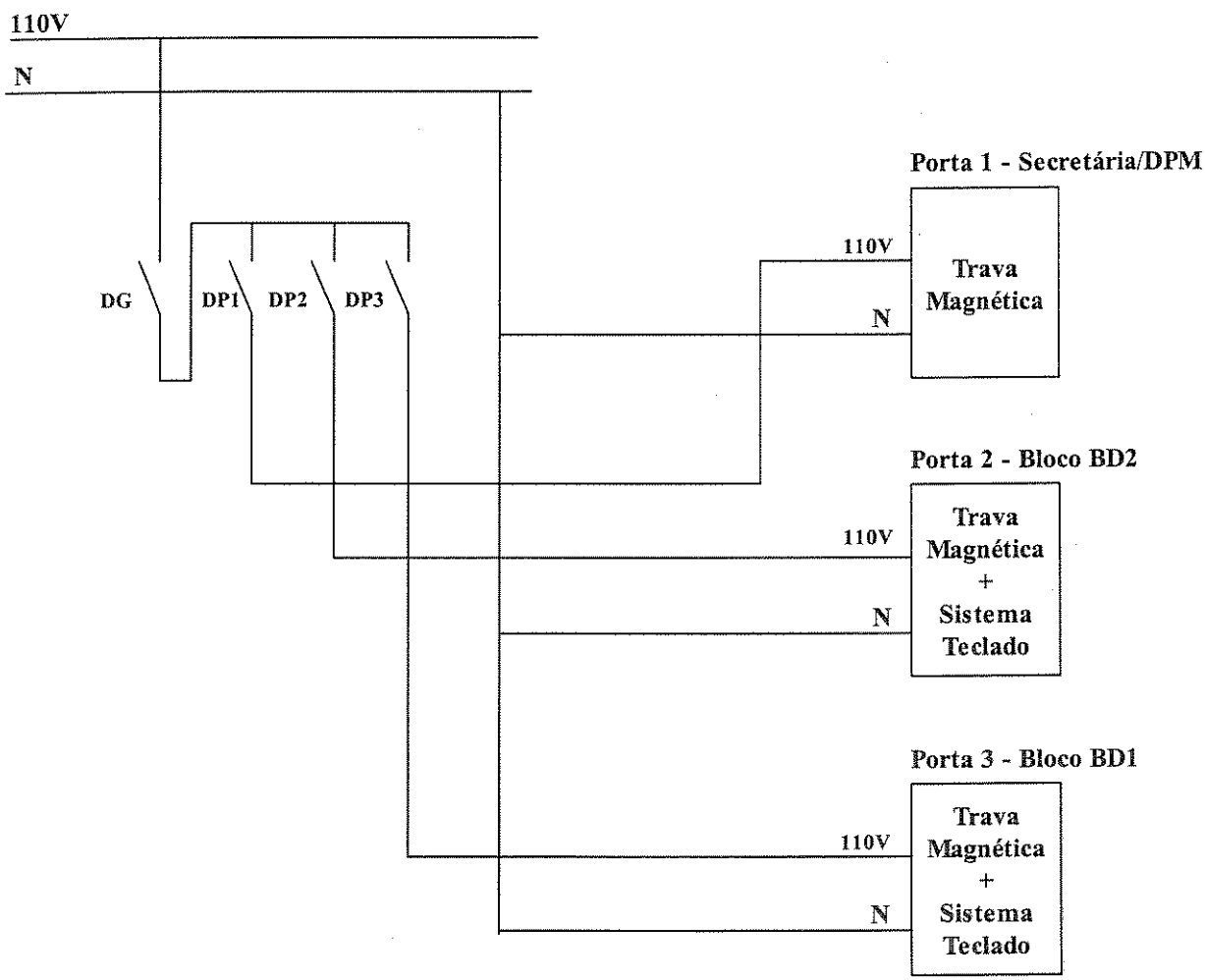


Figura 6: Leitor de Código de Barras utilizado para Identificação de Pessoas para Acesso as dependências do LAR-FEM.

