

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SOFTWARE SCADA COMO PLATAFORMA PARA A  
RACIONALIZAÇÃO INTELIGENTE DE ENERGIA  
ELÉTRICA EM AUTOMAÇÃO PREDIAL**

**CLAITON CESAR DE URZÊDA**

**ORIENTADOR: Dr. Ing. ADOLFO BAUCHSPIESS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM - 281/06**

**BRASÍLIA/DF: OUTUBRO – 2006**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SOFTWARE SCADA COMO PLATAFORMA PARA A  
RACIONALIZAÇÃO INTELIGENTE DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
AUTOMAÇÃO PREDIAL**

**CLAITON CESAR DE URZÊDA**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

**APROVADA POR:**

---

**ADOLFO BAUCHSPIESS, DOUTOR, ENE/UNB  
(Orientador)**

---

**GEOVANY ARAUJO BORGES, DOUTOR, ENE/UNB  
(Examinador Interno)**

---

**CARLOS H. LLANOS QUINTERO, DOUTOR, ENM/UNB  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 31 DE OUTUBRO DE 2006**

## FICHA CATALOGRÁFICA

URZÊDA, CLAITON CESAR DE  
Software SCADA como Plataforma para Racionalização Inteligente de Energia Elétrica em Automação Predial.

xii, 81p., 297mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2006).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. ActionView

2. Automação Predial

3. Controle Fuzzy

4. SCADA

5. Racionalização de Energia

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

URZÊDA, C. C. (2006). Software SCADA como Plataforma para Racionalização Inteligente de Energia Elétrica em Automação Predial. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-281/06, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 96p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Claiton Cesar de Urzêda.

TÍTULO: Software SCADA como Plataforma para Racionalização Inteligente de Energia Elétrica em Automação Predial.

GRAU: Mestre

ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Claiton Cesar de Urzêda  
SQN 109 BLOCO I APT. 605 Asa Norte.  
70.752-090 Brasília – DF – Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço minha querida esposa, pelo apoio incondicional, amor e companheirismo dedicado nesta caminhada.

Ao prof. Adolfo pela oportunidade, pela orientação, pela paciência e reconhecimento das dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos pela eterna confiança e reconhecimento da importância de almejarmos novos desafios.

À empresa Spin Engenharia e a todos os seus colaboradores pela paciência, compreensão das faltas e pelos incômodos causados durante os experimentos.

Ao amigo e colega de trabalho Wellington pela ajuda na elaboração, instalação e depuração dos protótipos de automação distribuídos, eterna gratidão.

Ao amigo de mestrado Ronaldo dos Santos pelo apoio e amizade.

## **RESUMO**

### **SOFTWARE SCADA COMO PLATAFORMA PARA A RACIONALIZAÇÃO INTELIGENTE DE ENERGIA ELÉTRICA EM AUTOMAÇÃO PREDIAL**

**Autor: Claiton Cesar de Urzêda**

**Orientador: Adolfo Bauchspiess**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, outubro de 2006**

A proposta deste trabalho é desenvolver um sistema “inteligente”, que utilizando tecnologia de automação predial e através do monitoramento de variáveis geralmente negligenciadas pelos sistemas de controles tradicionais, em conjunto com estratégia de controle especialista, gere uma economia considerável no consumo de energia elétrica nos ambientes fechados com aparelhos de ar condicionado preocupando-se sempre com o conforto térmico.

O controle levará em consideração as diferenças de temperaturas externas dos aparelhos, inibindo o funcionamento se este estiver sobre exposição direta do sol e priorizando aquele com menor exposição solar. Por se tratarem de sistemas não lineares, complexos, a opção escolhida foi o controle conhecido como controle fuzzy.

O ambiente para validação é o da sede da empresa Spin Engenharia de Automação Ltda., composto de uma sala com aproximadamente 100m<sup>2</sup> divididos em quatro ambientes com circulação de ar comum entre elas e três aparelhos de ar condicionado de parede.

Antes de iniciarem os testes foi necessário instalar em cada aparelho de ar condicionado um kit composto por um medidor de energia e um PLC. Para permitir a comunicação entre os equipamentos e o Software ActionView foi instalada uma rede RS485 entre os PLCs e uma outra entre os medidores de energia.

Para a apresentação dos resultados obtidos foram considerados aqueles onde o comportamento da temperatura externa foi o mais semelhante possível entre os dois modelos de controle, além do comportamento da temperatura, considerou-se também a presença de pessoas durante os experimentos. Com isso procurou-se não favorecer nenhum dos modelos de controles adotados.

## **ABSTRACT**

### **SOFTWARE SCADA AS PLATFORM FOR THE INTELLIGENT RATIONALIZATION OF ELECTRIC ENERGY IN BUILD AUTOMATION**

**Author: Claiton Cesar de Urzêda**

**Supervisor: Adolfo Bauchspiess**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, outubro de 2006**

This work proposal is to develop an intelligent system, that using building automation technology, and through the monitoring of variables generally neglected by traditional control systems, together with the strategy of a specialist control, generates a considerable economy on the consumption of electric energy in closed environments with air conditioning devices always worrying about the thermal comfort.

The control will take in consideration the differences of external temperatures of the devices, inhibiting the functioning if this it will be on direct exposition of the sun and prioritizing that one with lesser solar exposition. As non-linear complex systems, the chosen choice was the control known as fuzzy control.

The chosen validation environment was the company headquarters of SPIN Engenharia de Automação Ltda., which is composed of one room with approximately 100m<sup>2</sup> divided on four environments with air circulation among them and three air conditioning devices.

Before the initiation of the tests, it was necessary to install a kit composed with one energy measure device and one PLC in each air conditioning device. To allow the communication between the equipments and the ActionView Software one RS485 network was installed among the PLCs and another one among the energy measurers.

For the presentation of the obtained results it was considered the ones where the external temperature behavior was the most similar possible between the two control models. Beyond the temperature behavior, it was also considered the presence of people during the experiments. With those considerations, it was tried not to favor none of the control models adopted.

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 – OBJETIVO DO TRABALHO.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
<b>3 - CONTROLE FUZZY .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 – SISTEMAS DE CONTROLE .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 – LÓGICA FUZZY .....</b>	<b>5</b>
<b>3.3 - CONTROLADOR FUZZY .....</b>	<b>7</b>
<b>3.3.1 – Fuzzificação .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3.2 – Base de Conhecimento .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3.3 – Procedimentos de Inferência .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3.4 – Defuzzificador .....</b>	<b>10</b>
<b>4 – SOFTWARE SCADA E IHM (INTERFACE HOMEM MAQUINA).....</b>	<b>11</b>
<b>5 - AUTOMAÇÃO E SUPERVISÃO PREDIAL .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1 - CLP .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 - FUNÇÕES DE UM SISTEMA DE SUPERVISÃO E AUTOMAÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>5.3 – INFRA-ESTRUTURA .....</b>	<b>26</b>
<b>5.4 – AQUISIÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>27</b>
<b>5.5 – INTEGRAÇÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>5.5.1 – Generalidade .....</b>	<b>30</b>
<b>5.5.2 - Gerência de Manutenção .....</b>	<b>30</b>
<b>5.5.3 – Modelos de Supervisão.....</b>	<b>33</b>
<b>6 - CONTROLE DE TEMPERATURA .....</b>	<b>34</b>
<b>6.1 – ACTIONVIEW .....</b>	<b>36</b>
<b>6.2 – PROJETO PROPOSTO .....</b>	<b>38</b>
<b>6.2 - ESTRATEGIA DE CONTROLE .....</b>	<b>41</b>
<b>6.3 - VALIDAÇÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>6.3.1 - Implantação do projeto de cabeamento do sistema .....</b>	<b>47</b>
<b>6.3.2 - DEFINIÇÃO DAS TAREFAS DE AUTOMAÇÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>6.3.3 - Programação dos CLPs .....</b>	<b>49</b>
<b>6.3.4 - Modelagem do sistema e configuração das telas de supervisão .....</b>	<b>50</b>
<b>6.4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
<b>7 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>

<b>APÊNDICES .....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE A – TIPOS DE FUNÇÕES FUZZY .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE A.1 - TRIANGULAR.....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE A.2 - TRAPEZOIDAL.....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE A.3 - LR (LEFT-RIGHT).....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE B - NOVAS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE B.1 - INTEROPERABILIDADE.....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE B.2 - ZIGBEE .....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Consumo de energia não residencial em Brasília, 2001 (MetroQuatro®). .....	1
Tabela 1.2 – Condições de conforto térmico, 1992 (ASHRAE Standard 55).....	3
Tabela 6.1 – Condições de conforto térmico, 1992 (ASHRAE Standard 55).....	42
Tabela 6.2 - Consumo sala desenvolvimento dias 14 e 16 de Setembro de 2006.....	52
Tabela 6.3 - Consumo sala diretoria dias 14 e 16 de Setembro de 2006.....	53
Tabela 6.4 - Consumo sala Reunião dias 14 e 16 de Setembro de 2006.....	55
Tabela 6.5 - Consumo total dias 14 e 16 de Setembro de 2006 .....	56
Tabela 6.6 - Consumo sala Desenvolvimento dias 23 e 24 de Setembro de 2006.....	57
Tabela 6.7 - Consumo sala Diretoria dias 23 e 24 de Setembro de 2006.....	59
Tabela 6.8 - Consumo sala Reunião dias 23 e 24 de Setembro de 2006.....	61
Tabela 6.9 - Consumo Total dias 23 e 24 de Setembro de 2006.....	62
Tabela 6.10 - Consumo total madrugada dias 23 e 24 de Setembro de 2006.....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Diagrama de Blocos das etapas do controle Fuzzy .....	7
Figura 3.2 – Diagrama de blocos das etapas de processamento fuzzy .....	8
Figura 4.1 – CPL KMC 7000 .....	15
Figura 4.2 – Interface gráfica .....	16
Figura 4.3 – Tela de Alarmes correntes.....	17
Figura 4.4 – Tela de registro de operação .....	18
Figura 5.1 - Interfaces de E/S digitais e analógicas.....	23
Figura 5.2 – Níveis de automação .....	25
Figura 5.3 – Integração de sistemas.....	29
Figura 6.1 - Barramento Mestre-Escravo comandado pelo PC .....	39
Figura 6.2 – Protótipo controlador predial distribuído.....	40
Figura 6.3 – Funções de pertinência da variável de entrada Erro.....	43
Figura 6.4 – Função de pertinência da variável de entrada Difext.....	44
Figura 6.5 – Função de pertinência da variável de entrada referência.....	44
Figura 6.6 – Funções de pertinência da variável de saída output.....	45
Figura 6.7 – Visualização das regras e funções de pertinência do controlador fuzzy.....	45
Figura 6.8 – Relação entre erro, referência e saída output.....	46
Figura 6.9 – Relação entre erro, Difext e saída output.....	47
Figura 6.10 – Disposição dos sensores e equipamentos.....	48
Figura 6.11 – Diagrama de blocos Controle de Temperatura, considerando duas salas. O diagrama completo envolve 3 malhas de controle acoplados.....	49
Figura 6.12 – Estrutura de execução dos programas .....	50
Figura 6.13 - Temperatura na Sala Desenvolvimento - Controle Fuzzy 14-09-2006 .....	52
Figura 6.14 - Temperatura na Sala Desenvolvimento - Controle Liga-Desliga 16-09-2006 .....	53
Figura 6.16 - Temperatura na Sala Diretoria – Controle Liga-Desliga 16-09-2006 .....	54
Figura 6.17 - Temperatura na Sala Reunião – Controle Fuzzy 14-09-2006 .....	55
Figura 6.18 - Temperatura na Sala Reunião – Liga-Desliga 16-09-2006 .....	55
Figura 6.19 - Temperatura na Sala Desenvolvimento – Controle Fuzzy 23-09-2006.....	58
Figura 6.20 - Temperatura na Sala Desenvolvimento – Controle Liga-Desliga 24-09-2006 .....	58
Figura 6.21 – Temperatura na Sala Diretoria – Controle Fuzzy 23-09-2006.....	60

Figura 6.22 - Temperatura na sala diretoria – Controle Liga-Desliga 24-09-2006.....	60
Figura 6.23 - Temperatura na Sala Reunião – Controle Fuzzy 23-09-2006 .....	61
Figura 6.24 - Temperatura na Sala reunião – Controle Liga-Desliga 24-09-2006.....	62
Figura 6.25 - Temperatura na sala desenvolvimento – Controle Fuzzy 24-09-2006 .....	63
Figura 6.26- Temperatura na sala desenvolvimento – Controle Liga-Desliga 25-09-2006	64
Figura 6.27 - Temperatura na sala diretoria – Controle Fuzzy 24-09-2006 .....	64
Figura 6.28 - Temperatura na sala diretoria – Controle Liga-Desliga 25-09-2006.....	65
Figura 6.29 - Temperatura na sala reunião – Controle Fuzzy 24-09-2006.....	65
Figura 6.30 - Temperatura na sala reunião – Controle Liga-Desliga 25-09-2006 .....	66
Figura A.1 – Forma de onda função Triangular .....	72
Figura A.2 – Forma de onda função Trapezoidal.....	73
Figura A.3 – Forma de onda função LR.....	74

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
BAS	- <i>Building Automation System</i>
CIM	- <i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CLP	- Controlador Lógico Programável
DCS	- <i>Distributed Control System</i>
HVAC	- <i>Heating, Ventilating and Air-Conditioning</i>
IHM	- Interface Homem-Máquina
OPC	- <i>Ole Process Control</i>
PMV	- <i>Predical Mean Vote</i>
SCADA	- <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>

# 1 – INTRODUÇÃO

Edifícios comerciais e residenciais consomem aproximadamente um terço de toda energia utilizada no mundo todo (Departamento de Energia dos Estados Unidos 2002). Sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado representam em torno 60% desse consumo nos Estados Unidos (MULL, 1997) e 50% na comunidade européia (Hughes, 1998). Em Brasília, o consumo é 62,0%, 56,0% e 48,6% para pequenas, médias e grandes instalações respectivamente (MetroQuatro®, 2001). Ver tabela 1.1.

**Tabela 1.1** – Consumo de energia não residencial em Brasília, 2001 (MetroQuatro®).

Uso Final	Consumo Médio de Energia Elétrica		
	Pequenos	Médios	Grandes
Ar condicionado	62,9%	56,0%	48,6%
Iluminação	28,8%	32,0%	18,5%
Elevadores		3,5%	10,4%
Bombas		0,3%	2,5%
CPD's	7,0%	8,0%	16,0%
Outros	1,3%	0,2%	4,0%
Total	100,0%	100,0%	100,0%

Com o aumento do poder de processamento dos computadores e como a evolução de suas capacidades de armazenamento, o controle de processos em tempo real tem sido aplicado nos ambientes industriais e científicos. Conjuntos nebulosos, redes neurais, inteligência artificial são hoje os fortes focos de pesquisas voltadas para a automação de processos industriais e prediais.

Os grandes fabricantes de equipamentos eletro-eletrônicos estão buscando cada vez mais desenvolver produtos que utilizem de maneira racional e mais eficiente a energia elétrica. Atualmente, grande parte dessa energia é obtida através do petróleo, fonte não renovável e com elevado custo de produção.

Países preocupados com essa energia nas próximas décadas têm criado formas de incentivar o uso racional da energia.

No Brasil existem várias políticas destinadas a apoiar a redução no consumo de energia elétrica. Destaca-se o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia)

cuja política é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais.

A Eletrobrás juntamente com a ANEEL estabelece dentre várias obrigações e encargos perante as empresas cedentes, a de investir anualmente 0,5 % do faturamento bruto em projetos que visem combater o desperdício de energia.

No ano de 2000, existiam no Brasil aproximadamente 11,5 milhões de aparelhos de ar-condicionado. São fabricados 900.000 novos aparelhos a cada ano. Passa de 19 milhões de aparelhos considerando-se as empresas comerciais e as públicas. Assim estamos propondo um produto fundamentado em inteligência artificial a um baixo investimento sem os grandes transtornos das reformas e das alterações arquitetônicas.

Qualquer que seja a solução proposta deverá contemplar todos os equipamentos existentes resultando em solução de integração de sistemas possíveis de controlar, programar e prever as necessidades das pessoas neste ambiente.

## **1.1 – OBJETIVO DO TRABALHO**

A quantidade de pesquisas que vêm sendo realizadas na área de automação predial tem contribuído para o surgimento de diversos sistemas de controle, integrando as mais variadas tecnologias de controle de processos. Estes novos sistemas têm difundido e popularizado o uso de equipamentos inteligentes nos mais variados setores da sociedade.

Sistemas de controles *fuzzy* têm como objetivo alcançar robustez, tratabilidade e baixo custo através de uma exploração da tolerância à imprecisão e incerteza. O que se objetiva é atender a evolução dos sistemas de automação, de supervisionar remotamente todo o processo através de uma Interface Homem-Máquina (IHM). Os sistemas IHM atuais devem oferecer a interface com o operador, controle supervisionado e aquisição de dados (SCADA), alarmes e informações para os sistemas de planejamento corporativo (MINTCHEL, 2001).

## 1.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fanger propôs em 1970 o índice PMV (*Predical Mean Vote*), que é largamente utilizado para avaliar conforto em prédios (Charles, K.E., 2003) (Yang, K.H., et. Al, 1997). O índice PMV utiliza uma escala de Sensação Térmica proposta por Fanger (-3, -2, -1, 0, 1, 2,3) é adotada pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*).

O índice PMV utiliza quatro variáveis físicas (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e umidade relativa) e duas variáveis pessoais (isolação da vestimenta e nível de atividade) para prever a sensação térmica média de um grande conjunto de pessoas. De acordo com o padrão 55 (1992) da ASHRAE as condições de conforto são (Charles, K.E., 2003) descritas na tabela 1.2:

**Tabela 1.2** – Condições de conforto térmico, 1992 (ASHRAE Standard 55)

Estação	Temperatura Ótima	Faixa aceitável de temperatura	Condições para as demais entradas PMV
Inverno	22°C	20-23°C	Umidade relativa: 50% Velocidade relativa média: < 0,15m/s Temperatura radiante média: 1,2 met Isolação da Vestimenta: 0,9 clo
Verão	24,5°C	23-26°C	Umidade relativa: 50% Velocidade relativa média: < 0,15m/s Temperatura radiante média: 1,2 met Isolação da Vestimenta: 0,5 clo

Shepherd e Batty em 2003 mostraram (Shepherd. A.B., Batty, W.J., 2003), baseados em simulações dinâmicas, que o controle *fuzzy* pode reduzir o consumo anual de energia para 81,78% do valor obtido com plantas PID HVAC tradicionais. As variações de conforto observadas: PID 1,92°C, 10,72% umidade relativa; *Fuzzy* 1,72°C, 10,23% umidade relativa.

A lógica *Fuzzy* desenvolvida a partir dos trabalhos de Zadeh é largamente utilizada na atualidade em uma grande variedade de aplicações como em eletrônica de consumo, industriais e também de automação predial, Bauchspiess, A. (2004), Becker, M., (1994), He, M. (2005), Hojati, M., Gazor, S. (2002), Kolokotsa, D. (2001), Valente de Oliveira, J. (2000).

Inicialmente os *Softwares SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)* eram basicamente telemétricos, informavam 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 aplicacional com o operador.

Um sistema de SCADA permite que um operador faça mudanças de um ponto fixo em controladores distantes, para válvulas, chaves de abrir ou fechar, monitorar alarmes, e juntar informações de instrumento de um processo local para um processo amplamente distribuído, como campos de óleo ou gás, sistemas de oleoduto, sistemas de distribuição de energia, ou sistemas geradores hidroelétricos Boyer (1999). Neste contexto, o sistema SCADA, refere-se à resposta do sistema de controle a mudanças no processo e os faz de maneira semelhante em tempo real o controle do sistema em um ambiente virtual.

Mais recentemente BAS (*Building Automation System*) tenta limitar as interfaces e prover uma rede integrada. Redes de controles digitais prevêm uma arquitetura que pode ser distribuída completamente com controladores independentes para os sistemas e subsistemas em um edifício. Idealmente, todos os vários componentes falarão um ao outro em um protocolo de comunicação comum.

## **3 - CONTROLE FUZZY**

### **3.1 – SISTEMAS DE CONTROLE**

Em teorias de controle clássico, para se implantar o controle de um processo, primeiramente deve-se derivar o modelo matemático que o descreve. Isso requer que se conheça de maneira detalhada todo o processo a ser controlado, o que raríssimas vezes é viável.

Técnicas como controle linear multivariável, estimação de estados a partir de medidas ruidosas, controle ótimo, sistemas lineares estocásticos, foram desenvolvidas e aplicadas com sucesso em uma considerável quantidade de problemas bem postulados. No entanto todas estas técnicas não são adequadas para certos processos.

As técnicas de Inteligência Artificial ocupam cada vez mais destaque nas pesquisas de controle de processos e já estão sendo implantadas em plantas industriais com grande sucesso.

As redes neurais artificiais necessitam de amostras do processo para seu treinamento ou aprendizado sem a necessidade de regras ou teorias que descrevam o processo. Elas adaptam o modelo pouco a pouco, a cada amostra. O que é desejado é aprimorado e se suprime o indesejado.

A lógica fuzzy permite criar sistema especialista através de uma base de regras lingüísticas e o controle fuzzy é aplicável a processos que não sejam bem definidos.

### **3.2 – LÓGICA FUZZY**

A teoria dos conjuntos nebulosos foi desenvolvida a partir de 1965 por Lotfi Zadeh, para tratar do aspecto vago da informação. A partir de 1978, Lotif Zadeh desenvolveu a teoria de possibilidades, que trata a incerteza da informação, podendo ser relacionada com a teoria das probabilidades.

A teoria das possibilidades, por ser menos restritiva, pode ser considerada mais adequada para o tratamento de informações fornecidas por seres humanos que a teoria de probabilidades. Assim quando aplicada em um contexto lógico, como os sistemas baseados no conhecimento, é conhecida como lógica nebulosa, lógica difusa ou lógica *fuzzy*.

Em 1974 o Professor Mamdani, do Queen Mary College, Universidade de Londres, depois das inúmeras tentativas frustradas em controlar uma máquina a vapor com tipos distintos de controladores, incluindo o PID, somente conseguiu fazê-lo através da aplicação da técnica *Fuzzy*. Esse sucesso serviu para alavancar muitas outras aplicações, como em 1980, no controle *Fuzzy* da operação de um forno de cimento. Em seguida, várias outras aplicações, destacando-se os controladores *Fuzzy* de plantas nucleares, refinarias, tratamento de água e sistema de operação automática de trens.

Incentivados pelo desenvolvimento e pelas gigantescas possibilidades práticas de aplicações que se apresentam, os estudos sobre sistemas *fuzzy* e controle de processos avançam rapidamente, culminando com a criação da Sociedade Internacional de Sistemas *Fuzzy*. Os EUA ignoraram os sistemas *fuzzy* por serem associados ao termo inteligência artificial, um campo que periodicamente se obscurecia, resultando numa falta de credibilidade por parte da indústria.

Os japoneses, ao contrário, através de Seiji Yasunobu e Soji Miyamoto da Hitachi, apresentaram simulações que demonstraram a superioridade de sistemas de controle *Fuzzy* para a estrada de ferro de Sendai, suas idéias foram adotadas e Sistemas *Fuzzy* foram usados para controle de aceleração, frenagem e parada quando a linha foi inaugurada em 1987.

Em um conjunto *fuzzy* as transições entre a verdade e a não verdade estão numa faixa gradual, sendo associado um grau entre Zero (não verdade) e Um (verdade).

Para um controlador *fuzzy*, por exemplo, uma temperatura de 20°C pode ser “morno” como um “pouco frio” ao mesmo tempo, 50°C é associado à “muito quente” e assim por diante.

