

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

**ANÁLISE DE UMA REDE ADEQUADA PARA
MONITORAÇÃO E CONTROLE DE ENERGIA NA
AUTOMAÇÃO PREDIAL**

MARCELO ALMEIDA DA SILVA

ORIENTADOR: Dr. Ing. ADOLFO BAUCHSPIESS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: ENE.DM – 228/05

BRASÍLIA/DF: JULHO – 2005

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

**ANÁLISE DE UMA REDE ADEQUADA PARA
MONITORAÇÃO E CONTROLE DE ENERGIA NA
AUTOMAÇÃO PREDIAL**

MARCELO ALMEIDA DA SILVA

**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 EM
ENGENHARIA ELÉTRICA.**

APROVADA POR:

**Prof. Adolfo Bauchspiess, Dr. Ing (ENE/UnB)
(Orientador)**

**Prof. Geovany de Araújo Borges, PhD (ENE/UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Carlos Humberto Llanos Quintero, Dr. (ENM/UnB)
(Examinador Externo)**

**Prof. Marco Antonio Freitas do Egito Coelho, Dr. (ENE/UnB)
(Suplente)**

BRASÍLIA/DF, 05 DE JULHO DE 2005

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, MARCELO ALMEIDA DA

Análise de uma Rede Adequada para Monitoração e Controle de Energia na Automação Predial [Distrito Federal] 2005.

xv, 86p., 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2005). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Redes de Automação

3. Prédios Inteligentes

I. ENE/FT/UnB

2. Economia de Energia

4. Protocolos de Automação

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, M. A. (2005). Análise de uma Rede Adequada para Monitoração e Controle de Energia na Automação Predial. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação ENE.DM – 228/05, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 86p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Marcelo Almeida da Silva.

TÍTULO: Análise de uma Rede Adequada para Monitoração e Controle de Energia na Automação Predial.

GRAU: Mestre

ANO: 2005

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.

Marcelo Almeida da Silva
Av. Flamboyant Lote 22 Apto 1002.
71917-000 Águas Claras – DF – Brasil.

Ao meu amado pai pelo apoio,
suporte e credibilidade: serei
eternamente grato.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Adolfo Bauchspiess pela dedicação, paciência, apoio e incentivo para o desenvolvimento deste trabalho, além da oportunidade ímpar do meu aceite no programa de pós-graduação do ENE/UnB.

Ao professor Geovany pela colaboração ao projeto e montagem da rede além da companhia nas reuniões semanais que possibilitaram a viabilização e o esclarecimento de muitos tópicos deste trabalho.

Ao Sr. Raimundo Cavalcante Reis, Gerente da Filial de Suporte Tecnológico de Brasília (GISUTBR) da CEF pela flexibilidade de horários para cursar as disciplinas.

À empresa Spin Engenharia, especificadamente ao Sr. Clóvis Simões e ao Técnico em Eletrotécnica Wellington Pereira Guedes, pela colaboração e disponibilidade.

Ao Elton e aos meus irmãos pelo reconhecimento, companhia e compreensão.

Aos amigos: Lilian, Cláudia, Nando, Pedro Júnior, Kelly Cristina, Mônica Albuquerque, Dayse Benzi, Ronaldo de Jesus, Claiton, para citar apenas alguns, que torceram e esperaram ansiosamente pela conclusão deste projeto.

A Dra. Beth e Dr. Cláudio Máximo pela confiança, orientações e disponibilidade.

Aos colegas da CEF: Alice (GEMAC), Alice Matsunaga (GEACE), Sueli Maria (GEADE), Marcos Batista (GEADE) e Roberto Zambon (GEADE) pela preocupação e apoio.

RESUMO

ANÁLISE DE UMA REDE ADEQUADA PARA MONITORAÇÃO E CONTROLE DE ENERGIA NA AUTOMAÇÃO PREDIAL

A automação de sistemas prediais é um assunto de interesse acadêmico e comercial que apresenta crescimento gradual há algumas décadas. Profissionais da área de Informática, bem como os de automação e controle necessitam de conhecimentos específicos e domínio das tecnologias para atuar neste segmento do mercado.

O estudo da economia de energia, que é um tema abordado pela Engenharia Elétrica, sendo o motivo do desenvolvimento deste trabalho, tendo como base tanto as diferentes soluções que existem no mercado quanto aos meios de comunicação utilizados nas redes de integração dos dispositivos para a monitoração e o controle de energia.

Devido às trocas de mensagem entre o computador supervisor e os demais equipamentos que compõe uma rede de automação predial, surge como objetivo geral o estudo e a comparação dos protocolos específicos, meio físico e softwares que compõe uma rede de automação e controle adequada com soluções existentes no mercado.

O objetivo específico é medir o desempenho da rede apresentada nesta dissertação verificando como os dispositivos conseguem transmitir e receber mensagens com o propósito de avaliar possíveis falhas quanto à transferência dos pacotes na comunicação e como essa comunicação é realizada.

A pesquisa feita mostra as necessidades e preocupações que estabelecimentos comerciais consideram prioritários à automação e integração dos equipamentos instalados nas suas dependências para a economia de energia. A comparação e o estudo dos protocolos de rede desenvolvidos para a automação e controle e as diferentes arquiteturas de rede, possibilitam avaliar as características de transmissão de mensagens que afetam o bom desempenho da rede ou de uma aplicação.

Com os resultados apresentados, é possível medir e analisar a eficiência e desempenho da rede proposta no que diz respeito ao custo, à confiabilidade, ao tempo de resposta, à velocidade, ao desempenho, entre outros aspectos.