ANEXO VII

Sistema Automatizado de Acessos
Informações Complementares

Esquema Elétrico do Sistema de Entrada Automatizado



DG: Disjuntor Geral
DP1: Disjuntor da Porta 1
DP2: Disjuntor da Porta 2
DP3: Disjuntor da Porta 3

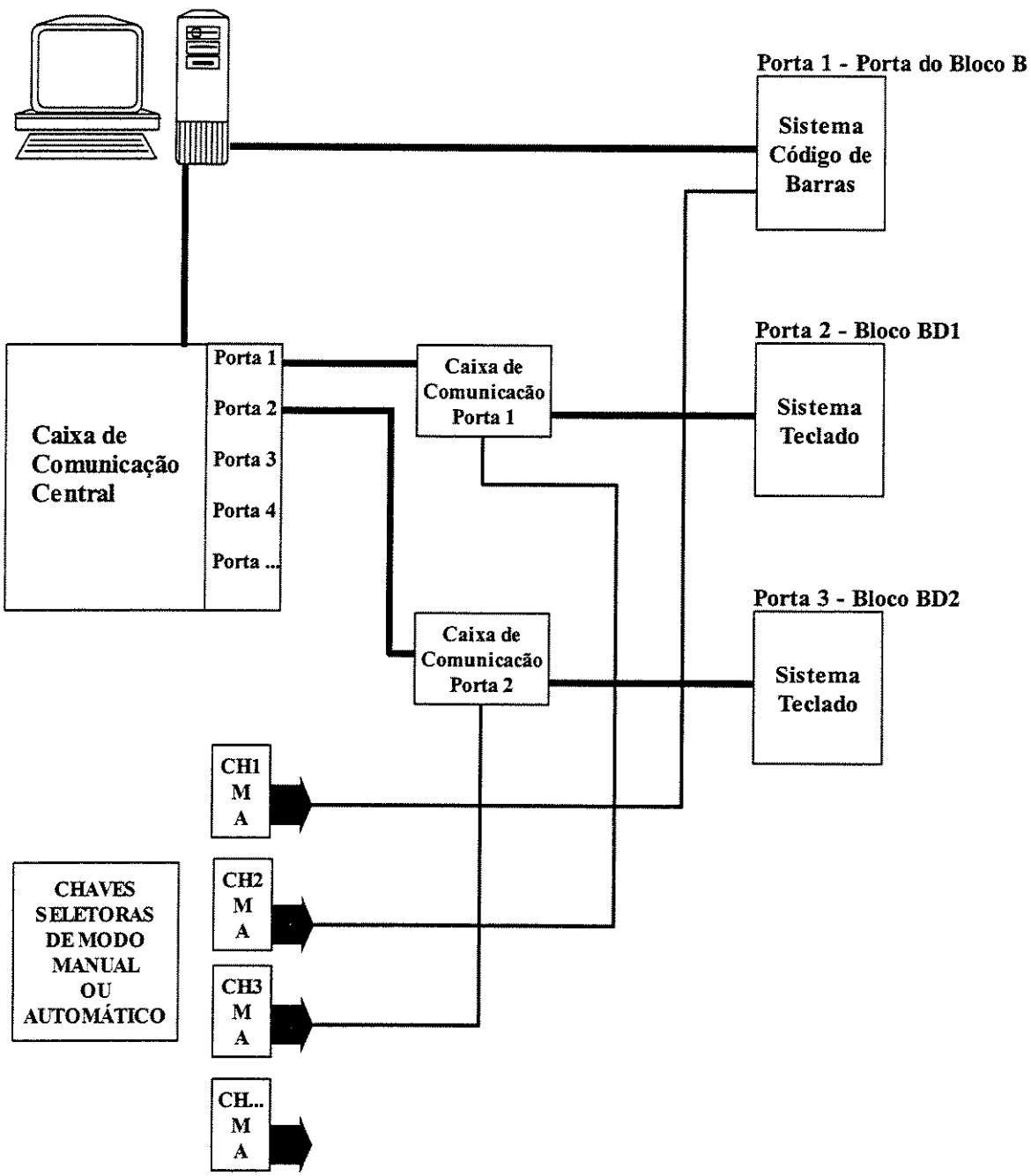
Arquivo de Armazenamento de Dados

Esses arquivos exemplificam o armazenamento histórico de dados: a data de início do programa, o modo de funcionamento, o usuário, data e hora da abertura da porta e identifica também qual a porta solicitada.

```
Arquivo: 04_20h31.DOC
Abertura:       04-10-2000   20h31m34s


MODO CODIGO DE BARRAS (entrada)
Nome: rodmar                 ACESSO:  0    entrada
Data: 04-10-2000             Horario: 20h35m05s

MODO CODIGO DE BARRAS (entrada)
Nome: rodmar                 ACESSO:  0    entrada
Data: 04-10-2000             Horario: 20h35m14s

MODO CODIGO DE BARRAS (entrada)
Nome: rodmar                 ACESSO:  0    entrada
Data: 04-10-2000             Horario: 20h35m23s

Armazenamento: 04-10-2000   20h36m34s
```

```
Arquivo: 06_19h52.DOC
Abertura:       06-10-2000   19h52m41s

DARLEY        entrada sala micro          19h53m31s
DARLEY        entrada sala micro          19h53m36s
DARLEY        entrada sala micro          19h53m37s
DARLEY        entrada sala micro          19h53m40s
DARLEY        entrada sala micro          19h53m43s
DARLEY        entrada sala micro          19h53m49s

MODO CODIGO DE BARRAS (entrada)
Nome: jmaurici               ACESSO:  7    entrada
Data: 06-10-2000             Horario: 19h54m07s
DARLEY        entrada sala micro          19h56m26s
DARLEY        entrada sala micro          19h56m28s
DARLEY        entrada sala micro          11h01m10s