A figura 3.1 representa de maneira resumida em forma de diagrama de blocos, as etapas de processamento do controle fuzzy.

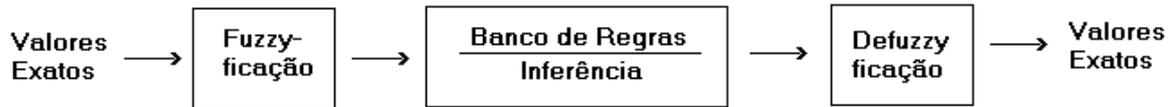


Figura 3.1 – Diagrama de Blocos das etapas do controle Fuzzy

### 3.3 - CONTROLADOR FUZZY

Um controlador *fuzzy* tem com princípio modelar um especialista, o qual é capaz de controlar bem um processo. Ao invés de lidar com uma formulação matemática do processo imita-se o especialista. Para a construção de um modelo baseado no conhecimento das ações de controle de um especialista, há a necessidade de uma estrutura matemática apropriada.

Por conter incerteza no conhecimento humano, e, às vezes, ser vago, mecanismos de raciocínio aproximado têm que ser integrados em um modelo baseado no conhecimento, Klawonn (1995). Para tal os controladores *fuzzy* usam regras para modelar explicitamente o conhecimento dos processos. As regras ligam as variáveis de entrada com as variáveis de saída, em termos de variáveis lingüísticas, Zimmermann (1996).

Um controlador *fuzzy* pode ser visto como a seqüência de decisões do projetista na forma:

Fatos → “fuzzificação” → avaliação da compatibilidade dos fatos com as regras → agregação → “defuzzificação” → Fato.

Pode se dizer que lógica *fuzzy* não suporte “afirmações” aproximadas. Derivada do conceito de conjuntos *fuzzy*, lógica *fuzzy* constitui a base para o desenvolvimento de métodos e algoritmos de modelagem e controle de processos, reduzindo a complexidade de projeto e de implementação. Assim é preciso converter números em valores lingüísticos e vice-versa.

O controle *fuzzy* se baseia em conjuntos de regras condicionais (SE  $\langle \rangle$  ENTÃO  $\langle \rangle$ ), e seu ajuste é definido por um conjunto de funções de pertinência e regras *fuzzy*. Não existe um procedimento padrão de ajuste e projeto desse tipo de controlador. Assim muitas vezes é feito por tentativa e erro. Sistemas neuro-*fuzzy*, e.g., ANFIS, utilizam redes neurais para sintonizar o conjunto de regras *fuzzy*.

Tanto as leituras de sensores quanto os sinais esperados pelos atuadores de sistemas de controle, não são nebulosos. São, portanto, necessários elementos adicionais entre o controlador nebuloso e o processo a ser controlado. Estes elementos são denominados fuzzificador e defuzzificador, e estão posicionados na entrada e saída do sistema de controle, respectivamente.

Estes elementos são responsáveis por transformar as medidas obtidas dos sensores em conjuntos nebulosos (fuzzificador), e em transformar os conjuntos nebulosos obtidos na saída do controlador em valores não nebulosos de controle para o processo (defuzzificador).

A figura 3.2 representa em forma de diagrama de blocos as etapas de funcionamento do controlador *fuzzy*:

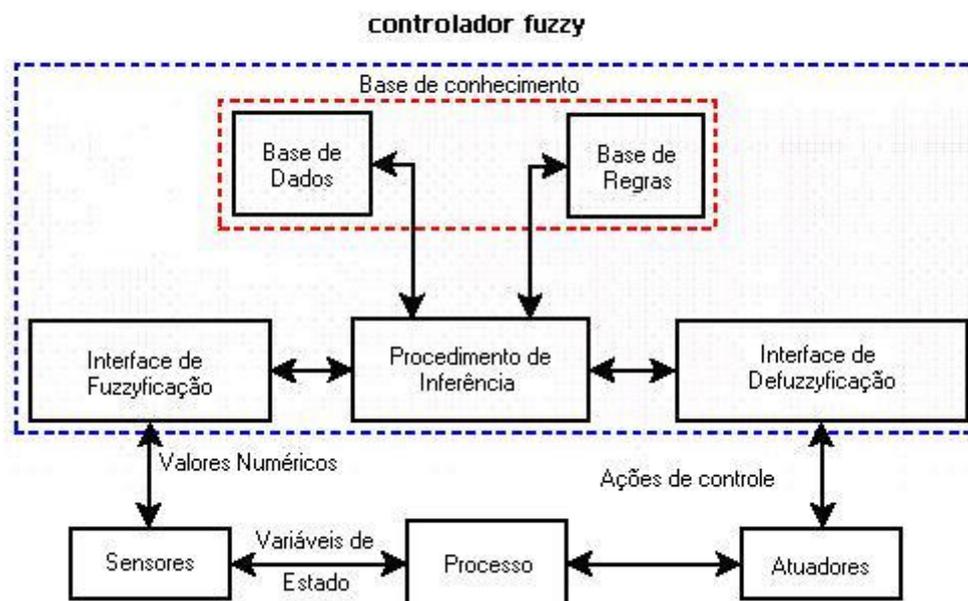


Figura 3.2 – Diagrama de blocos das etapas de processamento fuzzy

### 3.3.1 – Fuzzificação

O fuzzyficador tem a função de mapear as variáveis reais em lingüísticas, ou seja, converter variáveis do mundo físico em variáveis lingüísticas criando uma interface entre o mundo real e os conjuntos *fuzzy*.

As variáveis utilizadas em aplicações reais são geralmente variáveis contínuas, representadas por números reais. Em contrapartida, a lógica *fuzzy* utiliza variáveis lingüísticas. Para que exista uma interface entre o controle ou máquina que utiliza lógica *fuzzy* e seu exterior faz-se necessária a conversão dos valores exatos em valores lingüísticos e vice-versa.

### 3.3.2 – Base de Conhecimento

A base de conhecimento consiste de uma base de regras, de maneira a caracterizar a estratégia de controle. Na base de regras ficam armazenadas as definições sobre discretização e normalização dos universos de discurso, e as definições das funções de pertinência dos termos nebulosos. A base de regras é formada por estruturas do tipo:

**Se <premissa> Então <conclusão>**

Estas regras, juntamente com os dados de entrada, são processadas pelo procedimento de inferência, o qual infere as ações de controle de acordo com o estado do sistema, aplicando o operador de implicação, conforme o procedimento de inferência desejado. Em um dado controlador nebuloso, é importante que existam tantas regras quantas forem necessárias para mapear totalmente as combinações dos termos das variáveis, isto é, que a base seja completa, garantindo que exista sempre ao menos uma regra a ser disparada para qualquer entrada.

As premissas são relacionadas pelos conectivos lógicos, dados pelo operador de conjunção AND o operador de disjunção OR. Em geral as regras têm a forma de um sistema de múltiplas entradas e múltiplas saídas, mas que pode ser transformado em vários sistemas com múltiplas entradas e uma ou mais saídas.

### 3.3.3 – Procedimentos de Inferência

Um controlador fuzzy é um sistema especialista onde a consequência de uma regra não é aplicada como antecedente de outra. Assim, o processo de inferência consiste em:

- Verificação do grau de compatibilidade entre os fatos e as cláusulas nas premissas das regras.
- Determinação do grau de compatibilidade global da premissa de cada regra.
- Determinação do valor da conclusão, em função do grau de compatibilidade da regra com os dados e a ação de controle constante na conclusão.
- Agregação dos valores obtidos como conclusão nas várias regras, obtendo-se uma ação de controle global.

Os tipos de controladores nebulosos mais estudados são os modelos de Mamdani e o de Larsen; e os modelos de interpolação, compreendendo o modelo de Takagi-Sugeno e o Tsukamoto. Estes modelos diferem quanto à forma de representação dos termos na premissa, quanto à representação das ações de controle e quanto aos operadores utilizados para implementação do controlador.

### 3.3.4 – Defuzzificador

Nos controladores *fuzzy* a “defuzzificação” é utilizada para obter uma única ação de controle precisa, a partir do conjunto nebuloso obtido no processo de inferência. O procedimento de Defuzzificação compreende a identificação do domínio das variáveis de saída num correspondente universo de discurso e com a ação de controle nebulosa inferida, tem-se uma ação de controle não nebulosa. Os métodos de defuzzificação mais utilizados são:

- Primeiro Máximo: Encontra o valor de saída através do ponto em que o grau de pertinência da distribuição da ação de controle atinge o primeiro valor máximo.
- Média dos Máximos: Encontra o ponto médio entre os valores que têm o maior grau de pertinência inferido pelas regras.
- Centro da Área: O valor de saída é o centro de gravidade da função distribuição de possibilidade de ação de controle.

A seleção do método está relacionada diretamente com as características do processo controlado e o comportamento de controle necessário. O método do último máximo ou a média dos máximos, por exemplo, que assemelham o efeito de um controlador “bang-bang”, podem conduzir a ações de controle inadequadas ao modo de operação (por exemplo, produzindo solavancos) e, assim, causar danos de ordem prática em equipamentos como os atuadores.

#### **4 – SOFTWARE SCADA E IHM (Interface Homem Máquina)**

A IHM é uma consequência da modernização de processos e controles, evoluiu no aspecto, na funcionalidade e nos recursos. Hoje, é um microcomputador: tem memória - CPU e até um CLP incorporado. Alguns equipamentos têm apenas recursos de texto, outros têm formato gráfico e a utilização de um ou outro vai depender da necessidade do que se precisa monitorar e do custo.

O custo é um fator importante e decisivo para manter um equipamento “cego”, já que hoje pode-se colocar uma IHM em quase qualquer ponto. Existem CLPs com IHM incorporados, para pequenas aplicações; nos grandes processos, com muitas e variáveis críticas. Os dados do CLP precisam ser visualizados de outra forma, em uma outra interface, o que não exclui a possibilidade e/ou necessidade de uma ou várias IHMs no campo.

O *hardware* muda, muda o *software*, muda o custo. Algumas IHMs trazem todos os recursos de configuração em si enquanto outras precisam que sua configuração seja feita através de um computador.

O *software* IHM (interface homem-máquina - Nível 2 Figura 5.2) em geral apresenta funções diferenciadas, as quais variam segundo cada fornecedor. Entretanto, algumas funções básicas que estão diretamente ligadas ao conceito de supervisão centralizada estão presentes em praticamente todos os fornecimentos. Entre outras podemos citar:

- Visualização Gráfica: através de recursos de penetração gráfica é possível "navegar-se" através do programa até se atingir a raiz da informação que se deseja de forma detalhada. É importante comentar que esta forma de visualizar as informações servirá de base para todas as demais funções, ou seja, será sempre através desta facilidade que o operador terá acesso a toda funcionalidade do sistema.
- Informação de Alarmes: uma vez verificado pelo controlador algum distúrbio no processo sob controle, distúrbio esse que não tenha sido corrigido de forma automática, o controlador envia, através da rede de comunicação, para a estação central, a informação adequada, que será tratada pelo *software* de interface homem-máquina e apresentada, de forma a chamar a atenção do operador para que este providencie as soluções pertinentes. Normalmente, são utilizados recursos áudio visuais, tais como apresentação de ícones em cores de alerta, animação de objetos gráficos, acionamento de *beep* do computador, abertura de ordens de serviço às equipes de manutenção, envio de mensagens do tipo SMS (*Short Message Service, serviço disponível em aparelhos celulares*) para equipe de manutenção e ou supervisores e de acordo com a prioridade do alarme até para os gerentes e ou diretores além de outros procedimentos que objetivem dinamizar as ações técnicas e gerenciais sobre as instalações.
- Restrição ao acesso da operação: é fundamental para um sistema sob o qual se assentam os principais processos relativos à infra-estrutura de uma instalação predial o aspecto da segurança. Assim sendo todo sistema deve garantir a possibilidade de acesso mediante perfil de acesso.
- Verificação do *Status* do processo: a qualquer momento, mediante interesse do usuário, é possível verificar o estado corrente do funcionamento de um determinado processo visualizando-se todos os seus parâmetros de entrada e

saída e identificando-se a eficiência do controle através dos valores obtidos. Um exemplo prático desta aplicação é a observação, na central, da temperatura de um determinado ambiente e a constatação de que a mesma encontra-se dentro da faixa estabelecida, constatando-se também os valores ajustados para referência, a variação na modulação de válvulas e outros parâmetros eventualmente existentes.

A IHM deve oferecer, além das funções citadas, segurança e uma ótima *performance* na monitoração e controle das operações industriais e ou prediais. A IHM é uma conseqüência da modernização de processos e controles e a experiência mostra que o *design* é, muitas vezes, conseqüência do pedido de algum grande cliente que depois vai para a prateleira, diluindo custos. A customização de painel é possível, mas encarece o produto, por isso não é muito solicitado no Brasil.

Uma interface bem planejada ajuda no bom monitoramento, aprimora a supervisão do usuário além de permitir que ele faça mais análises e mais apuradas. A IHM possibilita que a inteligência do sistema se manifeste em tempo real e mais precisamente, levando a atenção do operador para a qualidade do produto ou do processo, em busca de melhorias.

Mesmo com os sistemas abertos, equipamentos inteligentes e intercambialidade entre marcas, o impacto nas IHMs gráficas é quase nenhum. Um *software* de configuração, mesmo que proprietário contém os *drivers* das diversas marcas de equipamentos, ou seja, um tradutor. Assim, se o caso for de simples substituição, o desenho não muda. As redes industriais/prediais, mesmo abertas e com vários formatos, permitem que algumas IHMs se conectem simplesmente trocando um cartão. Uma condição nova é o uso da *Internet* para obter informações ou operar uma planta remotamente. Nesse caso, existe um *software* para configuração ou supervisão; a idéia de IHM, então, é a de um micro para interface do processo.

Não existe sistema de automação sem IHM, mas ela vai ser utilizada em função da aplicação: alguns processos só vão utilizar supervisorio com interface nos PCs; outros irão usar IHM, e ainda existe a possibilidade de coexistência dos diferentes tipos de IHM. Uma unidade completamente automatizada, desabilitada e operada remotamente, vai usar o

supervisório com certeza; pode ter uma IHM nos equipamentos de campo para o caso de manutenção, mas também pode usar, para manutenção, um *notebook* como IHM. Hoje, ela já disponibiliza a IHM *Web Server* — que pode ter um acessório com endereço IP e disponibilizada na *Internet*. Isso requer maiores cuidados com a segurança e é um conceito ainda a ser trabalhado.

Na arquitetura que usa um PC com sistema de supervisão, tem-se que comprar o *hardware* e a licença do *software*. A configuração existe em ambos, e os dois tipos de arquitetura devem continuar coexistindo porque são aplicações diferentes. Da mesma forma como ainda existem botões de travamento, mas não painéis de botões. E quando a visualização “trava”? É preciso verificar se o problema é no equipamento ou na IHM — geralmente é problema de *software*. Algumas arquiteturas facilitam descobrir as causas dos problemas; outras dão mais trabalho. Quanto mais sofisticado o *software* mais recursos o operador terá para detectar problemas no processo.

Todas as necessidades do cliente devem ser bem interpretadas pelo engenheiro ou integrador responsável pelo projeto de automação. E para isso os integradores têm se especializado, o que facilita a vida dos fabricantes, diminuindo as dúvidas.

Vale lembrar que o lado emocional dos operadores conta pouco na mudança ou escolha das interfaces que não mudam ao sabor da moda — apenas quando se estão fazendo alterações no processo, otimizações ou ampliações. Normalmente, a cada cinco anos se repensa um bom investimento e então se procura um CLP com mais recursos, uma interface mais amigável.



Figura 4.1 – CPL KMC – KMD-7301

Os *softwares SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)* são também chamados de sistemas supervisórios. Tem por objetivo ilustrar o comportamento de um processo através de figuras e gráficos, tornando-se assim, uma interface objetiva entre um operador e o processo, figura 4.2, as figuras 4.3 e 4.4 representam respectivamente os alarmes correntes e os registros de todas as ações efetuados pelos usuários (Operadores e/ou supervisores) tais como: *login/logout*, registro de telecomandos, registros de simulações de estados das entradas, registros de alterações de parâmetros.

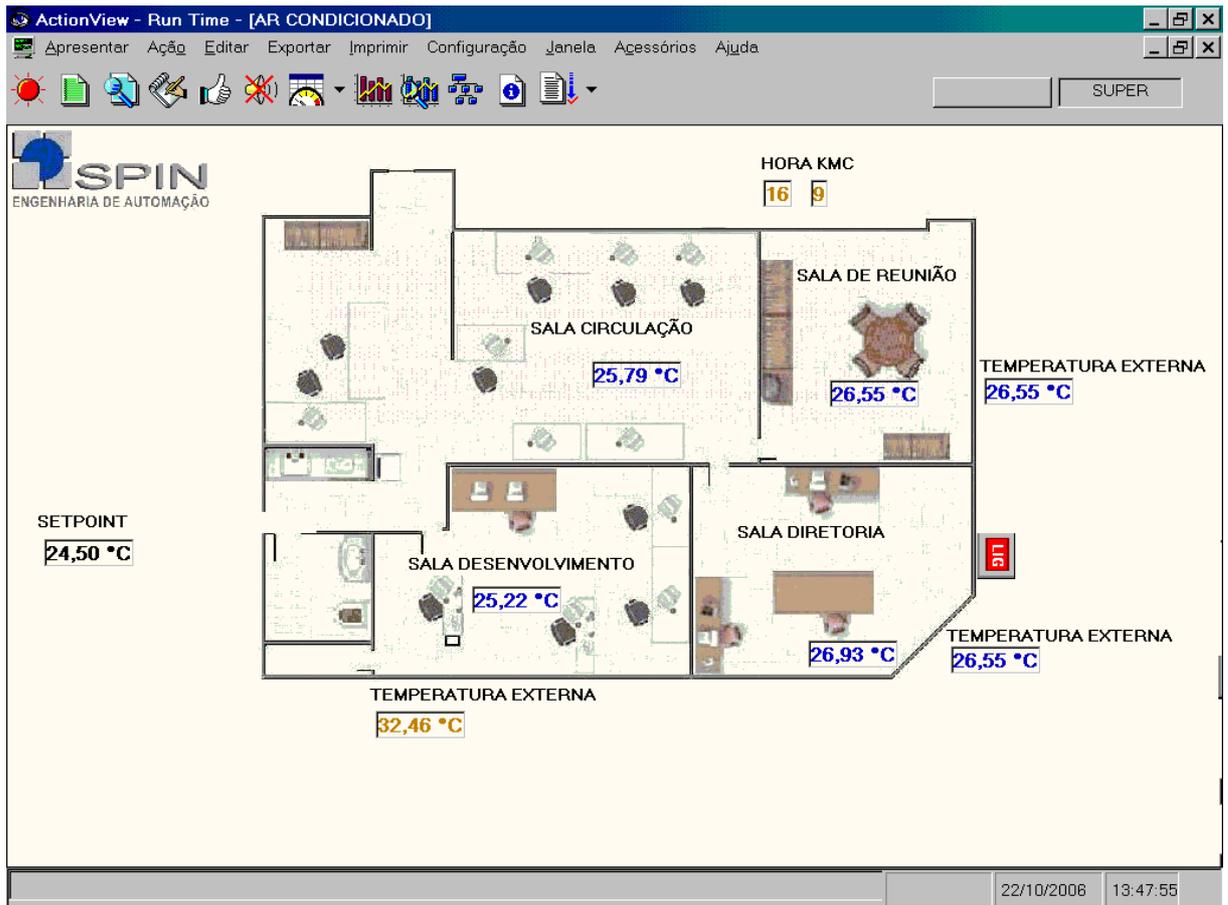


Figura 4.2 – Interface gráfica

R/Rec	Data	Hora	Sistema	Grupo	Tipo	Descrição	Grandeza	Valor	Limite
R	19/09/2006	15:09:41,000	SPN	AR_1	MAX EMERG	AR_1 TEMPERATURA EXTERNA	Temperatura	32,12	32 °C
R	19/09/2006	15:10:11,000	SPN	AR_2	MAX EMERG	AR_2 TEMPERATURA EXTERNA	Temperatura	32,09	32 °C
R	19/09/2006	15:09:50,000	SPN	AR_3	MAX EMERG	AR_3 TEMPERATURA EXTERNA	Temperatura	32,46	32 °C

Figura 4.3 – Tela de Alarmes correntes

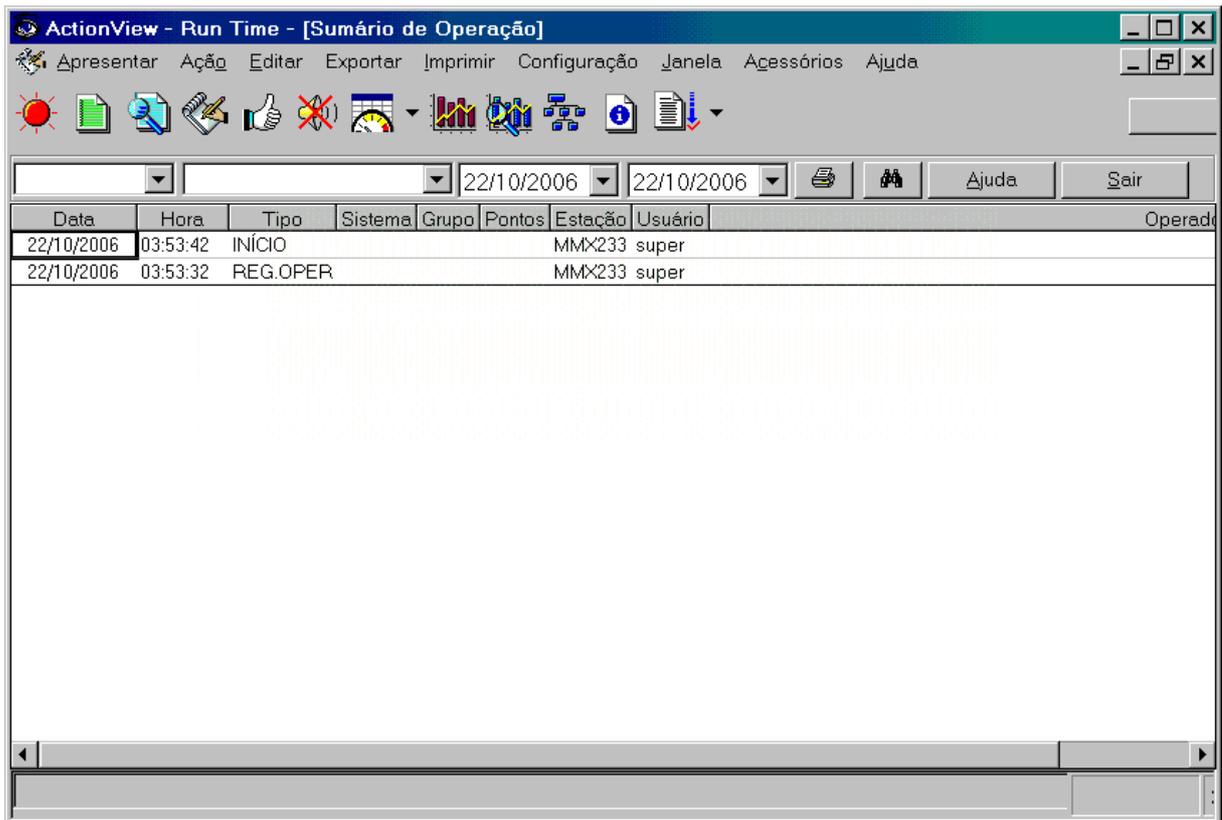


Figura 4.4 – Tela de registro de operação

Segundo OGATA (1997), o *software* supervisorio deve ser visto como o conjunto de programas gerados e configurados no *software* básico de supervisão, implementando as estratégias de controle e supervisão com telas gráficas de interface homem-máquina (IHM) que facilitam a visualização do contexto atual, a aquisição e tratamento de dados do processo e a gerência de relatórios e alarmes.