A idéia é que a partir da comparação realizada, a proposta de uma solução baseada em protocolos de comunicação simples e abertos sejam utilizados e desenvolvidos para controladoras de sensores de presença e de temperatura de forma inteligente.

O objetivo de pesquisar os quesitos relacionados a custo, retardo de acesso, transmissão, transferência e de performance são parâmetros para a comparação na utilização do protocolo KMD se ele assegura um retardo de transferência baixo, a velocidade e a taxa de erro, de forma a não provocar a saturação no tráfego de mensagens na rede KMC.

A instalação piloto utilizada no experimento é formada por um protótipo que se encontra no LAVSI e tem como objetivo o estudo do desempenho e funcionalidade da rede KMC, desenvolvido com os componentes básicos de *hardware*, *software* e dispositivos para enviar e receber mensagens das controladoras e do computador supervisor.

Os resultados iniciais da análise do protocolo sugerem e definem o grau de confiabilidade na transferência dos dados e a adequação comercial deste protótipo.

ABSTRACT

ANALYSIS OF AN ADEQUATE NETWORK FOR MONITORING AND ENERGY CONTROL IN BUILDING AUTOMATION

The automation of building systems is an academic question and commercial that has its growth of gradual has some decades. Professionals of Computer science, as well as the ones of automation and control need the knowledge and domain of the technologies to act in this segment of the market.

The study of the energy saving, that is a subject into of Electric Engineering, it was the reason of the development of this subject, having as base the different solutions to the devices for the monitoring and the control of energy.

A due to the exchanges of message between the supervisory computer and the too much equipment that a network of building automation composes, it appears as objective general the study and the comparison of the specific protocols, environment and softwares that it composes a network of automation and control adjusted with existing solutions in the market.

The specific objective is to measure the performance of the net presented in this subject being verified as the devices manage to transmit and to receive messages with the purpose to evaluate possible failure how much to the transference of the packages in the communication and as this communication is carried through.

The done research shows to the necessities and concerns that commercial establishments consider with priority to the automation and integration of the equipment installed in its dependences for the energy saving. The comparison and the study of the developed protocols of net for the automation and have controlled and the different architectures of network, make possible to evaluate the characteristics of transmission of messages that affect the good performance of the network or an application.

It is possible to measure and to analyze the efficiency and performance of the net proposal in that it says respect to the cost, the trustworthiness, the time of reply, the speed, to the

performance, among others aspects. The idea is that from the carried through comparison, the proposal of a solution based on protocols of simple and opened communication is used and developed for controllers of presence's sensors and temperature of intelligent form.

The objective to search the related questions the cost, retardation of access, transmission, transference and of performance are parameters for the comparison in the use of protocol KMD if it assures a low retardation of transference, the speed and the tax of error, form not to provoke the saturation in the traffic of messages in net KMC.

The installation pilot used in the experiment is formed by an archetype that if finds in the LAVSI and has as objective the performance's study functionality of KMC network, developed with the basic components of the hardware, software and devices to send and to receive messages from the controllers and the supervisory computer.

The initial results of the protocol's analysis suggest and define the degree of trustworthiness in the transference of the data and the commercial adequacy of this archetype.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - MEIO FÍSICO PARA REDES DE AUTOMAÇÃO PREDIAL	3
2.1 BARRAMENTO RS485.....	3
2.1.1 Característica do padrão RS485	5
2.2 BARRAMENTO RS232.....	6
2.3 COMPARAÇÃO DO PADRÃO RS232 E RS485	7
2.4 REDE POWERLINE	7
3 - PROTOCOLOS DE REDE DE AUTOMAÇÃO PREDIAL	10
3.1 PROTOCOLO MODBUS.....	11
3.2 PROTOCOLO INSTABUS	13
3.3 PROTOCOLO PROFIBUS	14
3.4 PROTOCOLO BACNET.....	17
4 - GERENCIAMENTO DE REDE E AUTOMAÇÃO PREDIAL	20
4.1 GERENCIAMENTO DE REDE	21
4.2 AUTOMAÇÃO PREDIAL	22
4.2.1 Histórico	25
4.2.2 Necessidades comerciais para a economia de energia.....	30
4.3 SISTEMAS OPERACIONAIS DE REDES E O MODELO OSI.....	32
5 - MONITORAÇÃO E CONTROLE DO FLUXO DE DADOS EM UMA REDE DE AUTOMAÇÃO PREDIAL	33
5.1 MOTIVAÇÃO.....	33
5.2 CONDICIONAMENTO DE AR.....	34
5.3 PROJETO DE REDE KMC PARA AUTOMAÇÃO PREDIAL	36
5.3.1 Componentes de hardware do projeto.....	37
5.3.2 Software de Automação e Controle	39
5.3.3 O Protocolo da rede KMC.....	41
6 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA REDE	44
6.1 CUSTO	47
6.2 RETARDO DE ACESSO.....	48
6.3 RETARDO DE TRANSMISSÃO.....	48
6.4 RETARDO DE TRANSFERÊNCIA	48
6.5 TESTES DE PERFORMANCE:	48
6.5.1 Paridade.....	50
6.5.2 CRC.....	50
7 - RESULTADOS.....	53
7.1 OBJETIVO DA ANÁLISE	53
7.2 REQUISITOS DA ANÁLISE	54
7.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO	56
7.4 CONCLUSÃO DA ANÁLISE DO DESEMPENHO	58