MODO CODIGO DE BARRAS (entrada)
Nome: jmaurici               ACESSO:  7    entrada
Data: 08-10-2000             Horario: 11h38m55s

Armazenamento: 08-10-2000   11h41m06s
```

Esquema de Comunicação do Sistema de Entrada Automatizado



Endereçamento da Porta Paralela

```
' PORTA PARALELA
' &H378: 8 SAIDAS S7,S6..S0 (9 8 7 6 5 4 3 2)
' &H37A: 4 SAIDAS (dados de controle para a impressora) (0 0 0 0 17 16 14
' &H379: 5 ENTRADAS E7,E6,..E3 (11 10 12 13 15 0 0 0)

'
*************************************************************************
' CONTROLE DA PORTA SEM PC (modulo com 5 entradas e 5 saidas)
' RELACAO DE ENTRADAS
' E3: bot_ent - botao de entrada (15)
' E4: bot_sai - botao de saida (13)
' E5: bot_emerg - botao de emergencia (12)
' E6: sensor - sensor magnetico porta (10)
' E7: chave de mudanca de modo (11)
' RELACAO DE SAIDAS
' S0: LED_VERDE (2)
' S1: LED_VERM (3)
' S2: TRAVA_MAG (4)
' S3: CAMPAINHA (5)
' S4: LED_MODO (6)
'
*************************************************************************
```

ANEXO VIII

Descrição da Porta Serial

A transmissão de informações se dá por meio de dois fios, e as mesmas são passadas seqüencialmente em forma de uma onda de freqüência pré-determinada que se adapte à utilização. Para a recepção dos dados, devemos traduzir os bytes para a linguagem do micro "quebrando" essa onda segundo o critério de transmissão. Então, essa informação pode ser lida pelo programa computacional que nos mostra a situação geral do sistema e monitorada em vídeo. Observe a figura seguinte, que ilustra um caráter de informação:

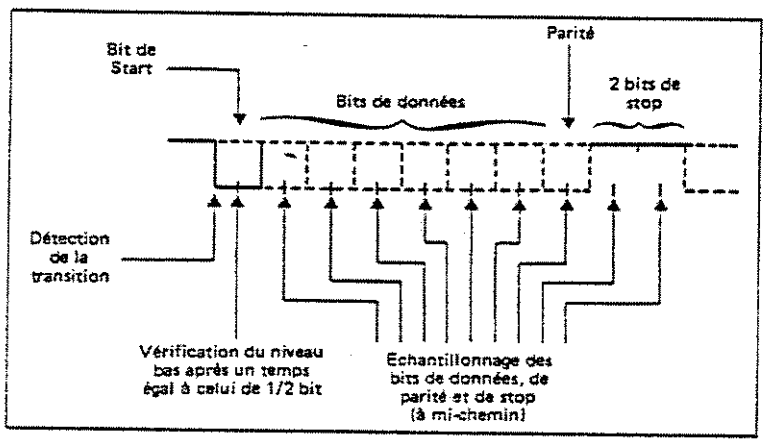


Figura 1: Formato de transmissão de caracteres.