A visualização de dados consiste na apresentação das informações através de interfaces homem-máquina geralmente acompanhados por animações, de modo a simular a evolução do estado dos dispositivos controlados na instalação dos edifícios. Os sistemas SCADA permitem visualizar os dados recolhidos, além de previsões e tendências de processo com base em valores recolhidos e valores parametrizados pelo operador, bem como com gráficos e relatórios relativos a dados atuais e históricos.

Os alarmes são classificados por níveis de prioridade em função de sua gravidade, sendo reservada a maior prioridade para os alarmes relacionados com questões

de segurança. Através da informação proveniente de *login*, os sistemas SCADA identificam e localizam os operadores, de modo a filtrar e encaminhar os alarmes em função de suas áreas de competência e responsabilidade.

Os sistemas SCADA guardam em arquivos os *logs* (informação) relativa a todos os alarmes gerados, de modo a permitir que posteriormente se proceda uma análise mais detalhada das circunstâncias que estiveram na sua origem.

Para atingir níveis aceitáveis de tolerância às falhas é usual a existência de informação redundantes na rede de máquinas *backup* situadas dentro e fora das instalações.

Assim sempre que se verifique uma falha num computador o controle das operações seja transferido automaticamente para outro computador que possua todos os seus dados espelhados do computador que estava funcionando até então, para que não haja interrupção significativa.

## **5 - AUTOMAÇÃO E SUPERVISÃO PREDIAL**

A automação, após dominar o setor industrial, atravessa fronteiras e torna-se um divisor de águas na área de grandes edifícios, condomínios e instalações comerciais. Com o aumento dos custos de manutenção aliada à preservação do meio ambiente, a construção de edifícios inteligentes se torna, cada vez mais, uma necessidade de mercado.

A busca contínua do uso racional da energia, diminuindo gastos com iluminação e ar condicionado, tem mostrado que a automação predial é a melhor saída. Na teoria o assunto automação deveria ser tratado como uma entidade só, entretanto, na prática existe uma divisão muito clara do tema. Na mecatrônica, como é tratada, basicamente é dividida em três segmentos, sendo eles: 1 - Automação Industrial; 2 - Automação Predial; 3 - Automação de residencial. Tirando o segmento 3, que não é objeto de nossa abordagem, a automação de instalações de ar condicionado, instalações de refrigeração comercial e instalações de processos industriais estão relacionadas especificamente nas áreas de automação predial e industrial.

Todo bom Sistema de Supervisão Predial deve oferecer ao cliente uma racionalização de mão de obra de implantação e operação, conforto e segurança aos usuários e prolongamento da vida útil dos equipamentos instalados.

O princípio de modelagem do sistema considera que, um sistema de automação predial, só pode ser ótimo se levar em conta as características peculiares de cada unidade a ser automatizada. Os aparelhos de ar condicionado vendidos em lojas de departamento são instalados em diversos ambientes, completamente distintos.

O processo de automação e supervisão de uma planta de refrigeração e ar condicionado deve começar bem antes da compra dos equipamentos, pois na maioria das vezes os principais equipamentos de uma planta de processos são fornecidos com sistemas de automação interno, dentre eles compressores, *chillers*, variadores de frequência, etc., como é o caso do protocolo de comunicação entre os controladores. Se durante a aquisição do equipamento não for especificada a conexão futura deste dispositivo com o sistema de automação e supervisão central pode tornar-se inviável, devido aos altos custos. E desta forma, não permitindo a otimização dos procedimentos gerenciais e operacionais que o sistema de supervisão oferece. A consequência é, necessariamente, o desperdício de energia, uma vez que para cada função de custo, que combina conforto e economia de energia, há uma solução ótima.

Eventualmente muito diferente da solução de “prateleira”, a automação deve ter os seguintes objetivos:

- Simplificação das instalações;
- Aumento dos níveis de controle;
- Melhores das condições de operação;
- Qualidade do ambiente fechado é definida através da percepção de conforto físico e psicológico para as quais estão expostos. Quando as pessoas estão em ambiente desconfortável gera *stress* e, como consequência, diminuição na produtividade;
- Uso eficiente da energia elétrica consumindo o mínimo possível, de maneira a manter o ambiente confortável.

## 5.1 - CLP

O CLP (Controlador Lógico Programável) com aplicação tradicionalmente industrial, está sendo bem aceito para equacionamento de casos específicos e localizados na área predial como, por exemplo, para o controle de subestações. Inclusive alguns fabricantes ou integradores estão utilizando uma solução de DCS, adotando CLPs interconectados em rede.

A General Motors, em meados de 1969, surgiu com os primeiros controladores baseados na facilidade de programação, na alta confiabilidade, dimensão menor que painéis de Relês, para redução de custos, preço competitivo e expansão em módulos.

A partir da década de 70, com a inclusão de microprocessadores dentro dos controladores, eles passaram a se chamar de Controladores Programáveis (CLPs), dez anos à frente na década de 80, suas funções foram aperfeiçoadas e passaram a utilizar a rede de comunicação de dados.

De acordo com NATALE,(2004, p.11), o CLP “É um computador com as mesmas características conhecidas do computador pessoal, porém, é utilizado em uma aplicação dedicada”. Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), o CLP é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais.

A NEMA (*National Electrical Manufactures Association*), considera um CLP um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

Generalizando, os controladores lógicos programáveis (CLPs) são equipamentos eletrônicos de última geração, utilizados em sistemas de automação flexível. Estes permitem desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, pode-se utilizar inúmeros pontos de entrada de sinal para controlar pontos de saída de sinal (cargas).

O funcionamento de um CLP corresponde a três etapas distintas, as quais são: entradas, processamento e saídas, SILVA FILHO (2000). Com essa finalidade o CLP possui uma arquitetura bastante conhecida baseada em microcontroladores e microprocessadores.

O *hardware* de um CLP é formado por três (3) unidades distintas, as quais são: fonte de alimentação, CPU (Unidade Central de Processamento, e interfaces de entrada e saídas ou E/S), e interfaces de E/S.

Interfaces de E/S: As entradas e saídas de um CLP podem ser divididas em duas categorias: as analógicas e digitais. Na figura 5.1 são ilustrados estes dois modelos de interfaces E/S, DAHER (2003).

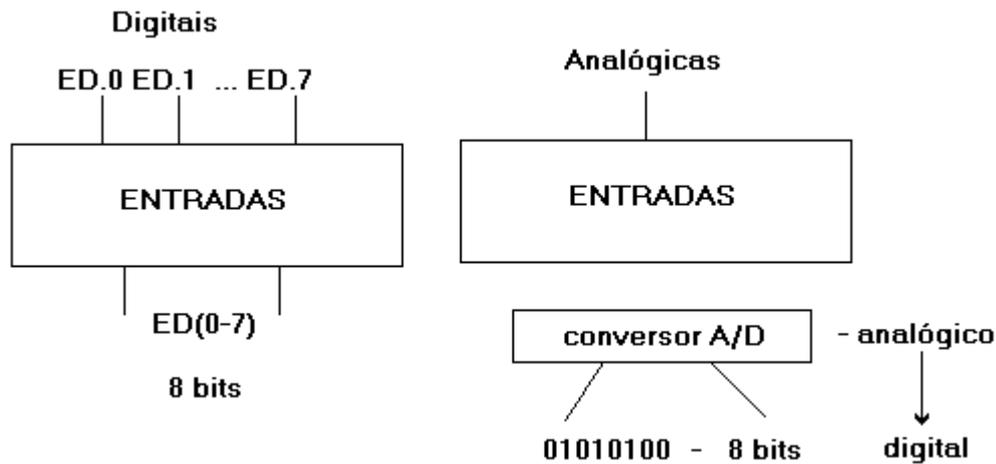


Figura 5.1 - Interfaces de E/S digitais e analógicas.

Os módulos de entrada e saídas são compostos de grupos de bits, associados em conjuntos de 8 bits (1 byte) ou conjuntos de 16 bits, de acordo com o tipo de CPU.

As entradas analógicas são referentes aos dispositivos que trabalham com grandezas analógicas, como por exemplo, temperatura, umidade relativa, pressão, entre outras. Para que a CPU trabalhe com esses valores analógicos é necessário que essas entradas sejam convertidas usando conversores A/D (analógico para digital).

## 5.2 - FUNÇÕES DE UM SISTEMA DE SUPERVISÃO E AUTOMAÇÃO

- Monitoração / controle do estado ligado / desligado dos equipamentos;
- Monitoração do estado local /remoto dos comandos;
- Monitoração do estado de desligamento de motores por sobrecarga;
- Alarmes diferenciados para os pontos digitais;
- Alarmes de limites analógicos ultrapassados;
- Funções de: programação horária com controle de demanda de energia elétrica, programa de manutenção e rolagem/revezamento de cargas ligadas de forma a permitir a otimização do funcionamento dos equipamentos;
- Supervisão de pontos digitais e analógicos;
- Monitoração das tensões elétricas de alimentação, por fase;
- Monitoração das correntes elétricas, por fase;
- Monitoração da demanda instantânea de potência elétrica;

- Monitoração da energia elétrica consumida;
- Monitoração dos variadores de frequência;
- Monitoração das falhas dos equipamentos;
- Monitoração das temperaturas do motor elétrico e mancais do compressor;
- Monitoração/controle do número de partidas dos compressores por hora;
- Monitoração de pressões de trabalho do condensador e do evaporador;
- Monitoração de pressão diferencial de óleo nos compressores;
- Monitoração do controle de capacidade de cada compressor;
- Monitoração das resistências elétricas instaladas no cárter do compressor;
- Monitoração/controle do degelo no evaporador;
- Monitoração da umidade relativa dentro da câmara frigorífica;
- Monitoração da posição das válvulas de bloqueio de água de condensação;
- Controle do "*set point*" de temperatura do equipamento;
- Monitoração da carga térmica requerida;
- Monitoração da vazão de água gelada, nas prumadas e tanques de gelo;
- Monitoração dos níveis do tanque de expansão;

Afinal, além destes, muitos outros parâmetros podem ser monitorados / controlados, cabendo ao projetista também utilizar o bom senso, de forma a não inviabilizar a implantação do sistema devido aos altos custos.

Os sistemas de automação predial, na maioria das vezes, são divididos em subsistemas em diferentes níveis figura 5.2, são eles: Campo ou nível 1 popularmente chamado de “chão de fábrica”, automação / controle ou nível 2 e Gerenciamento ou nível 3, nos sistemas de controle mais elaborados há o nível 4 e nível 5 onde há a integração total entre receitas despesas de toda a organização.

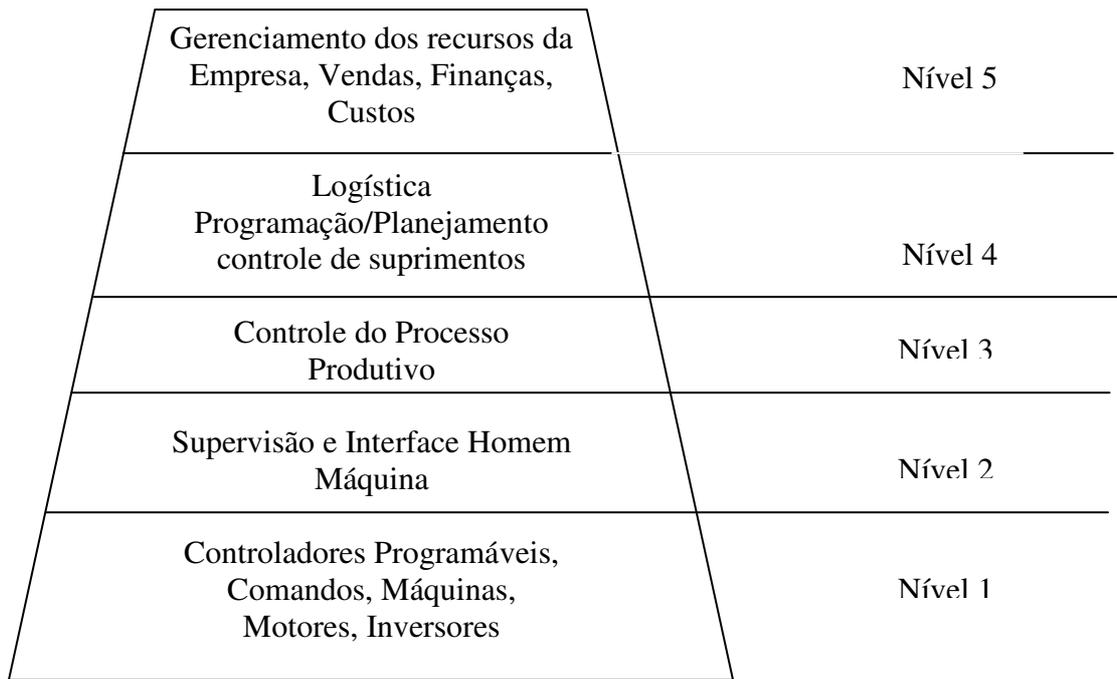


Figura 5.2 – Níveis de automação

No nível 1, os sinais dos sensores e dos equipamentos medido são na forma analógicas, pulso ou binárias. De acordo com essas leituras a atuação é direta sobre os elementos de controle.

Para serem transferidos estes valores para o nível 2 é necessária a conversão para dados binários. Esta conversão não é padronizada, existem diversas soluções para conectar os equipamentos do Nível 1 com os equipamentos / interfaces do nível 2, esta comunicação dever ser em tempo real, de modo que o nível automação / controle possa ter neste instante o correto estado da planta que está sendo controlada.

Uma rede de automação é um canal de comunicação entre sistemas de controle de um edifício. Ela transfere dados entre o nível de campo e o nível de gerenciamento. Os dados transferidos podem ser divididos em dados de estado ligado ou desligado, estatísticas para otimização e tomada de decisão.

Tipicamente, uma estação de automatização inclui *software* de aplicação para: Segurança de sistema, sistema de detecção de invasão, programas customizados, gráficos, relatórios padrões e customizados, manutenção, customização local-específico, e

integração de sistema administração de HVAC (*Heating, Ventilating and Air-Conditioning*).

### **5.3 – INFRA-ESTRUTURA**

Até o início da década de 1990, a automação predial era associada somente aos projetos de grandes edifícios e os sistemas de cabeamento destinados à transmissão de voz, dados e imagem. Utilizavam estruturas proprietárias, sendo que os projetos de automação eram executados de forma independente, não existindo, portanto, um padrão comum para ser seguido por construtores, fabricantes de equipamentos e integradores.

Atualmente, muitas das tecnologias desenvolvidas para automação predial já estão incorporadas de fato aos novos projetos e essa demanda do mercado doméstico gerou a necessidade de uma infra-estrutura de cabeamento capaz de suportar as atuais e novas aplicações das telecomunicações e de controle predial, devendo ser capazes de permitir o funcionamento adequado de todos os sistemas em operação.

O fato é que para a implantação de um projeto que atenda aos requisitos destes sistemas, é necessário um planejamento prévio e que a execução do projeto seja feita por pessoal técnico especializado. Da mesma forma, é crucial o emprego de mão-de-obra qualificada para a instalação e o teste de todos os dispositivos envolvidos. Um projeto de automação predial deve prever uma estrutura capaz de suportar todos os tipos de dispositivos de automação eletroeletrônicos (sensores, atuadores, etc), equipamentos para voz, imagens e dados. Também deve incluir igualmente todos os serviços adicionais possíveis ao nível de automação para o bem estar dos ocupantes da edificação.

Com essa finalidade, os projetos passaram a adotar uma infra-estrutura baseada em normas e técnicas de cabeamento estruturado, o que possibilitou um sistema com conectividade universal, capaz de atender ao crescimento das exigências e novos serviços de seus ocupantes, possibilitando ainda a atualização tecnológica dos dispositivos constituintes.

As diversas normas técnicas, utilizadas em conjunto, passaram a estabelecer um padrão para a instalação dos sistemas de cabeamento visando assegurar a uniformidade e interoperabilidade dos diversos dispositivos e acessórios, garantindo um desempenho mínimo para o sistema de automação como um todo. O sucesso do projeto estará diretamente associado à facilidade de interligação (troca de informações) entre todos os equipamentos e sistemas que compõe a planta a ser automatizada.

#### **5.4 – AQUISIÇÃO DE DADOS**

A padronização dos canais de comunicação entre os CLPs e outros equipamentos inteligentes de automação tem adquirido grande importância, em vista da tendência de integração total dos níveis hierárquicos de automação, verificada após a introdução da filosofia CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Para propiciar esta interatividade surgiram vários protocolos de comunicação, tais como: BITBUS, PROFIBUS, ETHERNET, etc. Muitos fabricantes oferecem redes proprietárias para esta finalidade, porém, a tendência dominante é a de se utilizar os diversos sistemas propostos para a padronização de redes para chão de fábrica.

Os protocolos de comunicação constituem uma miríade à parte, pois variam de padrões de mercado baseados em padrões internacionais a soluções totalmente proprietárias. Felizmente, estas últimas estão sendo gradativamente banidas do mercado.

O protocolo de comunicação é um elemento essencial na configuração do SCADA, devido ao volume de dados transferidos de um ponto a outro e da possibilidade de os controladores distribuídos terem informações interdependentes. As redes de comunicação podem usar o protocolo de *polling* ou de *peer-to-peer*. Sistemas mais antigos utilizavam quase que na totalidade os protocolos de *polling*, já que a inteligência do sistema e o processamento dos dados residiam no equipamento central. Atualmente, a maioria dos *softwares* do tipo SCADA, usam protocolos *peer-to-peer* em nível de gerenciamento e divide o *link* de comunicação de forma equânime entre todos os controladores.

Nos últimos anos, diversos órgãos governamentais e de normalização tentaram estabelecer um protocolo comum de comunicação que encorajasse um padrão de sistemas abertos e o desenvolvimento de produtos inter operacionais. Alguns dos protocolos mais usados são:

- Building Automation and Control Network (BACnet): é um padrão ANSI desenvolvido pela ASHRAE, também conhecido como ANSI/ASHRAE 135-1995
- European Installation Bus (EIB): é um padrão industrial originalmente desenvolvido pela Siemens e atualmente é suportado por 85 companhias conhecidas como a EIB Association (EIBA)
- Consumer Electronics Bus (CEBus): foi desenvolvido sob a égide da EIA (Electronic Industries Alliance) por um grupo de engenheiros de companhias representando redes de automação residencial, que compõe atualmente o CEBus Industry Council (CIC)
- LonTalk: é um protocolo desenvolvido pela Echelon Corporation para redes interoperáveis de controle usando a tecnologia LonWorks.

## 5.5 – INTEGRAÇÃO

Os fabricantes de sistemas para automação predial, também conhecido como BAS (*Building Automation Systems*) buscaram acompanhar a evolução tecnológica das redes de comunicação, ampliando a utilização de sistemas estruturados que favorecem a interoperabilidade entre os diversos sistemas, abandonando a prática de um sistema de cabeamento independente para cada tipo de aplicação. Essa integração de sistemas passou a ser conhecida como "domótica" e "immótica". As palavras "domótica" e "immótica" são neologismos formado pela raiz latina "domus" (casa) e pela palavra "robótica". A figura 5.3 exemplifica a integração dos sistemas de supervisão, controle e manutenção.

A domótica descreve a integração de dispositivos eletrônicos, eletrodomésticos e sistemas de comunicações em uma habitação individual, enquanto a immótica trata dos sistemas relativos aos prédios comerciais e condomínios.

A immótica se distingue-se da domótica não pela técnica empregada, mas pelo público a que se destina. Enquanto a domótica atende às necessidades da habitação individual, a immótica cuida dos recursos utilizados no edifício como um todo, objetivando a satisfação de uma estrutura empresarial.

Seja na domótica ou na immótica, o princípio básico é a integração dos sistemas onde todos os equipamentos são interligados e operados através de uma rede doméstica. A infra-estrutura necessária para a automação é criada desde o início do projeto, ou seja, prevista nos orçamentos iniciais e incorporadas durante a construção.

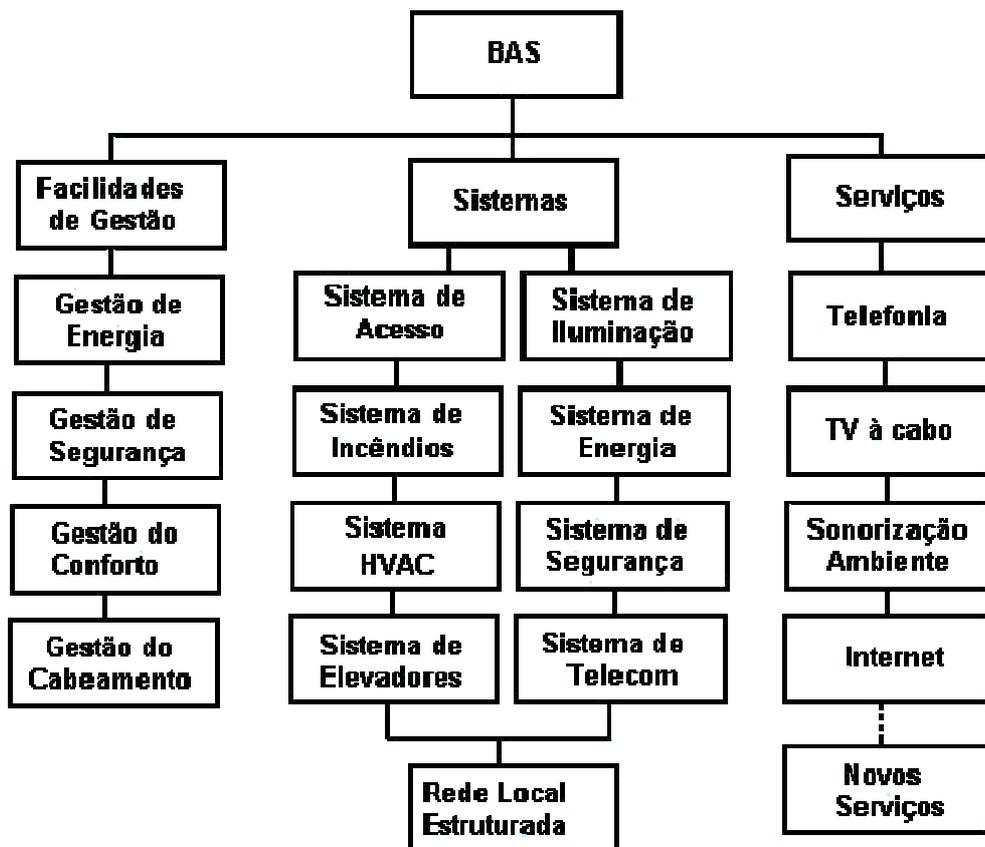


Figura 5.3 – Integração de sistemas

### **5.5.1 – Generalidade**

O sistema de supervisão pode ser dotado de um módulo de suporte à manutenção de equipamentos, sendo uma poderosa ferramenta de trabalho, para a equipe de manutenção e possibilitando, desta forma, a implantação de um programa de manutenção preventiva, tanto da forma sistemática, ou seja, de forma que o sistema contabiliza os tempos de funcionamento e os tempos de paralisação de todos os equipamentos assistidos por essa função, quanto da forma preditiva, ou seja, monitorando tendências históricas de parâmetros e comparando-os com limites de valores considerados padrões que foram pré-fixados pelo usuário, garantindo uma redução nos custos de manutenção e nas paradas para reparos.