8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	60
8.1 CONCLUSÕES GERAIS	60
8.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	61
APÊNDICE A - DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS NO SOFTWARE WINCONTROL PARA A CONFIGURAÇÃO DAS VARIÁVEIS.	65
APÊNDICE B - LINHAS DE CÓDIGO PARA A CONTROLADORA AR1.....	66
APÊNDICE C - LINHAS DE CÓDIGO PARA A CONTROLADORA AR2.....	67
APÊNDICE D - LINHAS DE CÓDIGO PARA A CONTROLADORA AR3.....	68
APÊNDICE E - TABELAS MEDIDAS NOS EXPERIMENTOS	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre RS232 e RS485.....	7
Tabela 3.1 - Protocolos MODBUS e o modelo ISO/OSI.....	12
Tabela 4.1 - Utilização da automação predial.....	24
Tabela 5.1 – Relação de atraso com taxa de transmissão.....	42
Tabela E.1 - Pacotes com 1 Controladora (AR1) em 30s à taxa de 19200 bps.....	69
Tabela E.2 - Pacotes com 2 Controladoras (AR1 e AR2) em 30s à taxa de 19200 bps.....	69
Tabela E.3 - Pacotes com 3 Controladoras (AR1, AR2 e AR3) em 30s à taxa de 19200 bps. .	70
Tabela E.4 - Pacotes com apenas 1 Controladora (AR1) em 30s à taxa de 38400 bps.....	70
Tabela E.5 - Pacotes com 2 Controladoras (AR1 e AR2) em 30s à taxa de 38400 bps.....	71
Tabela E.6 - Pacotes com Controladoras (AR1, AR2 e AR3) em 30s à taxa de 38400 bps.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Rede padrão RS485	5
Figura 2.2 - Rede padrão PLC	8
Figura 3.1- Modelo operacional mestre/escravo no ModBus.....	11
Figura 3.2 - Modelo de referência OSI e Profibus.	15
Figura 3.3 - Modelo mestre/escravo na arquitetura Profibus.....	16
Figura 4.1- Interoperabilidade na automação predial.....	23
Figura 4.2 - Três níveis funcionais de um Sistema de automação predial padrão.....	28
Figura 4.3 - Rede de automação e controle do Pátio Brasil Shopping	31
Figura 5.1- Maquete de automação predial em madeira.	34
Figura 5.2 - Supervisório de automação predial.	36
Figura 5.3 - Projeto da rede KMC.....	37
Figura 5.4 - Detalhamento da rede KMC.	38
Figura 5.5 - Termistor.....	38
Figura 5.6 - Conversor RS485 USB	39
Figura 5.7 - Controle básico de seqüência de scan.	40
Figura 5.8 - Tela de monitoração no WinCronrol.....	41
Figura 5.9 - Pacote do protocolo KMD.....	43
Figura 6.1 - Tela do <i>Sniffer Serial Monitor</i> com pacotes da Rede KMC.....	46
Figura 7.1 - Tela de captura de pacotes para a análise.	53
Figura 7.2 - Latência dos pacotes com 1, 2 e 3 controladoras.....	55
Figura 7.3 - Tempo médio de duração da transmissão completa da mensagem.....	55
Figura 7.4 - Quantidade de pacotes com 1, 2 e 3 controladoras.....	56
Figura 7.4 - Gráfico de utilização do Circuito de Transmissão.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURA E ABREVIACÕES

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigeration an Air-conditioning Engineers</i>
BAS	<i>Building Automation Systems</i>
BUS	Barramento
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CFTV	Circuito Fechado de TV
CIB	<i>International Council for Building Research Studies and Documnetation</i>
COPEL	Companhia de Energia Elétrica do Paraná
CRC	<i>Cyclic Redundance Checks</i>
EIA	<i>Eletronic Industry Association</i>
ELETROPAULO	Eletricidade de São Paulo
IEC	<i>International Electrotechnical Commision</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KMC	<i>KMC Controls</i>
KMD	Protocolo de Comunicação
LAVSI	Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PC	<i>Personal computer</i>
PLC	<i>Power Line Communications</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
RS	<i>Recommended Standard</i>
SCADA	<i>Supervisory, Control and Data Acquisition System</i>
STP	<i>Shielded Twisted Pairs</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pairs</i>

1 - INTRODUÇÃO

A economia de energia é atualmente um assunto de grande interesse, tanto pelos aspectos econômicos, como também pelo desafio acadêmico. Como uma das conseqüências do apagão de 2001, a população preocupa-se com a sobrecarga de energia provocada pelo consumo não coordenado de equipamentos de informática, eletrodomésticos, eletroeletrônicos, aparelhos de ar condicionados e outros (Veja, 2001).

Esta dissertação de mestrado investiga alternativas que visam a economia de energia, preocupando-se com aspectos econômicos para a população brasileira. Em destaque o setor empresarial que têm gastos volumosos com equipamentos de ar-condicionado. Verifica-se que o maior desperdício de energia está diretamente associada ao fato de não existir um controle integrado que possa gerenciar o consumo de energia.

A automação predial desenvolve recursos que podem gerir o consumo desnecessário de energia não percebido, uma vez que a quantidade ou ausência de pessoas em uma sala, bem como a disposição dos aparelhos em relação ao sol são parâmetros que influem no consumo de energia.

Este projeto de pesquisa visa o estudo de uma arquitetura mestre/escravo que possibilita o controle dos equipamentos, bem como suas variáveis de entrada e saída regulando a intensidade dos aparelhos de ar condicionado de acordo com a temperatura e a quantidade de pessoas no ambiente. Este tipo de arquitetura de rede de comunicação permite a interligação de um sistema supervisor que coordena controladores para desempenhar funções específicas.

A metodologia que foi aplicada para monitorar e registrar a passagem de dados entre as interfaces de rede instaladas no computador, através da porta de comunicação foi a utilização de um *sniffer* que é um programa que permite coletar os dados para a avaliação de detalhes úteis para solução de problemas em rede e verificação do que está contido numa comunicação.