Protocolo de comunicação normalmente utilizado para transferência de caracteres:

i) bit de começo
ii) bit de dados (começando pelo menos significativos)
iii) bit de paridade
iv) bit de stop.

Ainda devemos ressaltar que para uma transmissão correta de dados, deverão ser considerados na programação os seguintes parâmetros:

i) velocidade de transmissão (bauds)
ii) número de bits de dados
iii) paridade
iv) número de bits de stop.

Já para a emissão de dados pela porta serial do micro para o módulo de controle de acesso será implementado através de um circuito eletrônico a ser desenvolvido em lógica reprogramável AlteraTM, que decodificará as informações provenientes da interface serial RS-232 para uma linguagem de baixo nível associada ao hardware, previsto como próxima atividade de continuidade desse projeto de pesquisa no Laboratório de Automação Integrada e Robótica.

Nas figuras apresentadas a seguir, são mostradas ilustrações da interface serial RS232, disposta no barramento de um PC, descrição do conector DB25 e esquema típico de ligação.

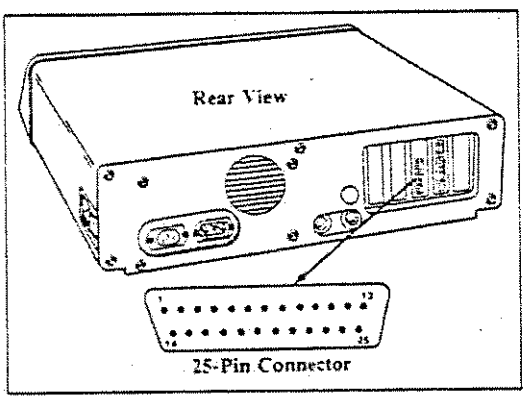


Figura 2: Ilustração da saída serial (conector DB25) de um IBM-PC

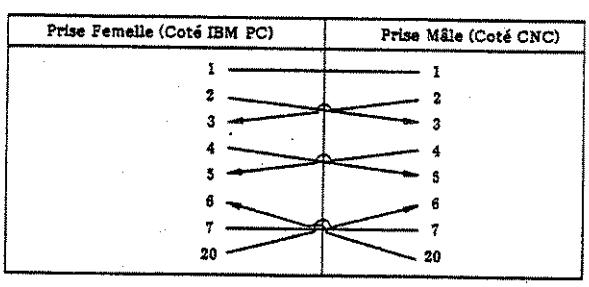


Figura 3: Esquema de ligação típico da interface RS-232 com outro equipamento, no caso um CNC (Comando Numérico)

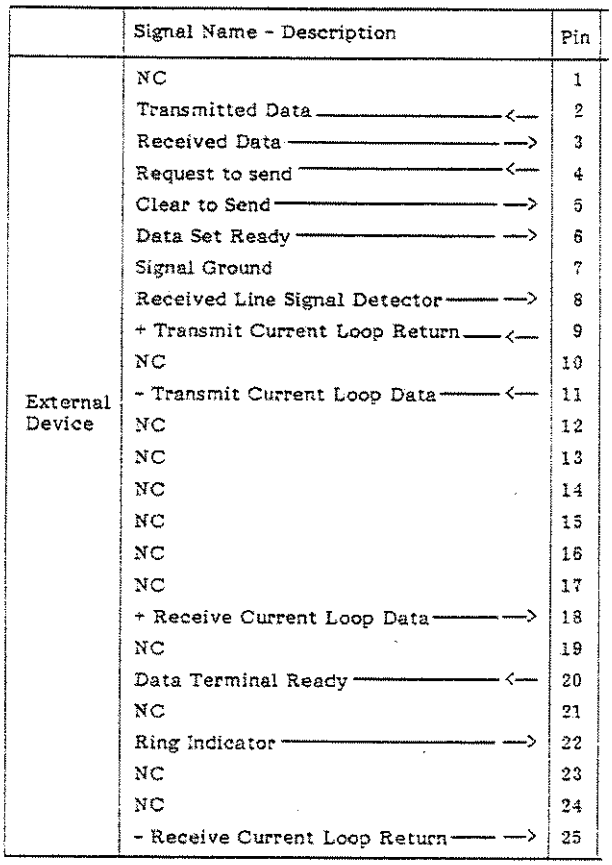


Figura 4: Configuração padrão da interface RS-232 (DOC. IBM)