Ao ser atingido qualquer destes limites, é emitido um alarme ao operador e o equipamento entra no cronograma de "Equipamentos Programados para Manutenção", podendo ser listadas por relatório específico.

### **5.5.2 - Gerência de Manutenção**

Facilidade de acesso, redução de custo e aumento da facilidade de uso foram algumas das vantagens adquiridas pelas empresas que já utilizavam ou que tinham interesse em implantar no chão-de-fábrica de suas indústrias estes tipos de ferramentas e aplicativos.

Considerando algumas exceções, se olharmos o mercado de *software* de supervisão e controle do ponto de vista de plataforma tecnológica, encontramos poucas diferenciações, isto porque praticamente todos adotaram a plataforma Windows.

Tecnologicamente, é comum encontrarmos muita semelhança entre os produtos que estão no mercado. Por outro lado, eles diferenciam-se no quesito funcionalidade. Os primeiros exemplos foram surgindo com o tempo: o *software* de determinada empresa fazia um tipo de gráfico, um determinado tipo de tratamento de informação ou determinada consulta, que outro de outra empresa não fazia.

Com o passar do tempo qualquer produto de tecnologia tende a chegar a um estágio onde as funcionalidades básicas se tornam muito semelhantes. O que justifica dizer que, atualmente, é muito difícil encontrar um *software* que gera um tipo de alarme, ou faz um tipo de gráfico que um outro não faz. Todos já incorporaram em seus produtos o que o usuário precisa e colocou em seus pacotes.

Não é somente a tecnologia ou a funcionalidade que diferencia um aplicativo do outro, mas outros fatores mais importantes tais como adequação ao uso, ou seja, você pode pegar a mesma tecnologia e com ela desenvolver um produto que tenha a mesma funcionalidade, o que não significa que os dois produtos que utilizam a mesma tecnologia para fazer a mesma coisa, sejam igualmente bons.

Os aspectos de confiabilidade, *performance* e facilidade de uso fazem com que a mesma tecnologia para a mesma função seja implementada de forma completamente diferente, o que pode fazer com que uma delas se torne muito mais adequada de ser utilizada do que a outra. Hoje se tornou essencial analisar, além de tecnologias básicas e funcionalidades, a forma, capacidade e competência que cada empresa tem de aplicar essa tecnologia, para fazer com que aquelas mesmas funções sejam mais adequadas, fáceis e confiáveis de utilizar.

Outro aspecto a ser considerado é que o sistema de supervisão e controle, até pouco tempo utilizado por diversas indústrias com o objetivo muito limitado de permitir que o operador responsável pelo processo enxergasse o que estava acontecendo naquele pedacinho do processo, que era responsabilidade dele, passe a ser visto como fonte de informação básica para uma série de outras aplicações, que vão disponibilizar informação para diversos usuários que precisam tomar decisões em níveis muito mais estratégicos na empresa.

Garantir que o processo vai funcionar de uma forma segura e confiável, ou seja, garantir que a “caldeira não vai explodir”, não é o suficiente. O simples fato de que a “caldeira não explodiu” e de que o processo de produção não variou, não são suficientes para garantir que a sua empresa responda rápido às mudanças e que você consiga colocar rapidamente um produto novo no mercado.

Neste sistema, existem muitas informações sobre o que está acontecendo na fábrica e que poderiam ser mais úteis se não estivessem disponíveis só para o operador na sala de controle, mas também para o pessoal de qualidade, de engenharia, para o gerente de produção e para várias outras pessoas ligadas ao processo de automação.

O impacto é que aqueles sistemas que já possuíam um conjunto de funções mais ou menos definidos e quase *standard*, passam a ter uma outra importância: a de que essa informação tem que ser disponibilizada de outras formas, com outros padrões e outras ferramentas, para outros usuários. O importante é pegar a informação e disponibilizar para o resto da corporação. A conectividade, o atendimento a outros padrões que vão além dos de chão-de-fábrica, começam a ser fatores de diferenciação.

Quanto à interferência do usuário, dependendo do sistema de acesso e de segurança que se possui, isto pode até ser permitido o usuário pode, se for do interesse da empresa, simplesmente visualizar ou atuar sobre o sistema. Isto é uma questão que se configura em função do perfil de cada usuário. Existem vários produtos e tecnologias que permitem fazer isso, desde *web service*, que simplesmente converte a informação para páginas html, até tecnologia de *terminal service* ou *remote service*, que permite que se tenha acesso a todos os recursos de outra máquina remotamente.

Contudo, é importante lembrar que certas decisões não dependem somente da informação em tempo real, mas também de uma informação histórica do processo, analisada segundo critérios estatísticos, financeiros entre outros. Em vários critérios pode-se usar dados históricos para analisar e tirar conclusões de apoio à decisão.

Um aplicativo deste tipo é a contabilidade do número de horas de funcionamento e ainda o número de operações do tipo ligado ou desligado, permitindo-se desta forma estabelecer o momento ótimo para a intervenção de ordem preventiva, seja ela através de uma simples revisão ou até mesmo para a substituição de componentes, em função do tempo ou número de operações médio para apresentação de falhas operacionais ou fim de vida útil, respectivamente.

Na estação central, através de relatórios ou apresentação de mensagens em vídeo e impressora, é identificado o equipamento e o tipo de intervenção necessária sobre o

mesmo. É possível ainda que sejam geradas automaticamente ordens de serviço às equipes de manutenção, as quais depois de executadas permitirão o reinício da contagem do novo período de observação.

### **5.5.3 – Modelos de Supervisão**

As tecnologias existentes para controle predial são basicamente as mesmas encontradas nos sistemas direcionados às indústrias.

Aparentemente, a grande diferença entre o controle predial e o industrial é meramente comportamental. Entretanto, nota-se que a aplicação direta dos conceitos industriais no âmbito predial resulta em insucessos, e não existe uma resposta simples capaz de deixar claros os motivos. Parte é devida às especificidades dos processos em si, já que foram desenvolvidos vários algoritmos otimizados de controle bastante específicos e dedicados para o setor predial.

No âmbito predial existem três tipos básicos de sistemas de controle:

- Controle local: onde não existe integração alguma entre o processo e o restante do edifício. O caso mais conhecido é o de controle de temperatura em quartos de hotéis, onde o hóspede determina o grau de conforto interno.
- Controle regional: onde um único controlador é responsável por um conjunto de equipamentos, ainda sem nenhuma inter-relação com os demais subsistemas, como no caso de algumas centrais de água gelada.
- Controle distribuído: onde todos os subsistemas são individualmente controlados e interligados por uma rede de comunicação, onde trocam informações entre si, reportando à central do sistema o estado de cada um dos subsistemas.

No último caso, a técnica utilizada é a de sistema digital de controle distribuído DCS (*Distributed Control System*), a mais conhecida no mercado, com soluções de diversos fabricantes, utilizando as mais variadas alternativas de equipamentos, desde proprietários até de série de outros fabricantes.

Atualmente, os equipamentos estão mais inteligentes, ou seja, disponibilizam mais recursos no mesmo *hardware*, inclusive conexão direta com *Internet*. Outro ponto de desenvolvimento que merece destaque é o instrumento de medição ou controle capaz de ser conectado diretamente na rede, sem a necessidade de *hardware* intermediário.

## 6 - CONTROLE DE TEMPERATURA

A temperatura é uma medida numérica do nível de energia térmica de um corpo. Devido a essa característica, varias escalas são utilizadas para medir a temperatura; as principais são a de graus Celsius (°C) e a de graus Kelvin(K), (a referencia para medição são os pontos de congelamento e ebulição da água) TRIETLEY(1986). A medição de temperatura em salas de escritórios de uma maneira simples e econômica pode ser realizada através das seguintes tecnologias:

- RTD (Resistance Temperature Detector) - Esses sensores são baseados no principio do aumento da resistência elétrica do condutor com o aumento da temperatura. O condutor geralmente utilizado é a platina, pois esta apresenta características especiais, como precisão e estabilidade para uma grande faixa de temperatura. É quimicamente inerte e pode ser utilizada em altas temperaturas.
- Circuitos integrados – Transdutores de temperatura. São circuitos eletrônicos integrados, baseados em semicondutores, construídos de maneira adequada, que apresentam a corrente de saída proporcional à temperatura absoluta.
- Termistores – São elementos que apresentam alterações na sua resistência elétrica em função da temperatura. Segundo TRIETLEY (1986), são utilizadas duas classes de matérias para sua construção: os óxidos de metais e os silício.

Para desenvolvimento de um sistema para controle de temperatura devem-se analisar os fenômenos envolvidos. Estes sistemas lidam com variáveis diretamente relacionadas ao armazenamento e transporte de calor. A troca de calor pode ocorrer das seguintes formas: Radiação, Convecção ou por Condução.

O fenômeno condução ocorre quando as moléculas superficiais irradiam no interior do corpo, mas a energia é absorvida quase que imediatamente por moléculas

vizinhas. Uma molécula que está no interior de um corpo tem toda sua energia irradiada absorvida desta maneira e está continuamente perdendo calor para os seus vizinhos, mas também recebe calor deste pelo mesmo processo, então, se a região ao redor destas moléculas atinge a temperatura uniforme o efeito em rede é nulo. Se há diferença de temperatura qualquer que o seja, haverá transferência de calor partindo das moléculas mais quentes para as mais frias.

Radiação é a movimentação térmica de partículas elementares que as fazem emitir energia em forma de radiação eletromagnética. Quanto mais alta a temperatura maior a movimentação e mais intensa é a radiação. Moléculas em contato com a superfície de um corpo que absorve radiação, mas que está em contato com um meio transparente à radiação. As moléculas irradiam energia em todas as direções. Algumas delas deixarão o corpo e viajarão até encontrarem outro meio absorvente, onde transferirão energia aumentando a intensidade de movimentação térmica no corpo recipiente. A temperatura do emissor cairá enquanto a do receptor aumentará, dizemos neste caso que houve transferência de calor.

O fenômeno convecção se dá quando o meio de transporte de calor é líquido ou gasoso, um outro modo de transferência de calor surge a partir da possibilidade de porções de fluido se moverem de uma posição para outra. Suponhamos que exista uma diferença de temperatura entre duas regiões em uma massa de fluido. O calor flui de uma região para outra através de condução e possivelmente através de radiação. Se este fluido estiver agora sendo misturado com outro fluido mais quente, ambos serão transferidos a uma nova condição onde a temperatura será menor que a do fluido mais quente e maior que a do mais frio. Neste caso surgirão grandes gradientes de temperatura e a convecção tratará de dividir rapidamente o calor em excesso.

O controle de temperatura, aquecer ou esfriar deve ser desenvolvido com dois objetivos específicos:

- Manter temperatura ambiente confortável no ambiente quando houver presença de pessoas;
- Minimizar o consumo de energia.

## 6.1 – ACTIONVIEW

O software ActionView, Software SCADA (2005), será utilizado para monitorar o funcionamento dos CLPs o estado dos aparelhos de ar-condicionado, além de fazer a leitura dos valores de energia. O objetivo será o de projetar na tela de supervisão uma interface de fácil compreensão e que seja amigável ao usuário, facilitando a monitoração do sistema e a mudança dos parâmetros (tempo de desligamento, por exemplo) podendo o operador interagir diretamente sobre o aparelho de ar-condicionado.

ActionView será capaz de, através de lógica *fuzzy*, periodicamente de acordo com as variáveis de entrada calcular os parâmetros *fuzzy*, e, se for configurado/programado, enviar automaticamente esses novos valores dos parâmetros *fuzzy* para os PLCs.

A forma mais comum e eficiente de se obter comunicação com equipamentos são as DLL's (*Dynamic Link Libraries*). As DLLs são os chamados módulos de comunicação com processamento independente (threads), responsáveis pela comunicação com um equipamento em específico.

No ActionView não há limitações lógicas de número de equipamentos ou módulos de comunicação, sendo que uma mesma aplicação pode conter vários tipos de conexões, através de portas seriais ou redes específicas.

Elementos:

1. Interface Gráfica: A criação de interface para o usuário é feita de maneira simples e rápida. Estão disponíveis recursos como animações, *displays*, gráficos de tendência de vários tipos (linhas, área, barras, XY), botões etc. que são ligados diretamente com as variáveis de campo (*Tags*). Também podem ser utilizados desenhos de qualquer editor gráfico. O usuário pode escolher entre utilizar o *mouse* ou teclado para acessar as telas de supervisão.

2. Lógicas (Scripts): A fim de adicionar flexibilidade e poder realizar tarefas mais complexas, o usuário pode lançar mão de uma linguagem de programação interativa, que utiliza a maioria dos recursos de linguagens de alto nível como o Visual Basic.

Os Scripts são orientados a eventos, sendo que serão executados mediante a especificação de um acontecimento, como o pressionar de uma tecla, a mudança de uma variável ou ainda a cada intervalo regular de tempo, dentre outras possibilidades.

3. Históricos: Registros de dados são estruturas responsáveis pelo registro dos dados de processo, para posterior análise. Os Históricos podem ser processos contínuos ou a bateladas, guardando dados a intervalos de tempo fixos ou por eventos, definidos pelo usuário.

O ActionView, em sua configuração padrão, utiliza duas bases de dados, uma denominada base de dados paramétrica e outra base de dados histórica.

Um computador pessoal que contém a base de dados em tempo real e que comunica com o processo (CLP – KMC) via módulo de comunicação proprietário KMC desenvolvido para este projeto ou via OPC (*Ole Process Control*) realizará o monitoramento e controle do sistema, enquanto os KMCs exercem a atuação sobre as cargas (ar condicionado, numa fase inicial, podendo ser estendido depois ao controle de outros tipos de cargas como iluminação, por exemplo).

O *Software* Supervisorio (ActionView SCADA), rodando num Computador Pessoal, permitirá ao usuário visualizar o funcionamento do sistema e realizar a interação com o mesmo, modificando, por exemplo, o tempo de desligamento dos aparelhos de ar condicionado. Sensores de temperatura em cada ambiente permitirão monitorar a inércia térmica permitindo realizar os ajustes necessários no tempo de desligamento dos aparelhos de ar condicionado.

Os mais modernos edifícios possuem vários sistemas integrados, aquecimento, ventilação e refrigeração do ar. Todos estes sistemas buscam atender à necessidade de conforto de seus usuários.

O aparelho de ar-condicionado pode ser desligado quando portas e janelas são esquecidas abertas, ou luzes podem ser acesas ou apagadas somente quando existe presença no local ou o usuário do mesmo passa sua chave ou crachá indicando que está fora ou dentro do prédio (fazendo com que as despesas com energia tenham uma redução significativa).

## **6.2 – PROJETO PROPOSTO**

A proposta do projeto é desenvolver um sistema destinado a controlar de maneira inteligente a temperatura de uma ou várias salas com um ou vários aparelhos de ar condicionado do tipo de janela mantendo-as de acordo com a referência sem despender um alto investimento.

O dispositivo eletrônico inteligente utilizado nesse projeto será parametrizado em poucos minutos no seu local de aplicação ou através de uma central de operação, através de um conjunto de atributos que informarão as características de uso, construtivas e arquitetônicas relativas a cada aparelho.

Os dispositivos serão interligados e, através de lógica *Fuzzy*, implementarão uma estratégia global visando conforto, economia e facilidades de manutenção.

Isso faz com que a energia seja utilizada com “mais” inteligência, e racionalidade. A redução do consumo de energia elétrica e o conseqüente aumento da produtividade, sem afetar a segurança, nem o conforto ambiental é algo a ser perseguido. Neste projeto, com a implantação de um sistema que possibilite o acionamento automático de cargas como ar condicionado, aproveitando a inércia térmica do ar, VILANNI (2000), busca-se o melhor aproveitamento das instalações e equipamentos elétricos, com a otimização dos recursos energéticos.

Estas e outras justificativas fazem do projeto uma iniciativa com grandes chances de serem bem exploradas tanto no campo acadêmico, social e econômico. Além de que, no departamento de engenharia elétrica da UNB, mais precisamente no laboratório

LAVSI já havia outros trabalhos desenvolvidos nesta área, o que favorecem as pesquisas e o projeto.

A conexão entre os CLPs pode ser do tipo barramento, onde todos os equipamentos estão ligados à mesma linha física, ou tipo anel, onde a conexão entre os equipamentos é feita um a um. No caso de anel, o mesmo pode ser fechado (o último dispositivo liga no primeiro) ou aberto. Existem ainda outras topologias, não abordadas neste documento. No projeto utilizaremos o barramento conhecido como Mestre-Escravo.

Nas redes Mestre-Escravo, a comunicação é feita com consulta do Mestre para o Escravo e resposta do Escravo para o Mestre. O Mestre percorre todo o barramento em um ciclo consultando seus escravos, ZEILMANN (2002).

A conexão entre CLPs usualmente usa os padrões de tensão RS232 e RS485. O padrão RS232 permite a comunicação com o PC, porém não é adequado na comunicação multiponto entre vários CLPs. Os padrão RS485 é o mais utilizado por possibilitar maior taxa de comunicação e alcance.

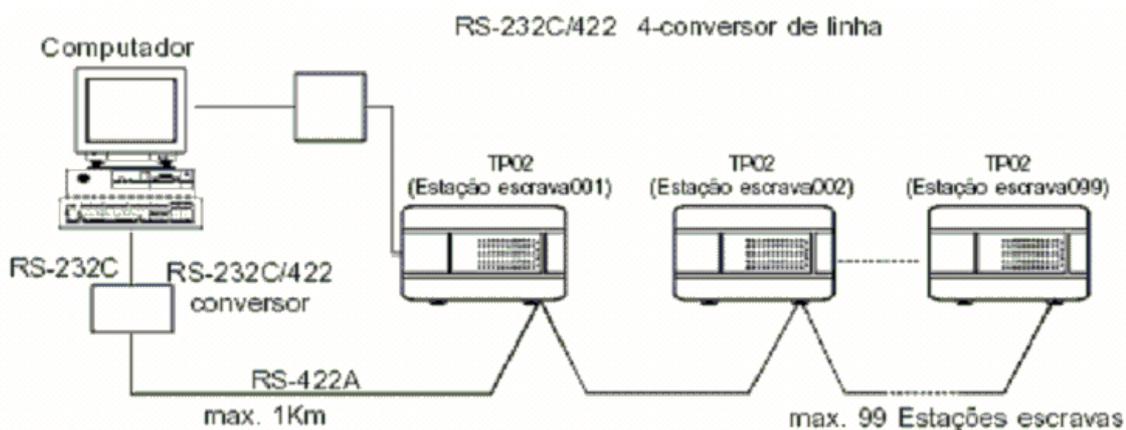


Figura 6.1 - Barramento Mestre-Escravo comandado pelo PC



Figura 6.2 – Protótipo controlador predial distribuído

Na figura 6.2 temos a representação de um dos três protótipos que foram construídos, utilizando controladores KMC, que foram interligados entre si (RS485 protocolo de comunicação do próprio fabricante, até final desse estudo deverá ser desenvolvido implementando um protocolo padrão ou mais utilizado nos equipamentos utilizados em sistemas de automação predial) controlando o ambiente do escritório laboratório, além dos medidores de energia.

Para avaliar os protótipos configurou-se uma aplicação através da ferramenta Visual Studio (Software de configuração do ActionView) para armazenar os dados históricos de cada um dos kits apresentados na figura 6.2. Cada aparelho de ar condicionado tem sua energia medida através de medidor de energia da empresa Landis&Gyr, esses medidores estão interligados através de outra rede RS485. Para aquisição de suas leituras foi implementado um protocolo baseado na norma NBR14522.

Dessa forma temos uma ferramenta que mede com precisão eficiência do uso da lógica *fuzzy* e permite avaliar as variações de temperatura e a economia em função de

alterações das estratégias de controle, alterações climáticas e presença de pessoas nos ambientes automatizados.

Com o sistema de supervisão, é possível monitorar o consumo de energia e adequar o sistema às necessidades de restrição de demanda ou consumo de energia como, por exemplo, no caso do racionamento.

O sistema ainda prevê históricos de alarmes ocorridos nas transferências de cargas ou entrada e saída dos aparelhos de ar condicionado, gráficos de tendência em tempo-real ou por histórico de grandezas de energia consumida pelo escritório.

A figura 6.10 apresenta todos os equipamentos, sensores e cabos instalados no escritório laboratório.

## **6.2 - ESTRATEGIA DE CONTROLE**

A temperatura interna de uma sala é influenciada pela temperatura externa e distúrbios internos, a radiação solar e a presença de máquinas, pessoas e salas vizinhas.

Perturbações não mensuráveis, não previstas dos usuários etc. tornam o controle predial muito difícil. Apenas o conforto dos usuários como objetivo de controle pode levar a um consumo excessivo de energia.

O Índice PMV (Predicted Mean Vote) proposto por Fanger em 1974 tornou-se padrão para avaliar o conforto em prédios. Este índice utiliza uma escala de sensação térmica proposta por Fanger (-3,-2,-1,0,1,2,3) e adotada pela ASHRAE ( American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) e pela ISO (ISO 7730).

Este índice utiliza quatro variáveis físicas (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e umidade relativa) e duas variáveis pessoais (isolação da vestimenta, e nível de atividade) para prever a sensação térmica média de um conjunto de

peças. De acordo com o padrão 55 (1992) da ASHRAE as condições de conforto são apresentadas na tabela 6.1:

**Tabela 6.1** – Condições de conforto térmico, 1992 (ASHRAE Standard 55)

Estação	Temperatura Ótima	Faixa de temperatura	Condições para as demais entradas PMV
Inverno	22°C	20-23°C	Umidade relativa: 50% Velocidade relativa média: < 0,15m/s Temperatura radiante média: 1,2 met Isolação da Vestimenta: 0,9 clo
Verão	24,5°C	23-26°C	Umidade relativa: 50% Velocidade relativa média: < 0,15m/s Temperatura radiante média: 1,2 met Isolação da Vestimenta: 0,5 clo

Seguindo estes dados como referência de conforto térmico o erro de temperatura deve ser inferior a 1,5°C.

Nos ambientes que possuem aparelhos de ar condicionado de janela usualmente só há uma única variável controlada que é a temperatura do ambiente. O controle liga-desliga, típico dos aparelhos de janela, aciona o compressor de gás refrigerante em função da temperatura ambiente, resfriando a serpentina e conseqüentemente trocando calor com o ar a ser insuflado neste. Segundo recomendação da ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica) as medidas mais comuns de economia de energia no uso de equipamentos deste tipo são:

- Não utilizar o equipamento em sua máxima potência;
- Desligar o aparelho sempre que não houver pessoas no local;
- Desligar o aparelho 30 minutos antes do final do expediente de trabalho.

A temperatura do ar captado e refrigerado pelos aparelhos de ar condicionado é função da posição do aparelho em relação ao sol. Numa situação onde a temperatura da sala é controlada por dois aparelhos instalados em paredes distintas, é razoável que em um determinado horário a temperatura externa de um dos aparelhos será maior que do outro. Logo o consumo de energia do aparelho exposto ao sol será maior que o do aparelho na sombra, pois este consumirá menos energia para resfriar um mesmo volume de ar que o

aparelho exposto diretamente ao sol. Por exemplo, medições no prédio da ANVISA constataram 5°C de diferença entre as paredes expostas e não expostas ao sol.

Partindo deste cenário, o sistema aqui proposto deverá favorecer o funcionamento do aparelho que se encontra à sombra e reduzir proporcionalmente o funcionamento do aparelho que está no sol.

Na implementação do sistema foram definidas as seguintes variáveis de entrada: Referência, Diferença de Temperatura externa às salas e Erro (Referência – Valor Medido); e com variável de saída denominada *output*. As funções de pertinência implementadas para cada variável são apresentadas nas figuras 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6. Foram tomadas como base no trabalho “Utilização de controle *fuzzy* para a racionalização de energia em processo de condicionamento de ar” (Santos, R.J. 2005), porém, fez-se necessário alguns ajustes nos limites dessas variáveis. Enquanto no experimento citado o acionamento era aquecimento, aqui estaremos efetuando o resfriamento.