Especificadamente, o que foi verificado no estudo proposto foi o modo de transmissão dos pacotes na rede avaliada, que será de rede KMC para melhor compreensão, nos quesitos

de velocidade, custo e desempenho da funcionalidade do computador supervisor para com as controladoras.

O objetivo de verificar os quesitos relacionados à custo, atraso de acesso, atraso de transmissão, de transferência e o desempenho são para verificar dentre os protocolos na automação predial que são objetos de pesquisa deste trabalho, comparar a utilização do protocolo proposto se ele assegura um retardo de transferência baixo, a velocidade e a taxa de erro, de forma a não provocar a saturação no tráfego de mensagens na rede KMC.

A motivação original desta dissertação foi o projeto de um sistema térmico de automação predial, desenvolvido para representar a realidade estrutural de um ambiente comercial. A maquete original foi construída em escala reduzida, em madeira, composta por diversas salas de escritório, e está localizada no LAVSI (Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes) da UnB.

2 - MEIO FÍSICO PARA REDES DE AUTOMAÇÃO PREDIAL

Um canal de comunicação é um caminho através do qual a informação pode trafegar. Ela pode ser uma linha física (fio) que conecta dispositivos de comunicação, ou por ondas de rádio, *laser*, ou outra fonte de energia irradiante.

Em comunicação digital, a informação é representada por *bits* de dados individuais, que podem ser encapsulados em mensagens de vários *bits*. Um *byte* (conjunto de 8 bits) é um exemplo de uma unidade de mensagem que pode trafegar através de um canal digital de comunicações. Uma coleção de *bytes* pode ser agrupada em um quadro ou outra unidade de mensagem de maior nível. Esses múltiplos níveis de encapsulamento facilitam o reconhecimento de mensagens e interconexões de dados complexos (Lopez, 2000).

Um canal no qual a direção de transmissão é inalterada é referido como canal *simplex*. Por exemplo, uma estação de rádio é um canal *simplex* porque ela sempre transmite o sinal para os ouvintes e nunca é permitida a transmissão inversa.

Um canal *half-duplex* é um canal físico simples no qual a direção pode ser revertida. As mensagens podem fluir nas duas direções, mas nunca ao mesmo tempo. Em uma chamada telefônica, uma parte fala enquanto a outra escuta. Depois de uma pausa, a outra parte fala e a primeira escuta. Falar simultaneamente resulta em sons que não podem ser compreendidos.

Um canal *full-duplex* permite que mensagens sejam trocadas simultaneamente em ambas as direções. Ele pode ser visto como dois canais *simplex*, um canal direto e um canal reverso, conectados nos mesmos pontos.

2.1 BARRAMENTO RS485

O padrão RS485 foi desenvolvido em convênio entre a EIA (*Electronic Industries Association*) e a TIA (*Telecommunications Industry Association*). O prefixo “RS” significa “*Recommended Standard*”. Posteriormente todas as normas com prefixo “RS” foram renomeadas usando o prefixo “EIA/TIA”, porém o uso consagrou o nome RS485 (Lopez, 2000).

O padrão RS485 especifica um tipo de transmissão de dados bidirecional (tipo *half-duplex*). É o único padrão EIA/TIA que permite múltiplos receptores e drivers numa configuração de barramento. No barramento RS485 todos os nós podem receber dados e responder.

Num barramento RS485 um único nó deve ser definido como mestre. Normalmente o mestre é um PC ou computador hospedeiro de um sistema supervisorio. O mestre controla todo o fluxo de dados, da seguinte maneira:

- Cada elemento do barramento (escravo ou o mestre) possui um número de identificação que serve como endereço.
- Todos os nós ficam sempre escutando o barramento.
- Em qualquer situação em que o barramento não esteja em uso, o mestre pode tomar conta dele.
- Os nós (escravos) somente podem se apoderar do barramento mediante solicitação do mestre (ou seja, caso sejam endereçadas solicitações a eles).
- Quando o barramento não está em uso ele deve ser deixado livre para início de alguma transmissão

Quando o mestre deseja “falar” com algum ponto da rede ele toma conta do barramento e envia:

- O endereço do ponto a ser contatado.
- Um comando que diga ao ponto endereçado o que ele deve fazer.
- Dados ou parâmetros que complementem a execução do comando.
- Dados de controle que permitam ao ponto receptor confirmar que a mensagem foi recebida sem erro.
- Neste instante o mestre volta a deixar o barramento livre para uma nova transmissão.

O escravo que foi anteriormente endereçado pode agora tomar conta do barramento e enviar:

- O endereço do ponto a ser contatado (normalmente é o mestre mas não necessariamente precisa ser).
- Um comando ou dados e parâmetros condizentes com o que foi solicitado pelo mestre.
- Dados de controle que permitam ao ponto receptor confirmar que a mensagem foi recebida sem erro.

Por meio deste modelo, o escravo não pode tomar conta do barramento sem ser solicitado (inquirido) pelo mestre. O mestre deve ficar então continuamente endereçando todos pontos da rede para verificar se algum ponto possui informação útil para responder. A este tipo de varredura dá-se o nome de “scan”.

Os dispositivos devem ser conectados como mostrado na figura 2.1. A conexão entre os dispositivos escravos e o mestre é feita por meio de uma interface que converte os sinais do padrão RS485 para RS232 que são facilmente encontrados neste tipo de arquitetura.