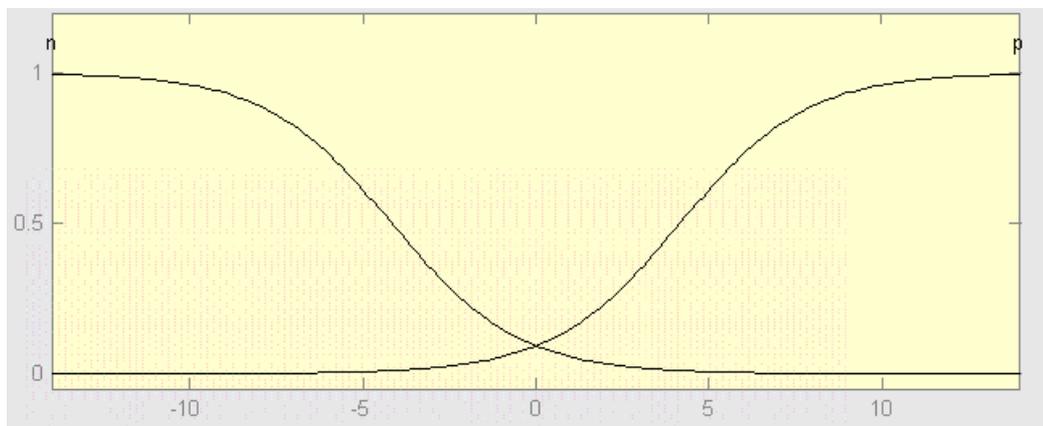


Figura 6.3 – Funções de pertinência da variável de entrada Erro.

A variável de entrada erro possui duas funções de pertinência: erro positivo curva *p* e erro negativo curva *n*. Por impor suavidade ao controle foram escolhidas funções sigmóides, visando emular o comportamento de um especialista em controle térmico, ver figura 6.3.

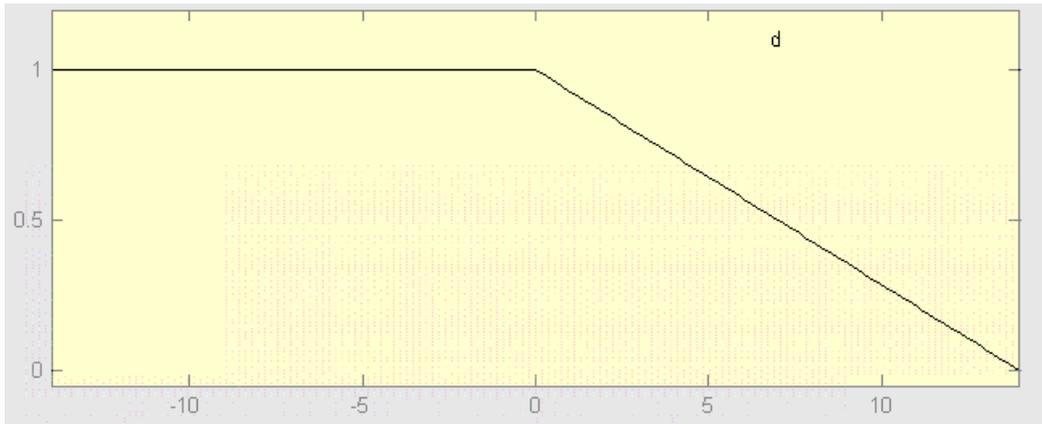


Figura 6.4 – Função de pertinência da variável de entrada Difext.

A variável de entrada Difext (diferença entre temperaturas externa da sala de desenvolvimento e a média das temperaturas externas das salas da diretoria e reunião) contém apenas uma função de pertinência trapezoidal. Sua contribuição ao controle será da seguinte forma: Se diferença de temperatura é menor ou igual a zero sua saída varia em função das variáveis erro e referência; se a diferença for maior que zero o sua saída será reduzida proporcionalmente ao aumento da variável Difext inibindo o funcionamento do aparelho.

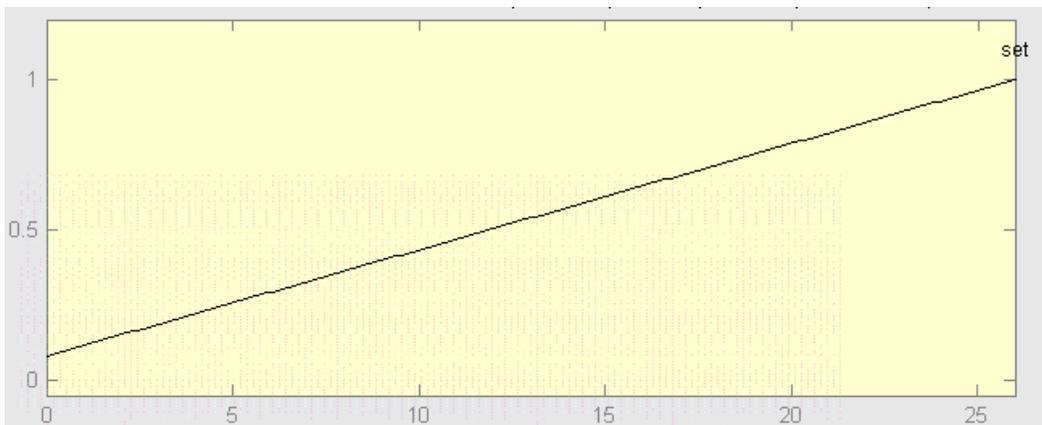


Figura 6.5 – Função de pertinência da variável de entrada referência.

A função triangular foi escolhida como função de pertinência da variável referência. A motivação de sua escolha é que sua influência na saída é variar linearmente o ganho em função da variação da referência contribuindo para a manutenção do erro em regime qualquer que seja a temperatura de referência do sistema, ver figura 6.5

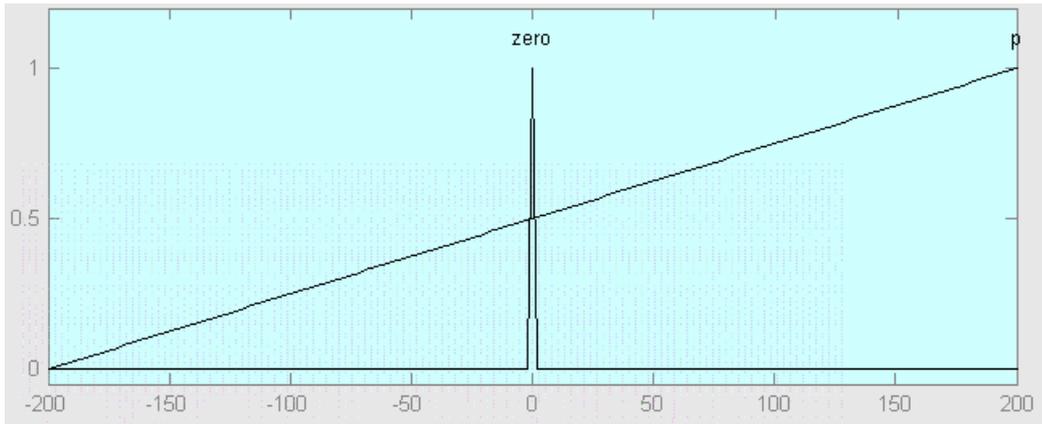


Figura 6.6 – Funções de pertinência da variável de saída output.

A variável de saída foi formada por duas funções de pertinência triangulares: positivo (p) e zero (zero).

- 1) Se (erro = p) AND (referência = set) AND (Difext = d) então (output = p)
- 2) Se (erro = n) então (output = zero)

O funcionamento das regras pode ser visualizado através da opção Rule Viewer do Matlab™ conforme figura 6.7.

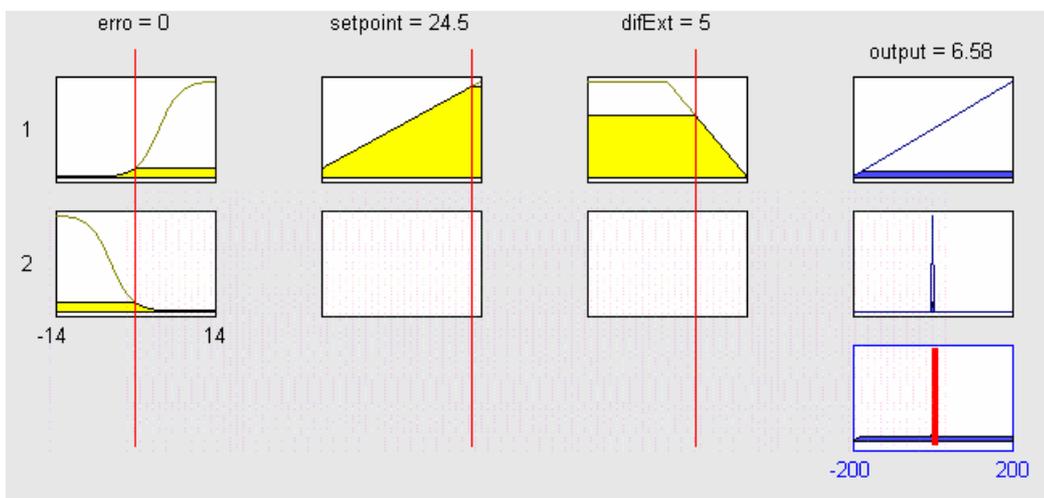


Figura 6.7 – Visualização das regras e funções de pertinência do controlador fuzzy.

Tomando como base o modelo Mandani, o mais popular para inferência *fuzzy*, Bauchspiess (2002), o controlador utilizou a variante prod-max como método de inferência. Neste modelo as regras que utilizam o conectivo “and” o grau de pertinência das variáveis envolvidas é multiplicado, para o conectivo “or” o maior grau de pertinência é o resultante. Para a implicação foi escolhido o operador Min e o operador Max foi

utilizado na agregação, sendo o centróide da área o método de defuzzificação do controlador.

A figura 6.8 revela as características do controlador inteligente implementado na relação entre as variáveis de entrada e a variável de saída denominada *output*.

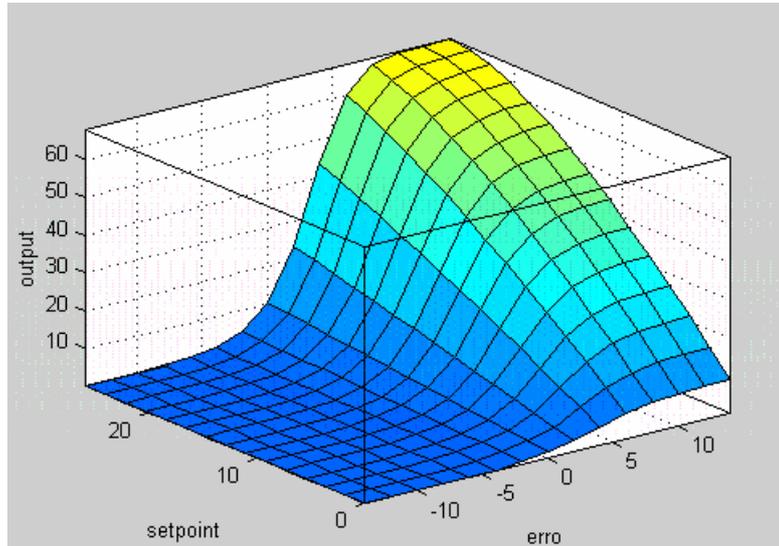


Figura 6.8 – Relação entre erro, referência e saída output.

Nesta figura 6.8 observa-se que para o erro negativo independente do valor de referência a saída é sempre zero. Isto indica que não há controle para essa faixa de erro. É possível verificar a influência do aumento da referência para o erro positivo no valor da saída do controlador.

A figura 6.9 mostra a relação entre as variáveis de entrada erro e entrada DifExt, com a variável de saída. Comprovando que a influência da diferença de temperatura externa na ação do controlador implicará na inibição do funcionamento do aparelho de ar condicionado, gerando como consequência economia de energia.

Através da figura 6.9 é possível verificar que se a diferença for positiva sua ação sobre a saída será no sentido de diminuir seu funcionamento, enquanto que se for negativa não implicará ação alguma sobre a saída do controlador inteligente.

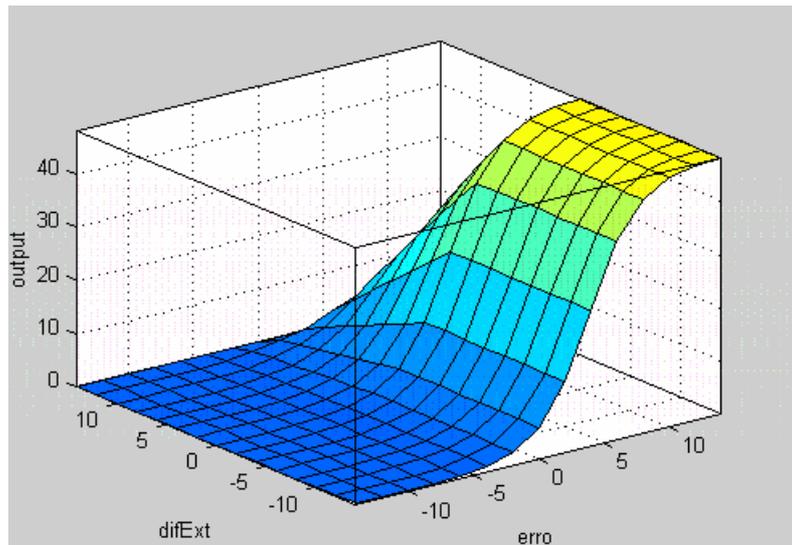


Figura 6.9 – Relação entre erro, Difext e saída output.

No trabalho, Santos (2005), a saída do controle acionava diretamente um PWM (valor da variável saída varia de 0-100). Nos experimentos realizados a variável de saída *output* aciona a saída do CLP (0 ou 1) que aciona o dispositivo de alimentação do aparelho de ar condicionado, com isso houve a necessidade de obter um valor a partir do qual deverá o acionar a saída do CLP. A determinação do valor da saída *output* que liga ou desliga a saída do CLP foi obtida de forma empírica, vários testes foram efetuados até chegar ao valor 5,19. Os testes consistiam em executar a lógica *fuzzy* e monitorar o comportamento da temperatura, tal que esta permanecesse, na média, o mais próximo do valor da referência. Uma vez alcançado este valor não foi modificado posteriormente para os testes comparativos.

## 6.3 - VALIDAÇÃO

### 6.3.1 - Implantação do projeto de cabeamento do sistema

O sistema conta com três microcontroladores lógico programáveis, do fabricante KMC, três sensores de temperatura localizados na parte externa de cada sala, três sensores de temperatura localizados na parte interna de cada sala, três sensores de presença, três medidores Landis&Gyr, um sensor de temperatura localizado na sala denominada sala de circulação e um microcomputador pessoal.

Para comunicação entre os medidores de energia com o software SCADA foi utilizado um conversor de comunicação serial RS232/RS485. A utilização do conversor foi necessária devido a utilização do padrão RS485 pela maioria dos fabricantes de CLP e medidores de energia, enquanto nos PCs é utilizado o padrão RS232 para comunicação serial.

A figura 6.10 mostra a distribuição dos equipamentos no ambiente experimental e a disposição dos sensores de temperatura e sensores de presença.

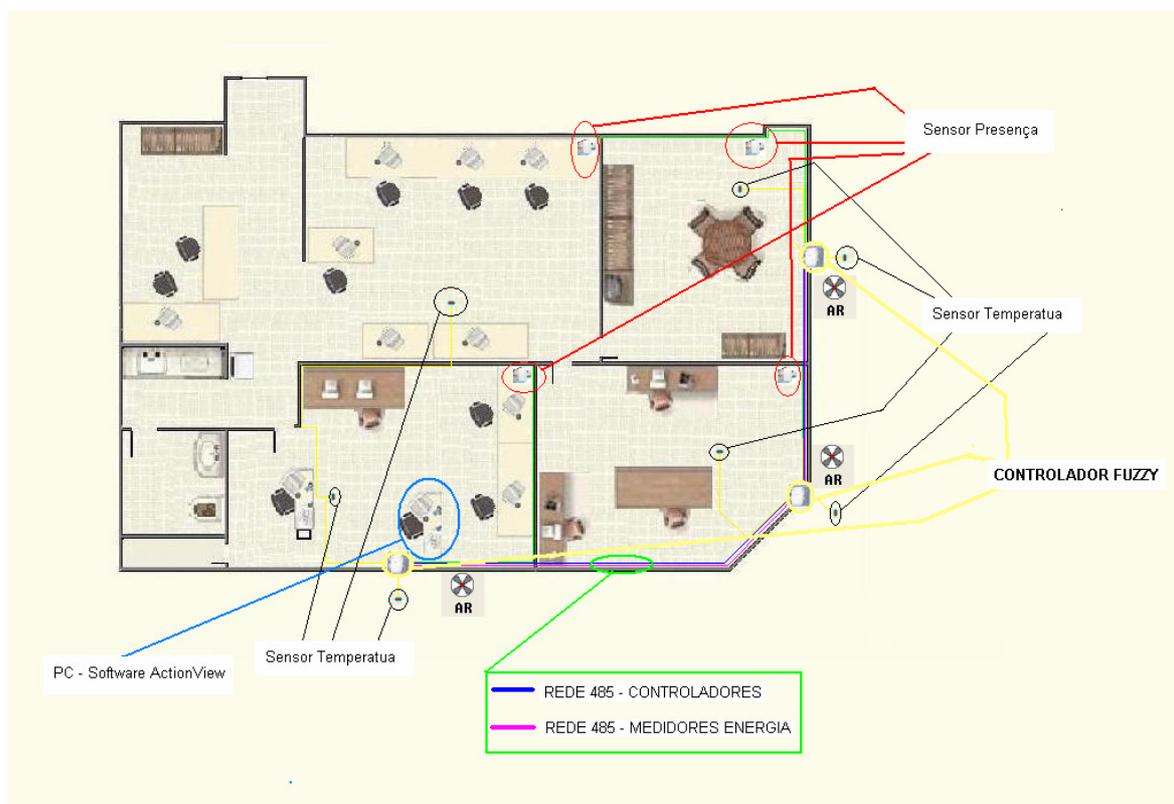


Figura 6.10 – Disposição dos sensores e equipamentos

### 6.3.2 - Definição das tarefas de automação.

Nesta etapa serão definidas as tarefas de automação que serão implementadas no escritório pelo sistema projetado. A idéia inicial é a de realizar o ligamento dos aparelhos de ar -condicionado minutos antes do expediente, realizar o desligamento minutos após o horário de almoço e repetindo na volta do intervalo. O ligamento ou desligamento poderá ser realizado de forma temporizada, o qual poderá ser definido por programação.

Outras funcionalidades poderiam ser incluídas como o desligamento de todas as cargas (iluminação, ou atuar diretamente no quadro de distribuição abrindo ou fechando alguns disjuntores, por exemplo) se não existir a presença de pessoas no recinto dentro de um horário pré-estabelecido. Sensores de temperatura permitirão monitorar as características de cada ambiente possibilitando o ajuste do valor da temporização do desligamento dos aparelhos de ar condicionado, de modo a evitar que exista desconforto térmico. A figura 6.11 representa diagrama de blocos do controle de temperatura.

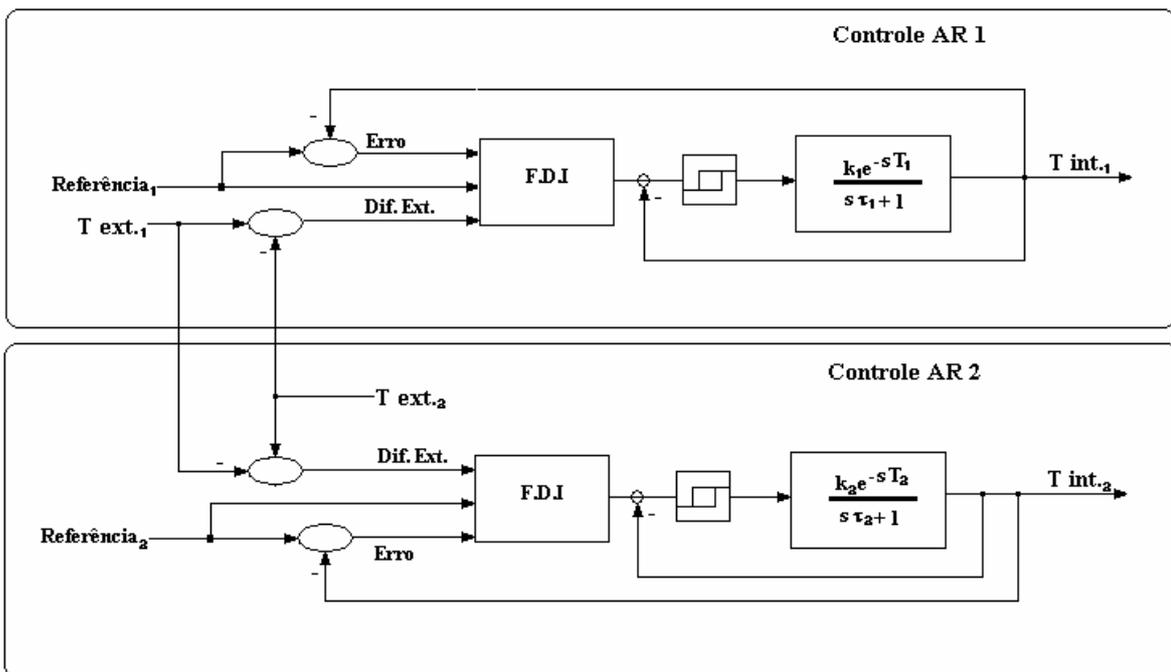


Figura 6.11 – Diagrama de blocos Controle de Temperatura, considerando duas salas. O diagrama completo envolve 3 malhas de controle acoplados

### 6.3.3 - Programação dos CLPs

Nesta etapa será descrita a programação dos CLPs. A linguagem QBASIC será utilizada para descrever a lógica dos objetivos descritos na etapa anterior. Cada bloco de programa deverá ter no máximo 1024 bytes.

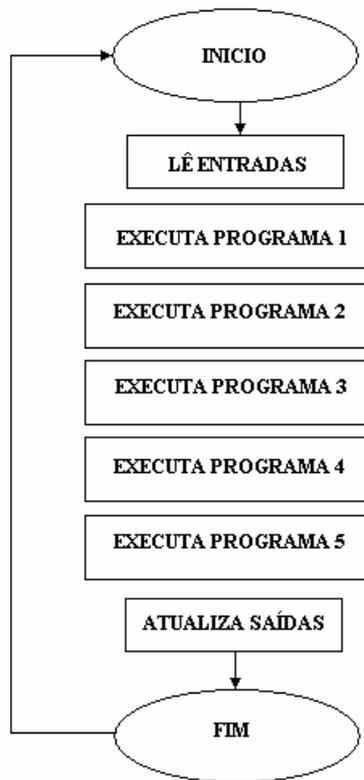


Figura 6.12 – Estrutura de execução dos programas

#### 6.3.4 - Modelagem do sistema e configuração das telas de supervisão

Será projetada uma IHM (Interface Homem Máquina) na tela do computador para o usuário. Será feita em duas fases. A primeira fase seguirá os objetivos relativos ao item 6.3.3, de modo a organizar o sistema conforme as necessidades descritas. Levando-se em consideração os recursos a serem utilizados, como por exemplo, temperatura do ambiente e horário de funcionamento dos laboratórios. Na segunda fase serão implementadas as telas do programa, criando-se um *lay-out* muito parecido com a planta do escritório.