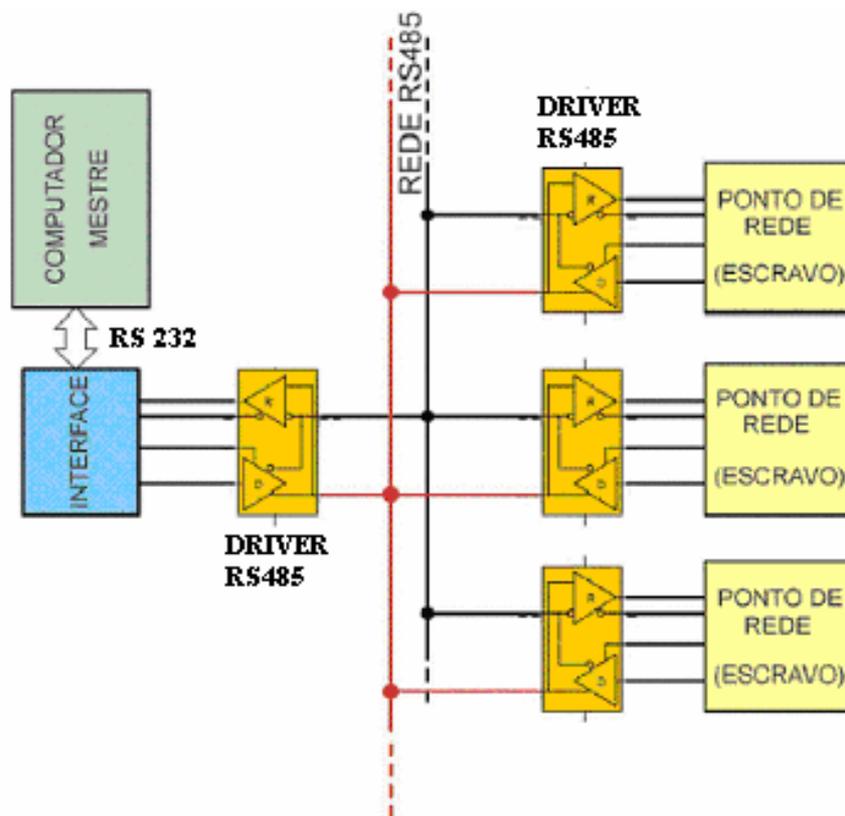


Figura 2.1 - Rede padrão RS485

2.1.1 Característica do padrão RS485

A rede RS485 possui sinais de comunicação Tx+/Rx- ou Tx-/RX+, sendo o Tx aquele que envia e o Rx o que recebe. O modo de transmissão é por diferencial elétrico. Pode utilizar outros sinais para controle. O número máximo de equipamentos em uma conexão de barramento único é de 32 ou mais equipamentos dependendo do *driver* utilizado. A distância máxima é de até 1200 metros para o ultimo ponto.

2.2 BARRAMENTO RS232

No início dos anos 60 a comunicação de dados compreendia a troca de dados digitais entre um computador central (*mainframe*) e terminais de computador remotos, ou entre dois terminais sem o envolvimento do computador. Estes dispositivos poderiam ser conectados por meio de linha telefônica, e conseqüentemente necessitavam um modem em cada lado para fazer a decodificação dos sinais.

Dessas idéias nasceu o padrão RS232. Ele especifica as tensões, temporizações e funções dos sinais, um protocolo para troca de informações, e as conexões mecânicas. A mais de 30 anos desde que essa padronização foi desenvolvida, a EIA publicou três modificações. A mais recente, EIA232E, foi introduzida em 1991. Ao lado da mudança de nome de RS232 para EIA232, algumas linhas de sinais foram renomeadas e várias linhas novas foram definidas (Campbell, 1986).

Embora tenha sofrido poucas alterações, muitos fabricantes adotaram diversas soluções mais simplificadas que tornaram impossível a simplificação da padronização proposta. As maiores dificuldades encontradas pelos usuários na utilização da interface RS232 incluem pelo menos um dos seguintes fatores:

- A ausência ou conexão errada de sinais de controle resulta em estouro do buffer (“*overflow*”) ou travamento da comunicação.
- Dependendo do protocolo, a função incorreta de comunicação para o cabo em uso, resulta em inversão das linhas de Transmissão e Recepção, bem como a inversão de uma ou mais linhas de controle (“*handshaking*”).

2.2.1 Característica do padrão RS232

A RS232 possui dois sinais de comunicação sendo o Tx aquele que envia e o Rx o que recebe. O nível do diferencial binário é comparado com a tensão do terceiro sinal GND. Há outros sinais que podem ser utilizados para controle do fluxo e dos pontos da comunicação. A desvantagem deste tipo de solução é que numa conexão ponto a ponto o número máximo de equipamentos que podem ser interligados são dois e a distância máxima é de 50 metros.

2.3 COMPARAÇÃO DO PADRÃO RS232 E RS485

Com a crescente necessidade das redes implementadas em escritórios e residências trocarem informações com outras redes, a necessidade de se utilizar um conversor de protocolo para grandes distâncias foi observado e desenvolvido, com isso ganha-se maior velocidade de comunicação, e uma rede mais robusta (imune aos ruídos eletromagnéticos) e, para tanto, o protocolo RS485 é o protocolo elétrico mais utilizado em redes Fieldbuses – interligação dos dispositivos em rede serial utilizando a comunicação digital. A tabela 2.1 compara os padrões RS232 e RS485 (Lopez, 2000).

Tabela 2.1 – Comparação entre RS232 e RS485.