#### 6.4 – ANALISE DOS RESULTADOS

Esta etapa consiste em verificar os resultados da implementação, em particular, se o sistema projetado atende ao principal objetivo proposto que o é usar de forma racional a energia, diminuindo de forma significativa o consumo. O fato do sistema que estará

sendo projetado ser um sistema flexível (os CLPs permitem a colocação de módulos de expansão), permitirá acrescentar outras funcionalidades em projetos futuros.

A redução do consumo de energia será obtida, em grande parte, pela diminuição do tempo de uso dos aparelhos de ar-condicionado.

Nos experimentos realizados a referência será apenas aquela da sala de circulação, o que seria o distúrbio de nosso sistema, ou seja, todos os aparelhos têm seu funcionamento em função das diferenças de temperatura externa e interna e a temperatura de referência seria a sala denominada sala de circulação.

Neste trabalho será comparado o consumo dos aparelhos de ar condicionado sem nenhuma automação, e é considerando o modo de operação usual: controlador liga-desliga com termostato fixo. Para isto adotaremos o seguinte critério:

Todos os aparelhos, para todos os experimentos serão ligados às 7:40h, desligados às 12:00h, ligados as 14:00h e desligados as 18:00h, o intervalo usado para análise das medições será entre as 8:00h e 18:00h. Assim estaremos desprezando o instante inicial em que os aparelhos atuam para alcançar a temperatura desejada uma vez que em um sistema de condicionamento de ar esta situação ocorre somente no início do expediente. A economia de energia se dará ao longo do dia em que o aparelho trabalha para manter a temperatura.

Este critério se justifica pelo fato de que para efeitos de comparação de eficiência energética todos os experimentos devem partir da mesma situação inicial evitando o favorecimento de qualquer que seja o modelo de controle adotado.

Considerando a recomendação ASHRAE Standard 55, para todos os experimentos efetuados o valor da referência foi configurado em 24,5°C.

Todos os gráficos apresentados são de dados coletados pelo *Software* ActionView e armazenados em sua base de dados denominada de base de dados histórica.

As variações de temperatura ocorrem em um intervalo de tempo razoável. Os medidores de energia estão atualizando seus contadores a cada 120 segundos. O

ActionView foi configurado para que os dados lidos sejam gravados em sua base de dados histórica a cada 5 minutos, evitando redundância de dados para as análises em questão.

Além de armazenar em histórico as medidas, são gravados também os eventos gerados pelos sensores de presença, bem como as informações de que o aparelho esta desligado ou ligado, este ultimo somente para o controle *fuzzy*.

**Tabela 6.2** - Consumo sala desenvolvimento dias 14 e 16 de Setembro de 2006

Modelo controle	Consumo total (kWh)
Liga-Desliga	35,22
<i>Fuzzy</i>	21,97

Na tabela 6.2 verificamos que a diferença de consumo de energia entre os dois métodos foi de aproximadamente 6 kWh a favor do controle *fuzzy*.

Nas figuras abaixo comprovamos a manutenção do conforto térmico para o modelo de controle *fuzzy*.



Figura 6.13 - Temperatura na Sala Desenvolvimento - Controle Fuzzy 14-09-2006

Nota-se também que não há variação brusca na temperatura interna, exceto no período compreendido entre 12:20 e 14:00hs. No período 14:00hs e 15:30 foi constatado problema no microcomputador responsável pela supervisão e controle, neste intervalo não

houve leitura de dados mas a execução do controle fuzzy nos controladores não sofreu nenhuma influência.

O controle liga-desliga para o ambiente da sala de desenvolvimento, apesar de não ultrapassar a faixa de erro para determinação do conforto térmico ( $1,5^{\circ}\text{C}$ ), a variação de temperatura é bem sensível.

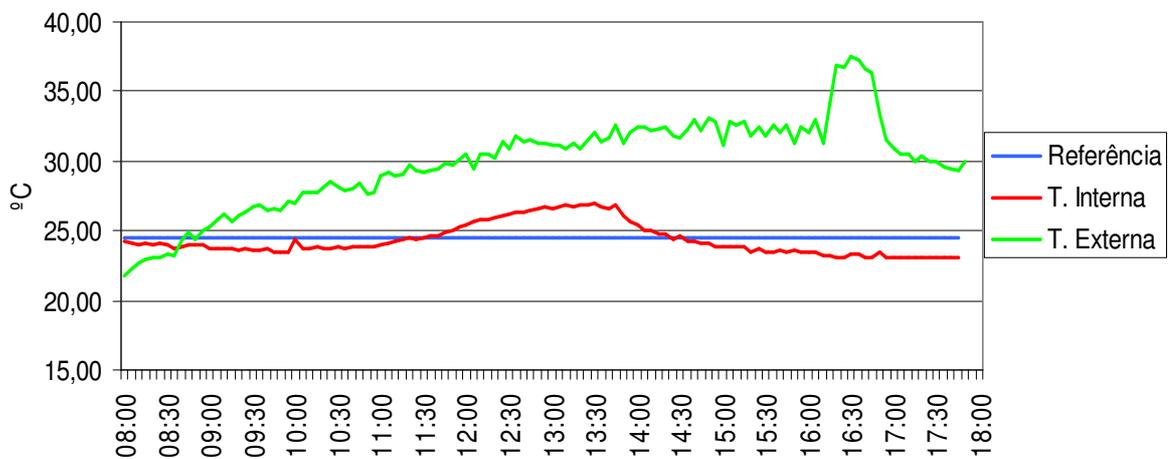


Figura 6.14 - Temperatura na Sala Desenvolvimento - Controle Liga-Desliga 16-09-2006

O ambiente da Sala da Diretoria, conforme tabela 6.3, a economia de energia foi de 25% em relação ao experimento Liga-Desliga. O conforto térmico foi alcançado e mantido. O aparelho em questão é de menor capacidade, no primeiro momento imaginou-se estar próximo ao limite da capacidade de refrigeração do aparelho.

**Tabela 6.3** - Consumo sala diretoria dias 14 e 16 de Setembro de 2006

Modelo controle	Consumo total (kWh)
Liga-Desliga	17,42
<i>Fuzzy</i>	13,50



Figura 6.15 - Temperatura na Sala Diretoria – Controle fuzzy 14-09-2006

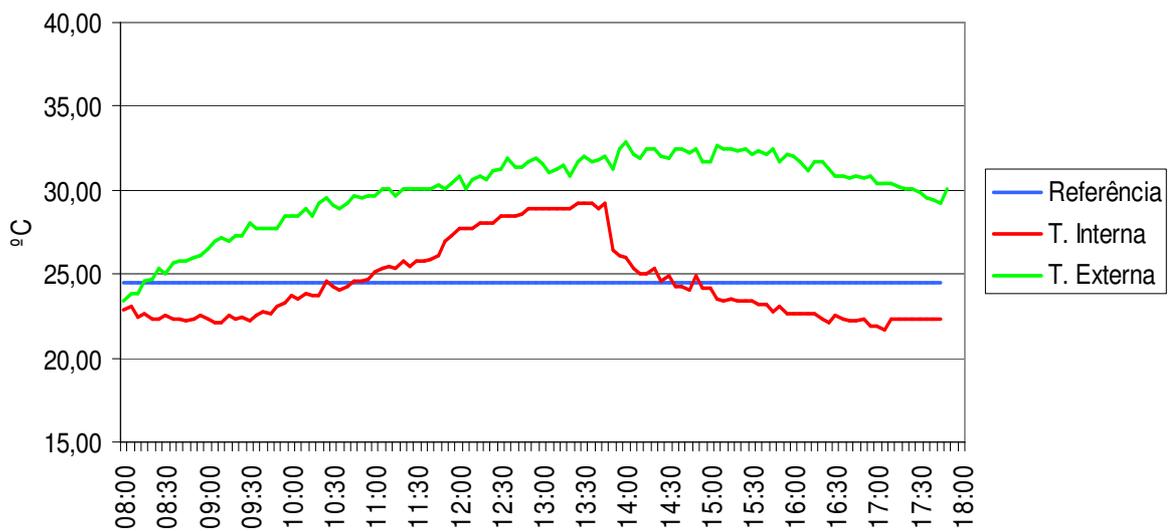


Figura 6.16 - Temperatura na Sala Diretoria – Controle Liga-Desliga 16-09-2006

O comportamento do consumo de energia elétrica na Sala de Reunião não foi de acordo com o esperado. Não houve redução significativa na demanda energia comparando com o consumo apresentado pelo controle Liga-Desliga. O conforto térmico foi mantido conforme observado nas figuras 6.15 e 6.16.

**Tabela 6.4 - Consumo sala Reunião dias 14 e 16 de Setembro de 2006**

Modelo controle	Consumo total (kWh)
Liga-Desliga	19,07
Fuzzy	18,14

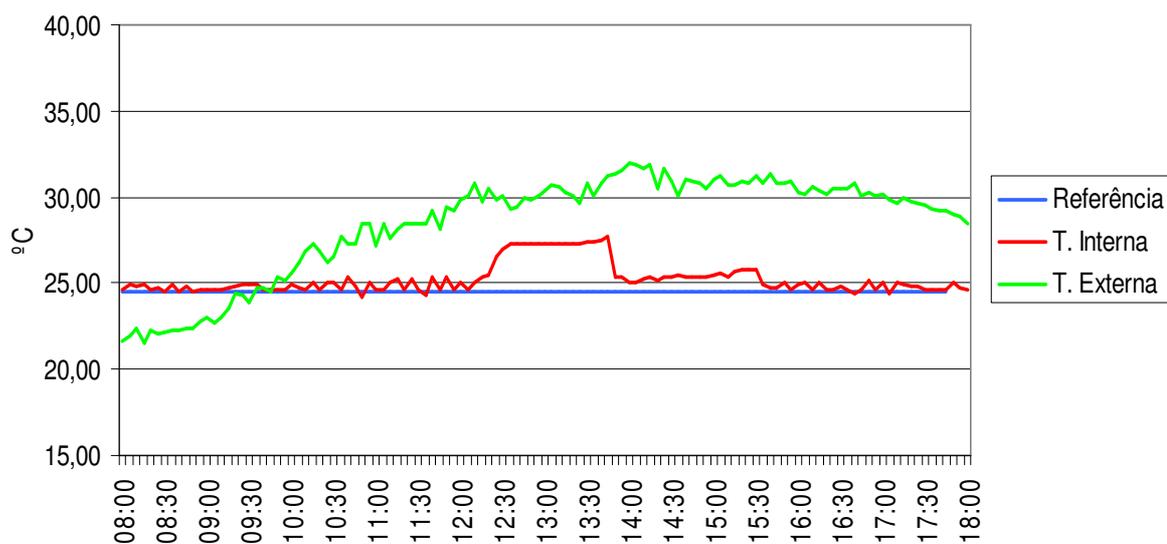


Figura 6.17 - Temperatura na Sala Reunião – Controle Fuzzy 14-09-2006

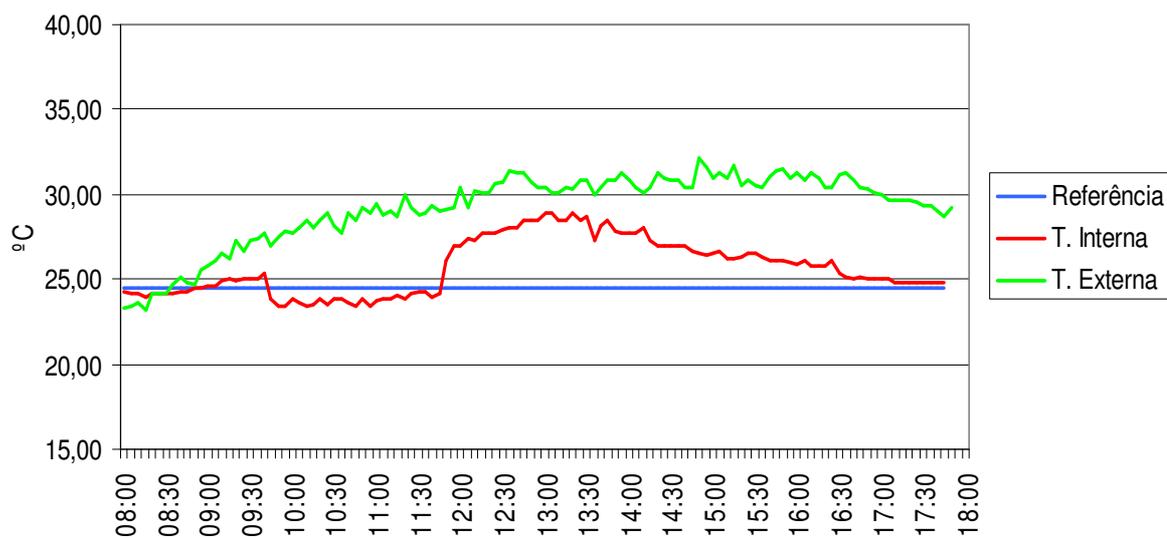


Figura 6.18 - Temperatura na Sala Reunião – Liga-Desliga 16-09-2006

Comparando os dados com aqueles da sala da diretoria, não há grandes variações, exceto ao comparar o consumo, diante destas semelhanças, foi efetuada a revisão de todos os parâmetros, não encontrando nenhuma falha grave que justificasse o resultado abaixo do esperado para um controle inteligente. As figuras 6.17 e 6.18 apresentam o comportamento das temperaturas interna e externa para os modelos de controle *Fuzzy* e Liga-Desliga respectivamente.

Passamos então a verificar todo o aparato experimental, sem sucesso. Comparando o comportamento dos eventos, através do log de eventos do ActionView, constatou que o aparelho estava com seu funcionamento semelhante ao controle Liga-Desliga, ou seja a variável de saída estava sempre ligada.

Verificando mais uma vez o aparato experimental, finalmente descobrimos que nesta sala o sensor de temperatura interna estava mal posicionado no interior da sala, estava sobre forte influência da temperatura externa. Assim que o problema foi encontrado, o sensor de temperatura interna foi reposicionado.

A seguir são mostrados tabela e gráficos com o desempenho geral do controle inteligente *Fuzzy* diante do controle Liga-Desliga.

**Tabela 6.5 - Consumo total dias 14 e 16 de Setembro de 2006**

<b>Modelo controle</b>	<b>Consumo total (kWh)</b>
Liga-Desliga	71,71
<i>Fuzzy</i>	53,61

Mesmo não havendo economia no consumo do aparelho da sala de reunião, quando foi feita soma geral de todas as energias consumidas, houve uma redução na demanda na ordem de 20%. O resultado obtido com o controle na sala de desenvolvimento contribuiu para este resultado comprovando o correto funcionamento das regras fuzzy (Inibir o funcionamento do aparelho que está sobre forte influência da temperatura externa).

Vale ressaltar que as medidas não esperadas no intervalo compreendido de 14:00h a aproximadamente 15:50h foi em decorrência de visita de clientes (8 pessoas) ao

escritório. Isto comprova a influência da presença de pessoas em um ambiente que possui controle de ar condicionado.

Outra análise que podemos fazer é sobre a curva apresentada no período onde os aparelhos ficam desligados, vemos que a temperatura interna aumenta e para que esta volte para um valor próximo ao desejado decorre um intervalo de tempo considerável com os aparelhos funcionando com potência elevada. Como consequência, é de se esperar que neste período haja aumento na demanda de energia, tornando o funcionamento do sistema de controle inteligente semelhante ao funcionamento do controle Liga-Desliga.

Considerando essa situação indesejável foi tomada a decisão de ligar os aparelhos pela manhã, por volta das 07:40, desligando-os somente de tarde, às 19:00 hs.

Nos dados a seguir consideramos T.Circ, a temperatura T.Circ que é obtida através de um sensor de temperatura posicionado na sala de circulação. Esta temperatura será a nova referência a ser seguida, ou seja, o objetivo será tornar a temperatura T.Circ o mais próximo possível do *setpoint*, mantendo o conforto térmico e preocupando-se em não causar desconforto nas salas de reunião, diretoria e desenvolvimento.

Os resultados obtidos com a nova faixa horária de funcionamento foram bastante satisfatórios.

**Tabela 6.6** - Consumo sala Desenvolvimento dias 23 e 24 de Setembro de 2006

<b>Modelo controle</b>	<b>Consumo total (kWh)</b>
Liga-Desliga	35,34
<i>Fuzzy</i>	16,41

Com a nova faixa horária o comportamento da temperatura interna, na sala de desenvolvimento, é mais uniforme, ou seja, uma vez atingindo o regime permanente não há variações bruscas. O controle inteligente obtém melhor desempenho que o apresentado no experimento anterior, elevando assim a uma economia de energia superior aos valores obtidos, analisando apenas ambiente da sala de desenvolvimento.

A redução no consumo de energia, tabela 6.6, foi em parte devido à (menor) temperatura externa, conforme podemos visualizar nas figuras abaixo.

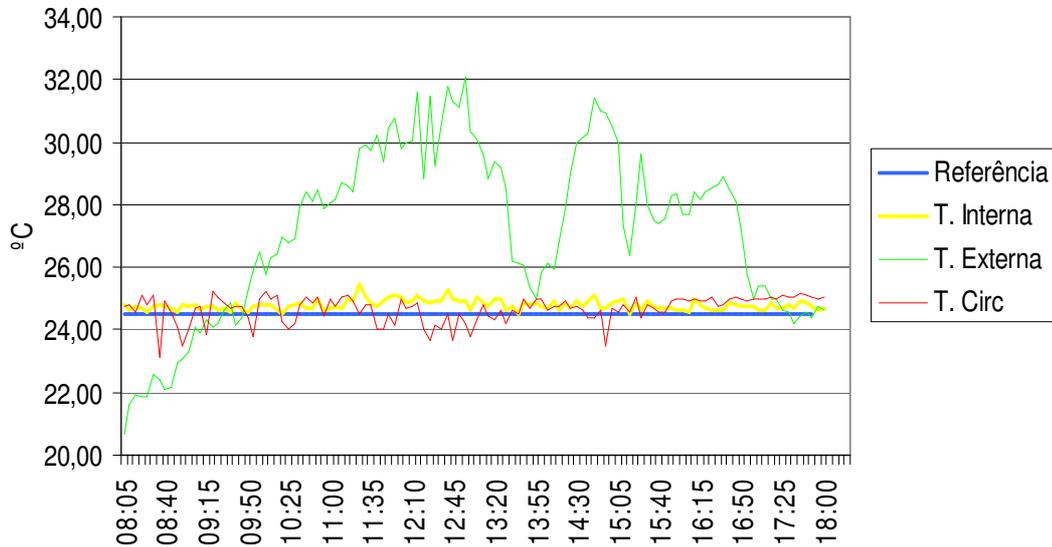


Figura 6.19 - Temperatura na Sala Desenvolvimento – Controle Fuzzy 23-09-2006

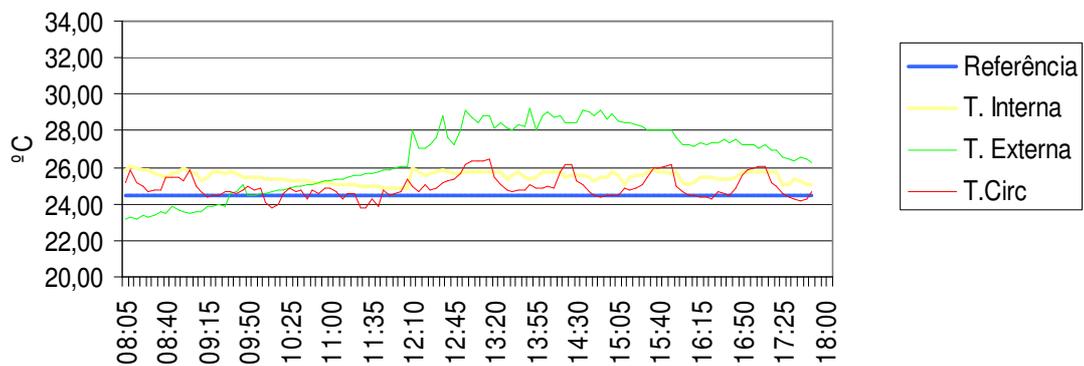


Figura 6.20 - Temperatura na Sala Desenvolvimento – Controle Liga-Desliga 24-09-2006

Apesar da temperatura externa coletada no dia do experimento com o controle *fuzzy* estar mais elevada, há uma queda abrupta no período entre 12:30 a 13:40, figuras 6.19 e 6.20, neste horário não há pessoas no escritório, assim para manter a temperatura no patamar desejado, a energia foi menor. Através desta “anomalia” mais uma vez

constatamos a importância de considerar com os efeitos da temperatura externa, no sentido de tentar sempre que possível inibir o funcionamento do aparelho de ar condicionado quando este estiver sob forte radiação solar.

Apresentaremos mais à frente resultados obtidos em uma experiência onde a temperatura externa está sempre em queda para os dois modos de controle.

Outra observação importante é sobre os limites mínimos e máximos das temperaturas internas alcançadas no controle inteligente *fuzzy* e no controle liga-desliga. Enquanto no primeiro o valor máximo para a temperatura interna atinge por uma única vez os 25°C, o segundo oscilou por varias vezes ao longo do dia em valores próximos aos 26,1 °C. O controle *fuzzy* em regime permanente torna a oscilação de temperatura menor.

**Tabela 6.7** - Consumo sala Diretoria dias 23 e 24 de Setembro de 2006

<b>Modelo controle</b>	<b>Consumo total (kWh)</b>
Liga-Desliga	17,96
<i>Fuzzy</i>	15,80

O comportamento da temperatura interna nos dois experimentos (*Fuzzy* e Liga-Desliga) mostradas a seguir confirma a pouca variação de temperatura para o controle inteligente se comparado ao controle Liga-Desliga. As variações, para o controle *Fuzzy*, são abaixo da referência, enquanto que para o controle Liga-Desliga estes picos ocorrem nos dois sentidos, picos positivos e picos negativos em relação a referência.

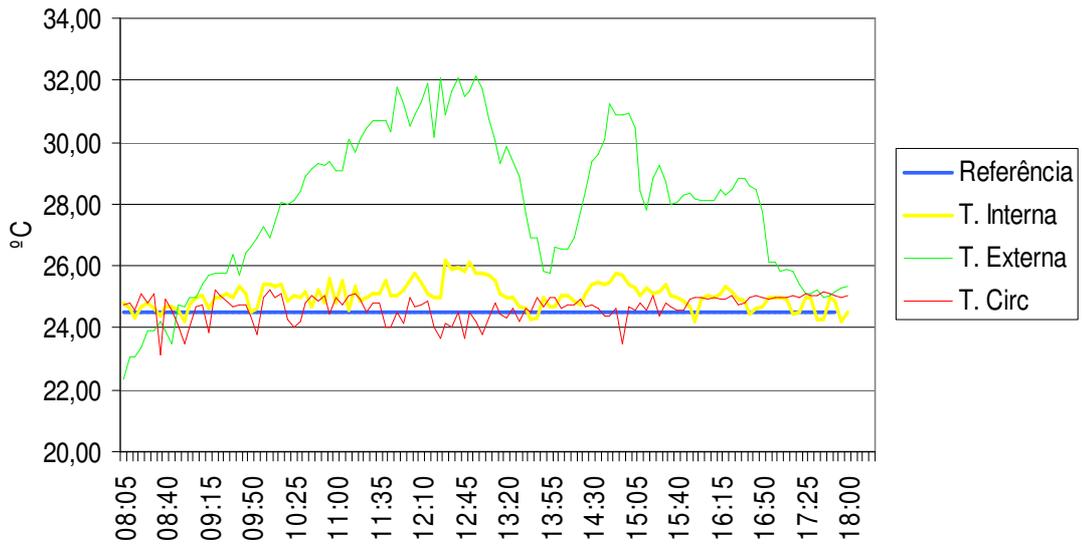


Figura 6.21 – Temperatura na Sala Diretoria – Controle Fuzzy 23-09-2006

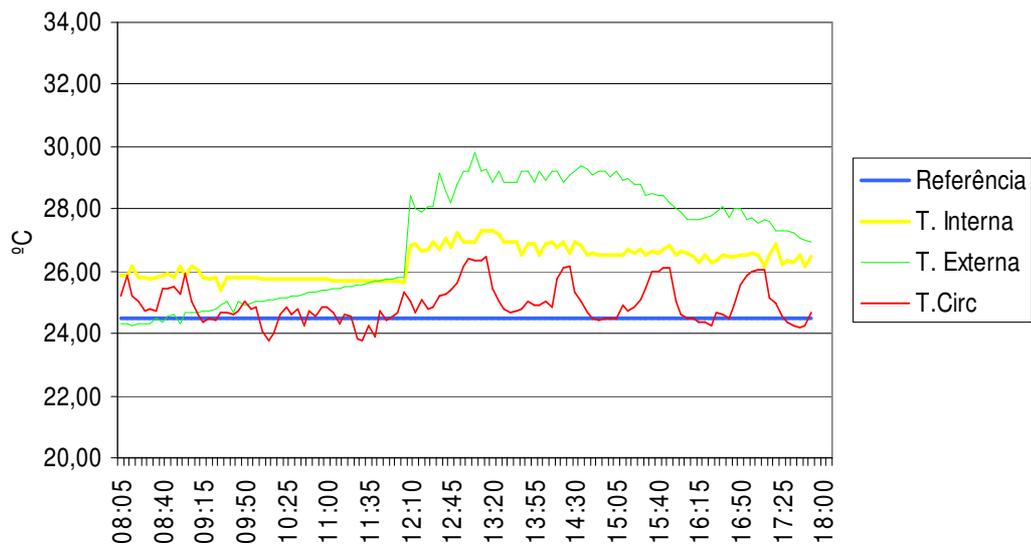


Figura 6.22 - Temperatura na sala diretoria – Controle Liga-Desliga 24-09-2006

As figuras 6.21 e 6.22 comprovam a eficiência do controle *fuzzy*, pois mesmo consumindo 12% a menos de energia, a temperatura interna sempre esteve próxima à referência estabelecida, enquanto que para o controle Liga-Desliga seu valor é, na média, superior à referência.

**Tabela 6.8 - Consumo sala Reunião dias 23 e 24 de Setembro de 2006**

Modelo controle	Consumo total (kWh)
Liga-Desliga	19,95
<i>Fuzzy</i>	13,10

A figura 6.22 mostra que o consumo da sala de reunião utilizando o controle inteligente possui comportamento semelhante ao controle Liga-Desliga, mesmo apresentando uma redução de 35% acumulada no decorrer do dia.

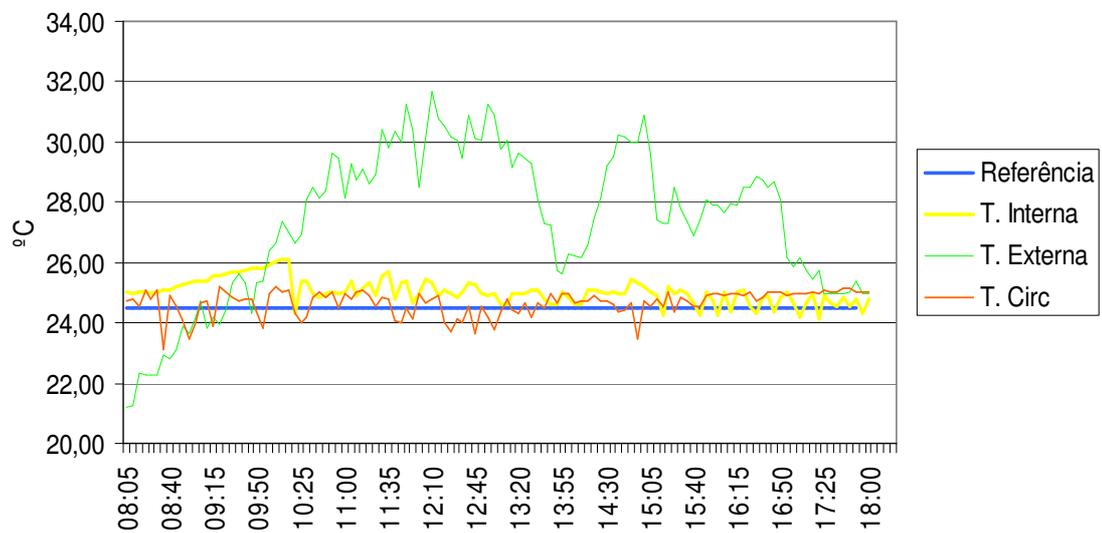


Figura 6.23 - Temperatura na Sala Reunião – Controle Fuzzy 23-09-2006

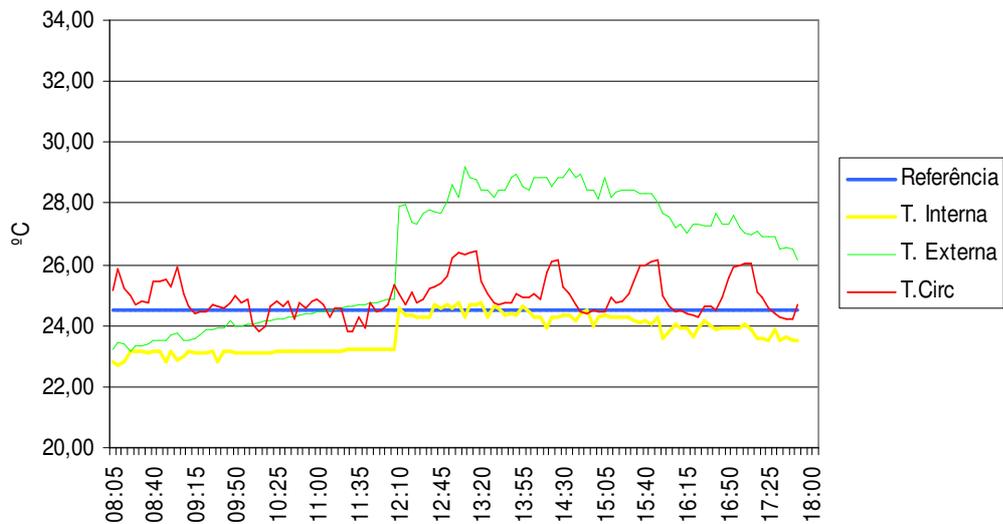


Figura 6.24 - Temperatura na Sala reunião – Controle Liga-Desliga 24-09-2006

As figuras 6.19, 6.21, 6.23 comprovam a eficiência do controle *fuzzy* na manutenção da temperatura interna próxima à desejada, além da economia no uso da energia. Os aparelhos em ambas as salas são idênticos, com exposição solar idêntica, porém o primeiro apresenta 15% de economia e o segundo apresenta 35% de economia. Esta diferença é devido à carga térmica maior da sala da diretoria. Esta carga é devido às pessoas presentes no local. Na sala de reunião a presença de pessoas é esporádica.

**Tabela 6.9** - Consumo Total dias 23 e 24 de Setembro de 2006

Modelo controle	Consumo total (kWh)
Liga-Desliga	73,48
<i>Fuzzy</i>	45,31

Fazendo o somatório da economia acumulada durante o experimento de cada sala o resultado obtido foi uma economia total de 38%, a favor do controle inteligente *fuzzy*.

Nos experimentos anteriores, sempre houve interferência, seja por distúrbios da natureza, ou pela movimentação de pessoas estranhas ao ambiente objeto de controle, apesar de em todos os experimentos haver redução no consumo de energia de todo o

ambiente, há sempre a incerteza pelos dados coletados não serem nas mesmas condições, tornando a comparação menos convincente.

Sendo assim, foram efetuados vários experimentos em um período que não houvesse interferência de pessoas, e que influencia da temperatura externa fosse o mais próximo possível para os modelos de controle. Mesmo com todos os esforços para conseguir as mesmas condições de temperatura para os experimentos, observa-se que para o controle Liga-Desliga a temperatura externa sempre foi inferior àquelas anotadas para o controle *fuzzy*.

Para os próximos experimentos apresentados a referência permaneceu em 24,5 °C. A coleta de dados está entre o intervalo de 00:00 às 06:00 e em ambos os modelos de controle os aparelhos foram acionados às 23:30 do dia anterior. Todas essas alterações de faixa horária, modo de controle, tempo de coleta de dados são efetuadas através do ActionView com intervenção direta do usuário ou através de programação pré-agendada. A cada alteração é feito com um *upload* da nova programação do ActionView para os controladores, sem que haja perda de dados, ou perda de monitoração dos equipamentos, ou seja, essas programações são efetuadas *on-line*, não havendo necessidade de parar a execução do *Software ActionView*.

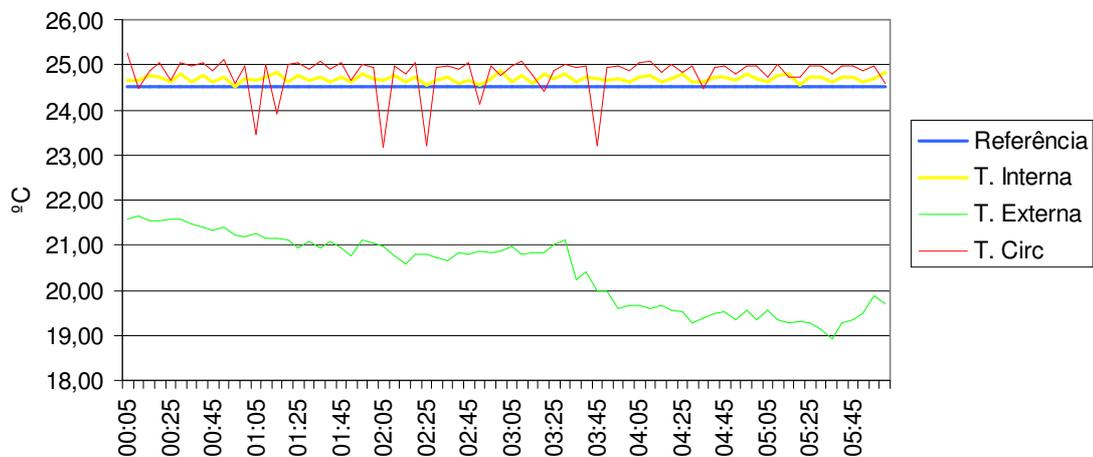


Figura 6.25 - Temperatura na sala desenvolvimento – Controle Fuzzy 24-09-2006

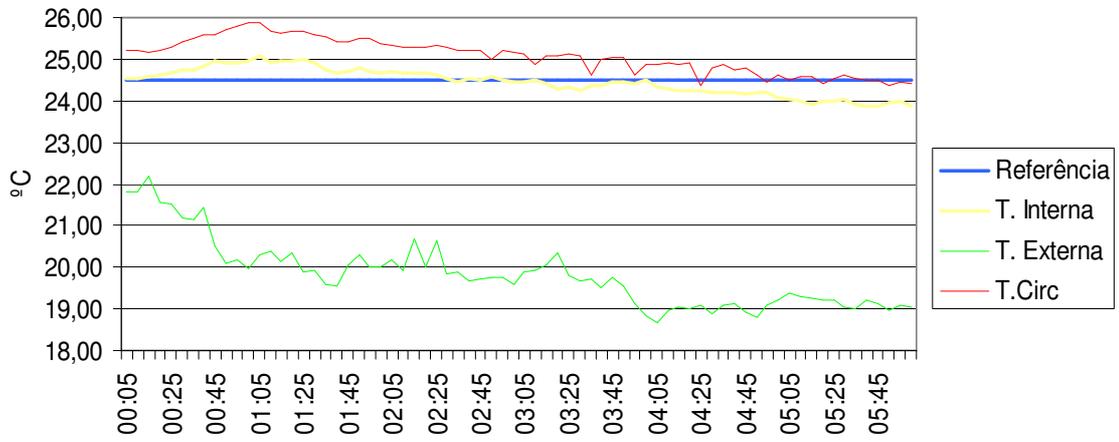


Figura 6.26- Temperatura na sala desenvolvimento – Controle Liga-Desliga 25-09-2006

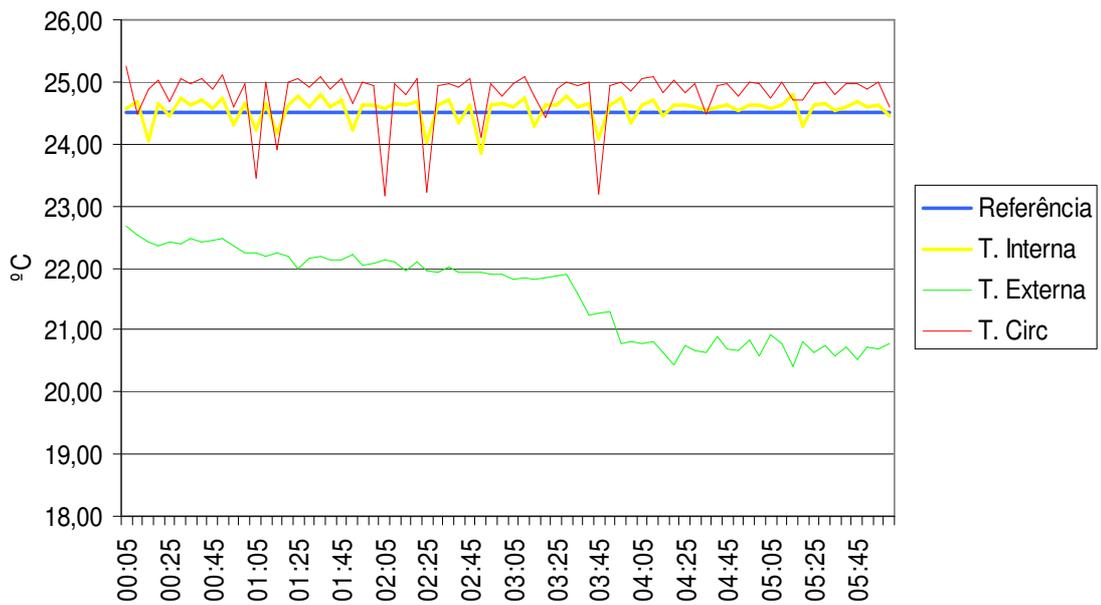


Figura 6.27 - Temperatura na sala diretoria – Controle Fuzzy 24-09-2006

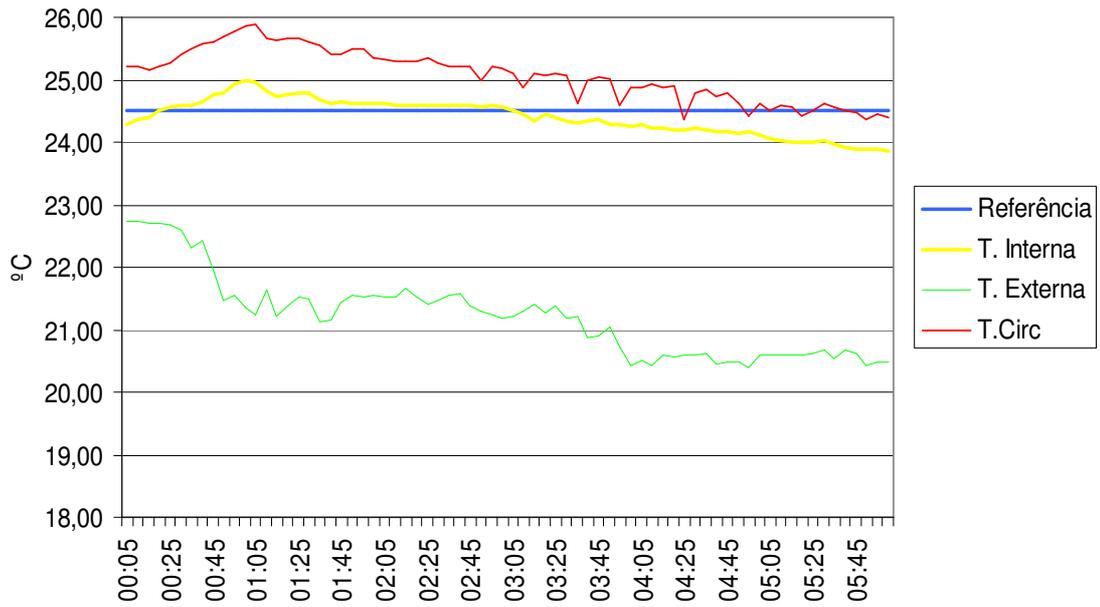


Figura 6.28 - Temperatura na sala diretoria – Controle Liga-Desliga 25-09-2006

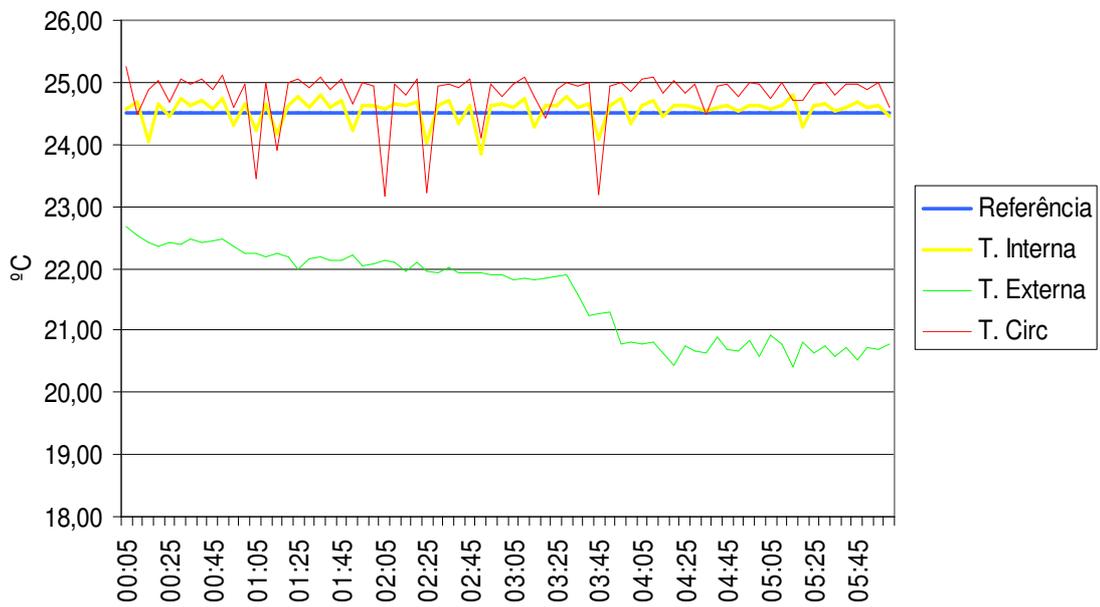


Figura 6.29 - Temperatura na sala reunião – Controle Fuzzy 24-09-2006

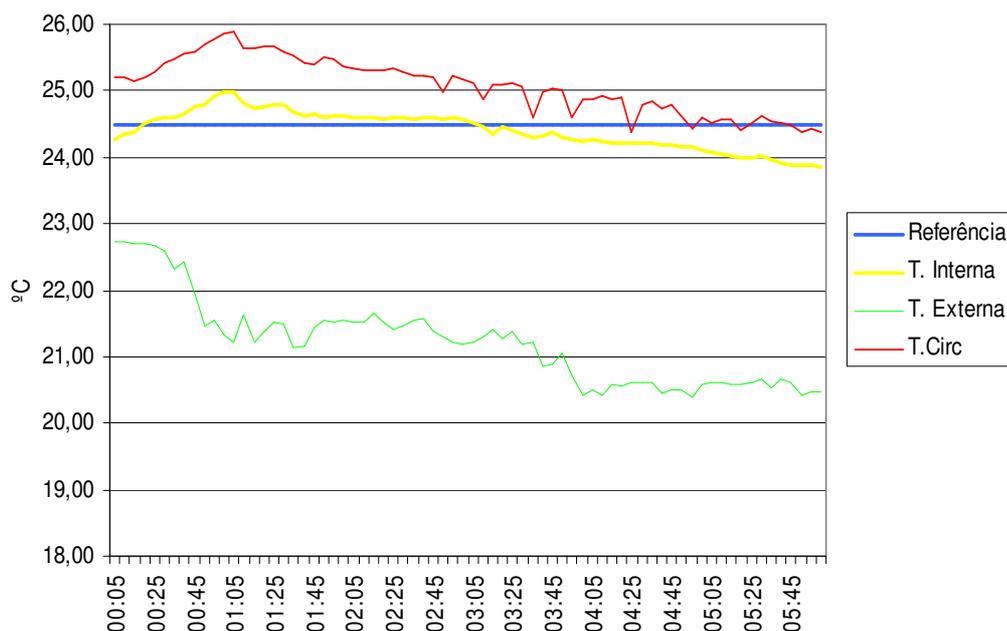


Figura 6.30 - Temperatura na sala reunião – Controle Liga-Desliga 25-09-2006

O comportamento das temperaturas apresentadas nas figuras 6.28, 6.29 e 6.30 é similar. Através desse comportamento verifica-se que o controle Liga-Desliga tende a não ficar em regime, a tendência das curvas que representam a temperatura interna e a temperatura da sala de circulação é ficarem abaixo do valor estabelecido na referência.

**Tabela 6.10** - Consumo total madrugada dias 23 e 24 de Setembro de 2006

Modelo controle	Consumo total (kWh)
Liga-Desliga	43,30
<i>Fuzzy</i>	6,90

## 7 - CONCLUSÃO

Os vários ramos de automação (predial, residencial, industrial, etc.) têm em comum os mesmos princípios de controle, utilizando *softwares e hardwares*, controladores lógicos e linguagens de programação, além dos mais diversos tipos de dispositivos sensores e atuadores. Sob esse aspecto, o conceito de automação deve estabelecer condições para que todos os subsistemas envolvidos (controles de iluminação, segurança, ar condicionado, controle de energia, incêndio, etc.) possam trabalhar em conjunto e de forma otimizada.

Dessa forma, para que sistemas de automação possam ser implantados de forma a atender aos requisitos dos projetos das novas redes de comunicação é imprescindível um planejamento detalhado, a elaboração do projeto por pessoal especializado e o emprego de mão-de-obra qualificada para a instalação e testes dos diversos subsistemas.

Ao projetar um sistema de controle de temperatura é de extrema importância considerar a capacidade dos aparelhos, o fluxo de pessoas no ambiente, a exposição solar que os aparelhos estarão sujeitos, além do comportamento climático da região. Ao contemplar estas variáveis o projetista estará contribuindo para o melhor aproveitamento do uso da energia elétrica. Em todos os experimentos estes fatores foram relevantes nos resultados obtidos.

Concluir que o sistema inteligente gera a economia na ordem de grandeza obtida nos experimentos é precipitado, uma vez que obter as mesmas condições climáticas para os dois modelos de controle apresentados é difícil. Para confirmar a eficácia de um controle sobre outro, deve-se efetuar os experimentos utilizando os dois modelos de controle ao mesmo tempo, em salas diferentes, claro que estas salas devem estar sobre as mesmas condições de exposição solar e mesma carga térmica provocada por equipamentos e/ou pessoas.

Os valores de consumo de energia obtidos para os dois modelos de controle indicam que através do controle inteligente *fuzzy* a redução é bastante significativa para os casos onde a capacidade do aparelho não esteja comprometida conforme os resultados apresentados no controle localizado na sala de desenvolvimento. Esta redução fica mais acentuada se analisar os dados adquiridos no período noturno onde não as variações da diferença das temperaturas externas são mínimas.