Especificações	Padrão RS232	Padrão RS485
Modo de operação	Ponto a ponto	Multiponto
Tipo de transmissão	Full-duplex	Half-duplex
Nº total de <i>Drivers</i> e <i>Receivers</i>	1 <i>Drivers</i> e 1 <i>Receivers</i>	1 <i>Drivers</i> e 32 ou mais <i>Receivers</i>
Comprimento máximo da rede	50 metros	1200 metros
Taxa de transmissão	20 kbps	10 Mbps

2.4 REDE POWERLINE

A tecnologia PLC - *Power Line Communications* não pode ser considerada uma nova tecnologia, pois desde o início do século XX as redes elétricas têm sido utilizadas pelas empresas de energia elétrica para suportar serviços de telecomunicações em usos internos. Exemplo desta utilização é a transmissão de voz em linhas de alta tensão, permitindo a comunicação entre pessoas situadas nas usinas geradoras e nas diversas subestações. Esta tecnologia também tem sido, a longo tempo, utilizada para telemedição alarmes e telecomandos. Estas aplicações eram caracterizadas pela largura de faixa estreita que utilizavam, trabalhando com frequências, sobre as linhas de energia, entre 3KHz e 148,5kHz (Hrasnica, Haidine, Lehnert, 2004).

Nos últimos anos um grande esforço tem sido realizado para a produção de tecnologia que permita a utilização da rede elétrica para a transmissão de dados em rede elétrica. Este esforço inclui o desenvolvimento de equipamentos para a rede de acesso, tanto em baixa quanta em média tensão, além de equipamentos a serem utilizados dentro das instalações do usuário.

Existem experiências sendo realizadas em todo o mundo, inclusive no Brasil, que já provaram a robustez da tecnologia PLC. Adicionalmente, as empresas de energia elétrica

pretendem aproveitar a disponibilidade da rede elétrica nas instalações de seus usuários, para introduzir uma série de melhorias na gerência da rede e do comportamento dos consumidores, sendo a medição remota do consumo a mais evidente de todas (Hrasnica, Haidine, Lehnert, 2004).

O sinal PLC é transmitido sobre os fios de cobre (ou alumínio) das redes de distribuição de baixa e média tensão. A transmissão de sinais de comunicação sobre as linhas de corrente alternada torna-se difícil por diversos fatores, dentre eles:

- As características topológicas das linhas de distribuição de energia elétrica (linhas abertas, de características não lineares, a existência de derivações ao longo de toda a linha, os transformadores, etc).
- Existência de ruídos e interferências não previsíveis, causadas pela abertura e fechamento de circuitos, aparelhos conectados às tomadas, etc.
- Problemas de segurança de dados pelo compartilhamento dos mesmos circuitos entre diversos consumidores.
- Irradiações das frequências transmitidas em linhas abertas, sem nenhum tipo de blindagem, com um enorme potencial de interferência com sistemas que operam nas mesmas frequências, em bandas licenciadas ou não, no espaço aberto.

Como não existem ainda padronizações na tecnologia PLC, a figura 2.2 apresenta uma aplicação típica da tecnologia PLC.

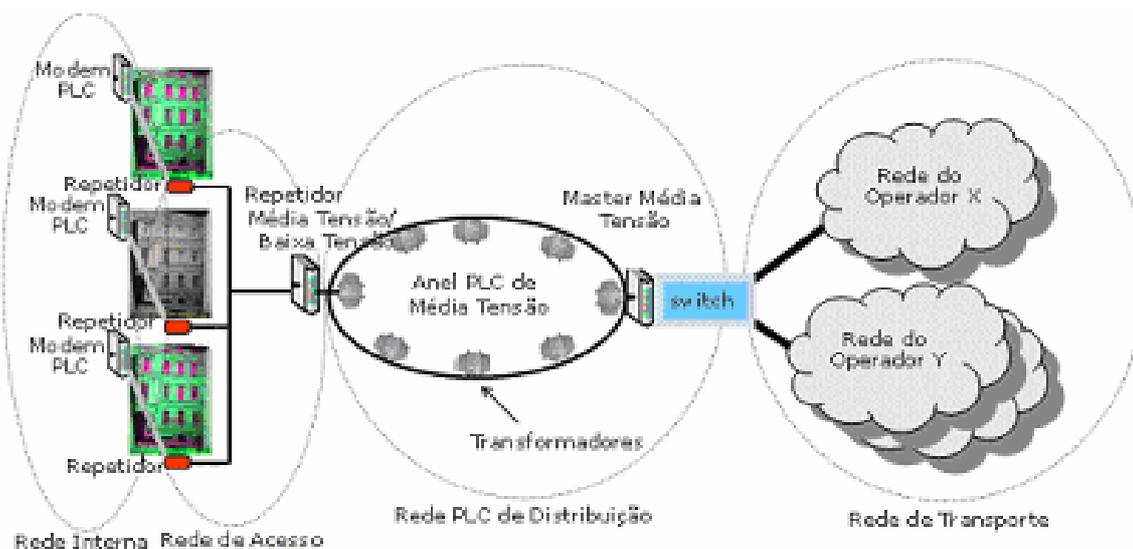


Figura 2.2 - Rede padrão PLC

A implementação da PLC no Brasil está sendo avaliada por companhias de energia como CEMIG de Minas Gerais, COPEL do Paraná e a ELETROPAULO de São Paulo, utilizando a própria rede elétrica para distribuir, transmitir dados e comunicação por linhas elétricas (Shwehdi, Khan, 1996).

O grande desafio na implantação da PLC é a adaptação de suas condições ao sistema elétrico brasileiro, na Europa e nos Estados Unidos, a rede é subterrânea, ou seja, sofre menos interferências do meio ambiente.

A topologia da rede será a mesma da usada para distribuição de energia elétrica, tornando cada tomada um ponto potencial para transmissão de dados, transformando desta maneira a rede elétrica de prédios e residências em uma verdadeira LAN.

O Padrão da PLC está baseado no conceito de "aproveitamento da rede elétrica". A conveniência é até mesmo mais óbvia neste caso porque enquanto nem todo cômodo tiver um telefone para conectar, sempre terá uma saída elétrica perto de um computador. Com a PLC, conectam-se computadores um ao outro pelas tomadas.

Por não requerer nenhuma instalação elétrica nova, a rede PLC não soma nenhum custo à conta elétrica. PLC é, sem dúvida, o método mais barato de conectar computadores em um condomínio.

3 - PROTOCOLOS DE REDE DE AUTOMAÇÃO PREDIAL

Definido o meio físico para conexão dos equipamentos, deve-se analisar qual protocolo será utilizado (Botic, 1979). Para que o sistema seja passível de ampliações futuras, é importante que sejam utilizados protocolos abertos. Antes de citar e comentar sobre alguns protocolos, cabe ressaltar algumas observações sobre eles:

- Protocolos não automatizam sistemas, apenas movem dados;
- Não executam as tarefas dos aplicativos;
- Protocolos são ferramentas do desenvolvedor de produtos;
- Não existe um padrão global;
- Vários padrões competem entre si.

Dentre os protocolos para redes de automação e controle prediais, destacam-se (Lopez, 2000) : BACnet; CAB; EIB; WorldFID; CEBus; FND; LonTalk/LonMark; N2Open; Optomux; Profibus; Batibus; Modbus, etc.

Vários protocolos são admitidos em um sistema aberto à integração. Dentre os citados anteriormente, o BACnet e o Modbus são os mais difundidos no Brasil (Porto, 2002). O protocolo BACnet sobre RS485 é um pouco mais antigo e exige a interligação por rede coaxial. Já o Modbus é utilizado em redes seriais, geralmente RS485 por causa do alcance. Em redes de par trançado, o mais difundido é o TCP/IP. A Siemens lançou no mercado um “sistema” conhecido como *Instabus*. É uma solução muito interessante que engloba diversos sistemas (até persianas verticais), com baixo consumo de energia, sem necessidade de definição de topologia de rede, mas com um custo elevado (Porto, 2002).

Fieldbuses são sistemas de comunicação predial que usam o cabo de cobre, fibras ópticas ou transmissão sem fio, com a transmissão *bit-serial* distribuindo informações aos dispositivos acoplados (sensores, atuadores, *drives*, transdutores, etc) para um controle central ou sistema de gerenciamento. A tecnologia Fieldbus foi desenvolvida nos anos 80 com o objetivo de aumentar a produtividade e flexibilidade de processos de automação comparados com a tecnologia convencional e criar pré-requisitos para a configuração dos sistemas de automação distribuídos (Lopez, 2000).

3.1 PROTOCOLO MODBUS

Modbus é um protocolo de mensagens da camada de aplicação, posicionado no nível 7 do modelo OSI (*Open Systems Interconnection*), que fornece uma comunicação mestre/escravo entre os dispositivos conectados por tipos diferentes de barramentos ou de redes. Esse padrão está sendo desenvolvido desde 1979 e permite que milhões de dispositivos de automação comuniquem-se. O estudo e desenvolvimento do Modbus continuam com o seu crescimento até os dias de hoje (Modbus, 2004).

O Modbus é um protocolo de pedido e resposta que oferece os serviços especificados por função de códigos transmitidas por meio de funções. Na utilização do protocolo Modbus os dados são transmitidos por meio da porta serial ocorrendo no nível 2 do modelo de OSI.

Numa comunicação do tipo mestre/escravo, um nó (o nó mestre) envia comandos a um nó escravo que processa o comando e envia as respostas. Um nó escravo não transmitirá dados na rede sem um pedido do nó mestre, e não se comunicam com outros escravos. A figura 3.1 ilustra o modelo de comunicação do protocolo Modbus.

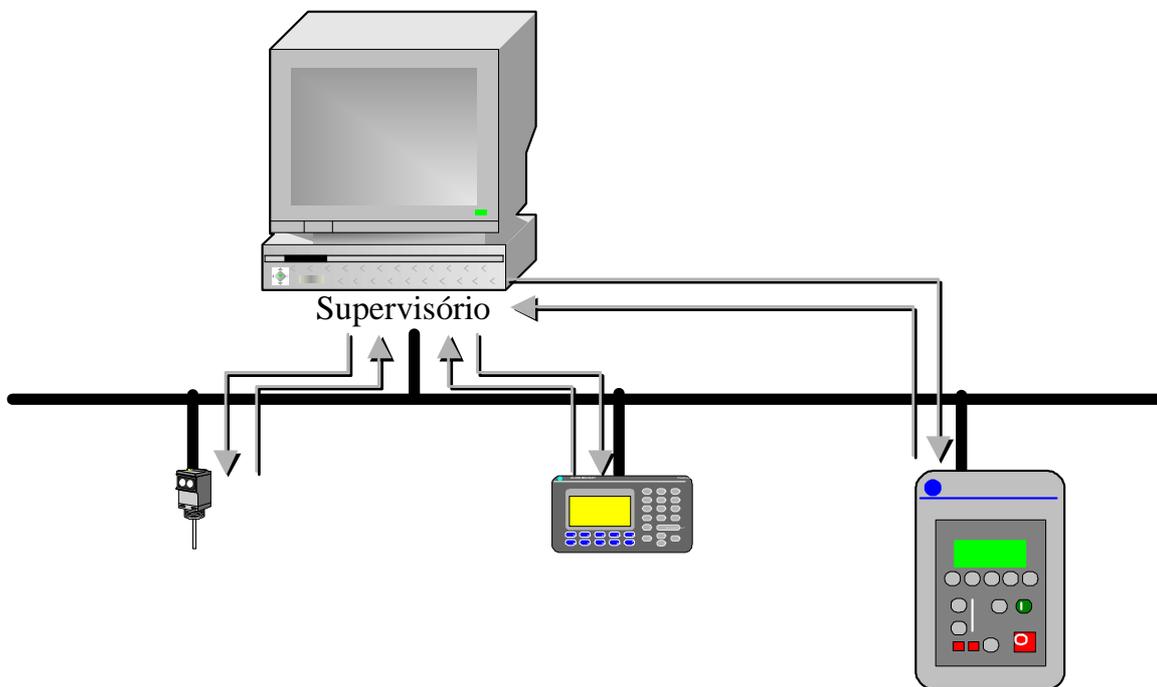


Figura 3.1- Modelo operacional mestre/escravo no ModBus.