Para os ambientes denominados Sala de Reunião e Sala da Diretoria as variações das temperaturas internas diante de perturbações (aumento do número de pessoas, variação das condições climáticas, etc.) indicaram comprometimento da capacidade dos aparelhos na manutenção do conforto térmico nestes ambientes.

Outra conclusão é que seus sensores podem estar avaliados, necessitando de manutenção preventiva, o que vem de encontro com umas dos objetivos da automação predial que é a melhorar a gestão da manutenção dos equipamentos.

Instalar os cabos de comunicação por mais simples que seja sempre incomoda as pessoas no ambiente, alteram a ergonomia da sala. A fixação é difícil devido aos cuidados a serem tomados. Uma instalação incorreta pode gerar ruídos e conseqüentemente aumentar as falhas de comunicação entre os equipamentos e o Software SCADA.

A limitação do número de bytes (1024 bytes) para cada bloco de comando do CLP foi um fator determinante na depuração do programa. Essa limitação provocou a divisão do programa em 3 partes distintas, porém com necessidade de troca de informações entre si, com isso foi necessária a utilização de todas as variáveis globais disponíveis no CLP.

Este trabalho atingiu seu objetivo, que é a construção de um equipamento de automação predial distribuído. Os resultados obtidos foram satisfatórios, mas ao mesmo tempo mostram a necessidade de efetuar mais testes utilizando outros modelos de controle para aí concluir a eficácia de seu funcionamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ActionView, Software SCADA. Versão 7.2 (2006). Desenvolvido e comercializado pela Empresa Spin Engenharia de Automação Ltda.
- Bauchspiess, A. (2004). “Introdução aos Sistemas Inteligentes.” In: *Aplicações em Engenharia de Redes Neurais Artificiais, Lógica Fuzzy e Sistemas Neuro-Fuzzy*.
- Becker, M., Oestereich, D., Hasse, H., Litz, L. (1994). “Fuzzy control for temperature and Humidity in Refrigeration Systems”. In: *IEEE Conference on Control Applications*, pp. 1607-1612
- Bing Yu, and Dolf H.C., Fuzzy Neural Networks Model for Building Energy Diagnosis.(2003). Eighth Internaltional IBPSA Conference. Eindhoven, Netherlands. August 11-14
- He, M., Cai, W.-J., Li, S.-Y. (2005). “Multiple fuzzy model-based temperature predictive control for HVAC systems”. In: *Information Sciences 169*, pp. 155-174
- Hojati, M., Gazor, S. (2002). “Hybrid Adaptive Fuzzy Identifications and Control of Nonlinear Systems”. In: *IEEE Trans. on Fuzzy Systems. Vol. 10, N°2, April 02*. pp. 198-210
- Hordeski, Michael. (2001). “Hvac Control in the New Millennium”. Ed. Marcel Dekker
- Hughes D. (1998) Low energy buildings within the European policy framework. Proceedings NatVent Conference, BRE, June
- Kolokotsa, D., D Tsiavos, G. S. Stavrakakis, K. Lalaitzakis and E. Antonidakis (2001). “Advanced Fuzzy Logic Controllers Design and Evaluation for Buildings Occupants Thermal-Visual Comfort and Indor Air Quality Satisfaction”. In: *Energy and buildings*. Vol. 33, 531-543
- Mamdani, E.H. (1974). “Application of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant.” In: *Proc. IEEE, 121*, 1585-1588
- Mamdani, E.H. (1976). “Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers.” In: *International J. Man Machine Studies*, 669-678.
- Mamdani, E.H. (1993). “Twenty years of fuzzy control: Experiences gained and lessons learnt.” In: *Proc. 2<sup>nd</sup> IEEE int. Conf. On Fuzzy Systems, San Francisco*, 339-344.
- MORAES, Cicero Couto de. CASTRUCCI, Plinio de Lauro.(2001) **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC Editora.

Mull, T. E. (1997). HVAC principles and applications manual, McGraw-Hill company

NATALE, Ferdinando.(2000). **Automação Industrial**. Editora Érica.São Paulo

NEMA, <http://www.nema.org>

Norma NBR14522.(2000). Intercambio de informações para sistemas de medição de energia elétrica – Padronização. 01 de Maio

PINHEIRO, José Mauricio Santos. (2006). **A domótica**. [http://www.projotoderedes.com.br/artigos/artigo\\_domotica.php](http://www.projotoderedes.com.br/artigos/artigo_domotica.php). Acesso em: 07 de Agosto de 2006

PROJETO CONECTAR.(2004). **Os Atrativos da Automação Residencial**. São Paulo, 12 abr. 2002. Disponível em: <<http://www.projetoconectar.com.br/artigos/artigos.asp?id=6>>. Acesso em: 20 de maio.

S.A. Boyer. (1999). *SCADA: supervisory control and data acquisition*, Instrument Society of America.

SANTOS, Ronaldo de Jesus.(2005). **Utilização de Controle Fuzzy para a Racionalização de Energia em Processo de Condicionamento de Ar**. 2005 Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA Filho, Bernardo Severo da.(2004). **Curso de Controladores Lógicos Programáveis**. Rio de Janeiro. Disponível em: [http://www.lee.eng.uerj.br/downloads/cursos/clp/clp\\_1.pdf](http://www.lee.eng.uerj.br/downloads/cursos/clp/clp_1.pdf) >. Acesso em: 15 Maio

TRIETLEY, H.L. *Transducers in Mechanical and Eletronic Design*. New York: Dekker, 1986.

Valente de Oliveira, J. and Lemos, J.M. (2000). “A comparision of some adaptative-predictive fuzzy-control strategies”. *In: IEEE trans. on Systems, Man and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews*, Vol. 30, Nº 1, February 2000, pp. 138-145

VILANNI, Emília.(2000). **Abordagem Híbrida para Modelagem de Sistemas de Ar Condicionado em Edifícios Inteligentes**. 2000. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – TIPOS DE FUNÇÕES FUZZY

### APÊNDICE A.1 - Triangular

Este tipo de função serve para indicar apenas um único ponto de máximo no conjunto. A definição é do tipo:

$$f(x) = \begin{cases} y_{\min}, & x \leq i \text{ ou } x \geq f \\ y_{\min} + (y_{\max} - y_{\min}) \times (x - i) / (m - i), & i < x \leq m \\ y_{\min} + (y_{\max} - y_{\min}) \times (f - x) / (f - m), & m < x < f \end{cases}$$

Onde  $y_{\min}$  é o menor valor possível para a função,  $y_{\max}$  o maior valor,  $i$  o início da ascendente da função,  $m$  o valor de máximo, e  $f$  o final da descendente. Para uma melhor compreensão, observe o gráfico a seguir.

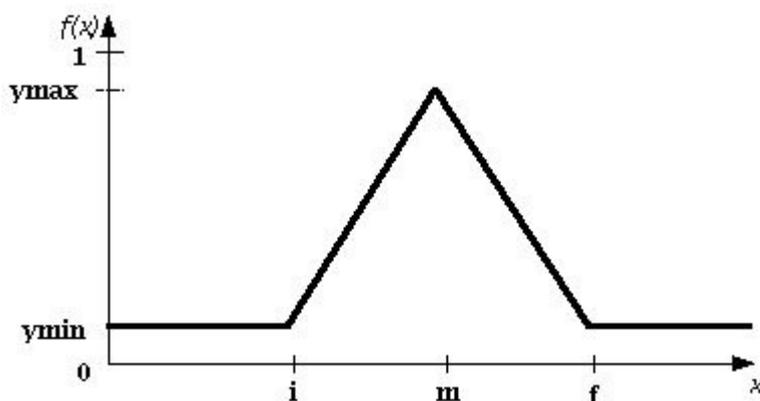


Figura A.1 – Forma de onda função Triangular

### APÊNDICE A.2 - Trapezoidal

Nesta função é possível representar todo um intervalo de pontos de máximo, conforme a fórmula:

$$f(x) = \begin{cases} y_{\min}, & x \leq i \text{ ou } x \geq f \\ y_{\min} + (y_{\max} - y_{\min}) \times (x - i) / (m1 - i), & i < x < m1 \\ y_{\max}, & m1 \leq x \leq m2 \\ y_{\min} + (y_{\max} - y_{\min}) \times (f - x) / (f - m2), & m2 < x < f \end{cases}$$

Onde  $y_{\min}$  é o menor valor possível para a função,  $y_{\max}$  o maior valor,  $i$  o início do trapézio,  $m1$  o início do intervalo de máximo,  $m2$  o fim do intervalo de máximo, e  $f$  o final do trapézio. Veja o gráfico a seguir.

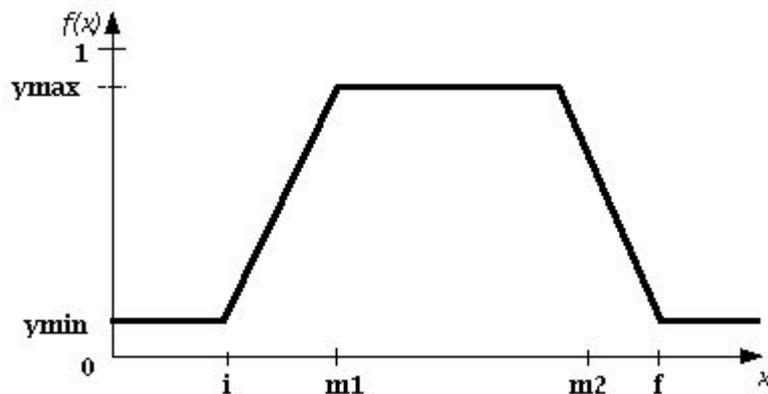


Figura A.2 – Forma de onda função Trapezoidal

### APÊNDICE A.3 - LR (Left-Right)

Este tipo de conjunto é mais genérico, pois permite a utilização de vários tipos de função para definir o intervalo de representação. As funções são chamadas de L (left, pois define a função à esquerda) e de R (right, pois define a da direita).

A formulação padrão é do tipo:

$$f(x) = \begin{cases} L((m1 - x) / \alpha), & x < m1 \\ 1, & m1 \leq x \leq m2 \\ R((m2 - x) / \beta), & x > m2 \end{cases}$$

Onde  $L$  e  $R$  podem ser funções do tipo  $e^{-x}$ ,  $1 / (1+x^2)$ , ou outra qualquer que tenha  $f(0) =$

$f(1) = 0$  e mantenha-se no intervalo  $[0; 1]$ ;  $m1$  é onde inicia o intervalo de máximo, terminando em  $m2$ ; alfa é o espalhamento lateral da esquerda e beta o da direita.

Para exemplificar, se colocássemos  $L = R = 1/(1+x^2)$ , espalhamento esquerdo 5 e direito 2, então teríamos um gráfico semelhante ao apresentado a seguir.

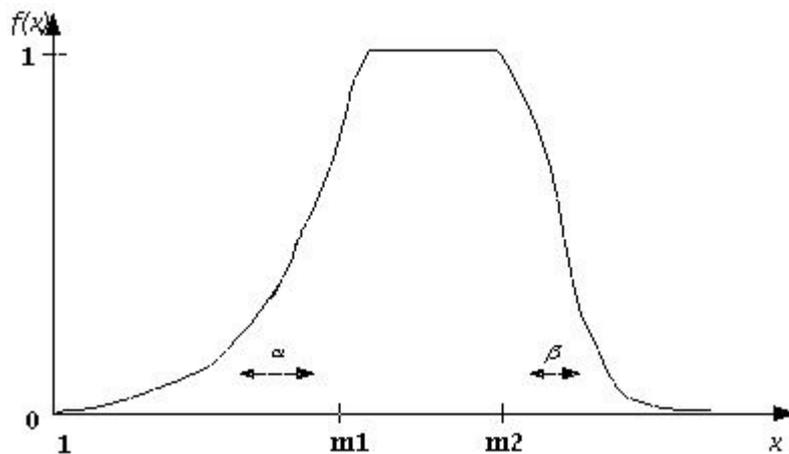


Figura A.3 – Forma de onda função LR

## APÊNDICE B - NOVAS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

As redes sem fio surgiram inicialmente como complemento às redes utilizando cabeamento convencional, possibilitando dessa maneira um maior alcance para as redes locais, através das chamadas *Wireless Local Area Networks* (W-LAN's). Atualmente o que vemos é a competição entre as redes sem fio e as redes cabeadas nas aplicações em redes locais (LAN's), nas redes metropolitanas (MAN's) e mesmo nas redes de cobertura nacional (WAN's).

Um outro fato que podemos observar é que as tecnologias de redes *wireless* atuais apontam para um objetivo comum: a implantação de inúmeras redes de comunicação, tantas quanto forem necessárias, para criar uma rede de âmbito mundial e proporcionar a inclusão total das pessoas, em todos os lugares, no ciberespaço (a tão falada inclusão digital).

Essa tendência é apontada por diversos pesquisadores que prevêem ainda que, em um futuro bem próximo, onde quer que um indivíduo esteja, estará coberto por uma rede, seja ela individual, doméstica ou coletiva, com acesso à *Internet* vinte e quatro horas por dia, sete dias por semana.

Faz parte dessa idéia de uma rede com cobertura em todos os lugares, uma espécie de trilogia tecnológica iniciada há alguns anos com o desenvolvimento dos padrões *wireless*.

Iniciada com o padrão *Bluetooth*, desenvolvido inicialmente para uso em redes individuais, seguiram-se nessa trilogia o padrão *Wi-Fi*, para uso em redes coletivas e, mais recentemente, o padrão UWB (*Ultra Wide Band* - ou banda ultra-rápida), para utilização nas redes domésticas emergentes.

O padrão *Bluetooth* visa principalmente facilitar as transmissões de voz e dados em tempo real, assegurar proteção contra interferência e a segurança dos dados transmitidos, além de permitir a interoperabilidade dos dispositivos de rede de forma automática, sem a interferência do usuário. É uma especificação aberta (*royalty-free*) que estabelece um padrão para comunicação sem fio, de curto alcance (até 100 metros) e de

baixo custo, estabelecido através de um enlace de rádio na frequência de 2.4GHz, que não necessita licença e com velocidade que pode chegar a 721Kbps.

O padrão baseia-se em um *chipset* conhecido pelo mesmo nome e que se encarrega de estabelecer a conexão com dispositivos que possuam a mesma tecnologia, por exemplo, computadores, impressoras, scanners, PDA's, telefones celulares, etc, de uma forma simples e segura.

O segundo elemento dessa trilogia é o padrão *Wi-Fi*, abreviatura para *Wireless Fidelity* (fidelidade sem fios), utilizado para descrever os produtos que respeitam o conjunto de normas 802.11 criado pelo IEEE. As normas mais conhecidas são a 802.11b, para dispositivos que operam na banda de 2.4GHz (a mesma frequência usada em microondas e no telefone sem fios), que permite transferir dados com taxas de 11Mbps e o padrão 802.11a, para dispositivos que operam na banda de 5GHz, que permite transferir dados com taxas até 54Mbps. Um padrão mais recente, o 802.11g, é compatível com o 802.11b (trabalha também na banda de 2,4GHz) e com o padrão 802.11a, (pode transferir dados até 54Mbps). Esta tecnologia tem um alcance de cerca de 1 quilômetro.

Devido à ocupação quase total do espectro de bandas de frequências até 3GHz, o mercado de redes sem fio se voltou recentemente para a UWB, o terceiro elemento dessa trilogia.

O UWB opera na faixa de 3.1GHz a 10.6GHz para aplicação em redes de computadores. Primeiramente desenvolvido para aplicações militares, o padrão de transmissão sem fio UWB utiliza sinais de rádio de baixa energia na forma de pulsos curtos.

Com a geração de milhões de pulsos por segundo, o UWB pode transmitir grandes quantidades de dados por segundo. Por essa característica, suporta melhor as aplicações de banda larga como, por exemplo, *streaming* de vídeo. Comparado às demais tecnologias *wireless*, o UWB pode transmitir dados a mais de 100Mbps, enquanto a máxima velocidade da tecnologia 802.11 é de 11Mbps por segundo ou 1Mbps para o *Bluetooth*.

As aplicações para o UWB incluem as redes locais sem fio, redes multimídia domésticas, comunicação direta entre aparelhos móveis, radares e sensores de proximidade.

A questão que se coloca atualmente é que o padrão UWB uma vez que no mercado de redes de computadores vai competir no segmento dominado pelas redes sem fio baseadas no *Bluetooth* (utilizado em redes locais de curto alcance conhecidas como PAN's) e com o padrão 802.11 (mais utilizado em redes locais LAN's). Aguarda-se que essa "competição" represente um novo impulso para uma nova evolução nos padrões de redes sem fio em direção a tecnologias ainda mais eficientes em termos de velocidade de transmissão e segurança para a informação.

A realidade é que, independente da tecnologia, as redes *wireless* atuais possibilitam soluções viáveis para os projetos de redes onde a utilização de cabeamento convencional não é possível ou economicamente inviável, oferecendo uma melhor relação custo-benefício.

Embora ainda permaneçam algumas dúvidas e discussões sobre a confiabilidade e a eficiência das redes sem fio no que diz respeito à segurança na transmissão da informação, as redes *wireless* atuais oferecem um gerenciamento mais fácil, simplicidade na instalação e configuração quando comparadas às redes estruturadas. Somado a esse fato, a grande maioria das tecnologias de redes *wireless* permite plena conectividade e atende aos padrões e normas dos organismos internacionais.

Apesar dos altos custos de projeto, as aplicações para redes sem fio vêm crescendo cada vez mais e podemos encontrar diversos padrões e protocolos envolvidos na disputa pelos diversos segmentos de redes de comunicação, cada qual apresentando vantagens e desvantagens e adequando-se melhor a um ou outro tipo de aplicação.

Um dos segmentos onde mais tem crescido a aplicação de redes sem fio é o das redes domésticas, principalmente em aplicações de automação comercial e residencial. Atualmente encontramos diversos equipamentos controlados remotamente, desde televisores, *home theaters*, DVD's, até computadores, impressoras etc.

Acontece, porém, que o sistema de controle para tais equipamentos não é único, sendo necessário um dispositivo para cada equipamento controlado. Apesar de existirem os controles ditos "universais", seu uso não é simples, sendo necessário conhecer os códigos de programação para cada fabricante e para cada aparelho.

## **APÊNDICE B.1 - INTEROPERABILIDADE**

Dentro de um conceito de interoperabilidade conhecido como HAN (*Home Area Network*), ou rede local doméstica, podemos ter um único dispositivo de controle sem fio que atenda a todos os equipamentos. Sendo sem fio, não é necessário que este controle esteja no mesmo ambiente do equipamento controlado, o que torna possível ligar ou desligar, por exemplo, um computador localizado em uma determinada sala, sem necessariamente estar fisicamente nela.

O conceito de HAN necessita de uma definição de protocolos e padrões que garantam a interconexão de qualquer equipamento do tipo "plug & play" na rede. Estes podem ser baseados em definições já existentes (padrão X-10, por exemplo), ou em novas tecnologias, como o protocolo Zigbee.

## **APÊNDICE B.2 - ZIGBEE**

Uma das tecnologias mais recentes dentro do grupo das redes pessoais sem fio é o padrão Zigbee, também conhecido como *HomeRF Lite* e que corresponde ao IEEE 802.15.4, homologado em maio de 2003. Esse padrão vem sendo desenvolvido para se tornar uma solução de comunicação para redes que não necessitam de soluções complexas para dotar de inteligência os aparelhos de comunicação sob seu controle, barateando assim os custos com equipamentos, manutenção e mão de obra.

O Zigbee também é um protocolo para HAN. As soluções baseadas nesse protocolo visam atender às necessidades de controle e segurança das redes domésticas, apresentando um baixo custo de implementação, baixo consumo, topologia de rede variável e velocidades compatíveis com as necessidades dos equipamentos.

O protocolo Zigbee é estruturado em cinco camadas segundo o modelo de referência OSI: PHY (física), MAC (enlace), NWK (rede), Suporte a Aplicação e Aplicação Perfil. As camadas MAC (*Medium Address Control*) e PHY (*Physical Layer*) seguem a definição da IEEE 802.15.4, as camadas NWK e Suporte a Aplicação são definidas pela Zigbee Alliance e a camada de Aplicação Perfil, definida pelo usuário.

O sistema de transmissão do Zigbee é baseado no DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) ou Espalhamento Espectral por Sequência Direta. Nesta técnica, de forma simplificada, temos uma sequência pseudo-randômica de valores "0" e "1", em uma frequência mais elevada, multiplica o sinal original, causando o espalhamento da energia do sinal em uma banda de transmissão mais larga.

Como mencionado, a IEEE 802.15.4 estabelece as definições para o protocolo Zigbee, que opera na faixa das frequências ISM (que não requerem licença para funcionamento), incluindo as faixas de 2.4 Ghz (Global), 915Mhz (América) e 868Mhz (Europa), com uma taxa de transferência de dados de até 250kbps em 2.4Ghz (16 canais), 40kbps em 915Mhz (10 canais) e 20kbps em 868Mhz (1 canal), visando possibilitar a melhor integração e operabilidade entre os diversos dispositivos.

Suas principais características são:

- Comunicação sem fio com alcance previsto de até 500 metros;
- Frequências de operação entre 868MHz e 2.4Ghz;
- Taxa de transmissão em torno de 250Kbps;
- Baixo consumo de energia;
- Baixo custo de implementação;
- Topologia de rede variável.

O protocolo define uma estrutura de rede que incorpora os conceitos de redes *ad hoc*, as características de conexão em malha e *multi-hop*. As topologias que podemos encontrar em uma rede Zigbee são a topologia em estrela (*star*), em árvore (*tree*) e em

malha (*mesh*). Os principais componentes integrantes dessa rede são o coordenador (*coordinator*), os roteadores (*routers*) e os clientes.

**Topologia estrela:** É a topologia mais simples onde temos um coordenador e os elementos clientes. Ela é indicada para ambientes que ofereçam poucos obstáculos para a transmissão dos sinais.

Sua principal vantagem é a facilidade de implementação e coordenação. A desvantagem está na presença de um único coordenador, o que gera a dependência de todos os clientes para este e o alcance do sinal de RF que nesse tipo de rede não é muito grande.

**Topologia árvore:** Essa topologia é formada por sub-redes que se comunicam entre si através de elementos roteadores. Aqui temos mais de um elemento coordenador, cada um gerenciando uma rede diferente.

Sua aplicação principal está na comunicação de dispositivos situados em andares diferentes e ou entre salas distantes entre si, separadas por paredes. O alcance do sinal de RF deste tipo de rede é maior, tendo em vista que um coordenador pode controlar um cliente ligado em outra rede através de uma solicitação ao outro coordenador.

**Topologia malha:** Essa topologia permite que, com a entrada de novos dispositivos, a rede se ajuste automaticamente durante sua inicialização, otimizando o tráfego de dados.

Com essa topologia é possível construir redes mais extensas e de maior complexidade, possibilitando o controle e monitoração de grandes áreas.

A Zigbee surgiu exatamente com o objetivo de possibilitar a utilização de redes sem fio mais simples nesses ambientes. Trata-se de uma tecnologia relativamente simples, que utiliza um protocolo de pacotes de dados com características específicas e projetado para oferecer flexibilidade quanto aos tipos de dispositivos que pode controlar.

O protocolo está sendo desenvolvido com o objetivo de atender a demanda do mercado de redes que busca soluções de baixo custo, baixo consumo de energia e que ofereçam segurança e confiabilidade. Algumas das aplicações incluem eletrodomésticos em residências, automação predial, controle de periféricos de computadores como impressoras, câmeras sem fio, *scanners*, tele-medicina e entretenimento.