O modelo OSI é um modelo de referência importante para a arquitetura de redes. Esse modelo é baseado em uma proposta desenvolvida pela ISO (International Standards

Organization) como um primeiro passo na direção da padronização internacional dos protocolos usados nas diversas camadas, tratando da interconexão de sistemas abertos à comunicação com outros sistemas. A Tabela 3.1 compara a utilização das camadas de rede pelo protocolo Modbus comparado ao modelo de referência OSI que define os elementos, estruturas e tarefas requeridas pela comunicação e ordenadas em sete camadas (Lopez, 2000)

Tabela 3.1 - Protocolos MODBUS e o modelo ISO/OSI

Camada	Modelo ISO/OSI	Utilização
7	Aplicação	Protocolo de Aplicação ModBus
6	Apresentação	Vazia
5	Sessão	Vazia
4	Transporte	Vazia
3	Rede	Vazia
2	Link de dados	Protocolo Serial ModBus
1	Física	EIA/TIA

Os controladores programáveis podem comunicar-se com outros dispositivos de redes. O modo serial do protocolo ModBus define uma estrutura de mensagem que os controladores irão reconhecer e usar, e como irá se comunicar na rede. Descreve como um controlador pedirá acesso a um outro dispositivo, como responderá aos pedidos dos outros dispositivos, e como os erros serão detectados e relatados (Modbus, 2002).

O protocolo Modbus fornece o padrão interno que os controladores usam transmitir e analisar as mensagens. Durante comunicações em uma rede serial do Modbus, o protocolo determina o endereço do dispositivo ao qual será destinada a mensagem, reconhece uma mensagem dirigida a ele, determina o tipo da ação a ser feita ou examinada, e extrai todos os dados e informações contidas na mensagem. Se uma resposta for requerida, o controlador captará a resposta da mensagem e a enviará usando o protocolo Modbus.

Em diferentes tipos de redes seriais, as mensagens que contêm o protocolo Modbus são encaixadas na estrutura do *frame* ou do pacote que é usada na rede.

A interface no nível físico mais comum utilizado pelo protocolo ModBus é o padrão RS485 e RS232, sendo que o TIA/EIA-485 (RS485) é o padrão mais comum.

Quando um padrão RS 232C é definido para utilização, define-se a forma de utilização na configuração dos pinos nos conectores, o tipo de cabeamento, os níveis do sinal, as taxas de transmissão, e verificação de paridade.

Os controladores comunicam-se usando o modelo mestre/escravo, no qual somente um dispositivo (o mestre) pode iniciar transações (perguntas). Os outros dispositivos (os escravos) respondem fornecendo os dados pedidos pelo mestre, ou fazendo a ação pedida na requisição. Os dispositivos mestres realizam as transmissões de mudança de valor de variáveis e realizam a programação nos controladores.

O mestre pode dirigir-se aos escravos de forma individual, ou pode iniciar uma mensagem de transmissão a todos os escravos. Os escravos retornam uma mensagem (resposta) às requisições que lhes são dirigidas individualmente.

O protocolo Modbus estabelece o formato para a requisição do mestre encapsulando o endereço do dispositivo (ou de broadcast), um código de função que define a ação solicitada, todos os dados a serem emitidos e um campo de checagem de erro. A mensagem de resposta do escravo também é construída também usando o protocolo Modbus, contendo os campos que confirmam a ação feita, todos os dados a serem retornados e um campo de checagem de erro. Se um erro ocorrer no recebimento da mensagem, ou se o escravo for incapaz de executar a ação pedida, o escravo construirá uma mensagem de erro e a enviará como resposta.

3.2 PROTOCOLO INSTABUS

A técnica para instalações elétricas Instabus representa uma proposta nova para o controle automatizado das instalações elétricas residenciais e comerciais - hotéis, auditórios, escritórios, clínicas, etc.

O controle completo de funções como iluminação, persianas, climatização, irrigação, sensores e aparelhos domésticos é de fácil utilização e totalmente integrado. Tudo acessado por controle remoto, celular, painel, Internet e, inclusive, por comando de voz.

Com o gerenciamento dos equipamentos eletro-eletrônicos, uma solução como o Instabus pode reduzir significativamente os custos relativos ao desperdício da energia, preservando o meio ambiente. Projetos inteligentes com o objetivo de controle e monitoração dos dispositivos controladores numa rede proporciona conforto, economia e segurança para as instalações e facilidade nas mudanças quando necessárias.

3.3 PROTOCOLO PROFIBUS

A capacidade de comunicação dos dispositivos e subsistemas e a metodologia consistente da informação são componentes indispensáveis dos conceitos de automação futuros. Profibus com sua interface de baixo e alto nível oferece condições ideais de rede em todas as áreas dos processos de produção (Profibus, 2002).

Hoje, Profibus é usado em todas as áreas da automação, em automação industrial e processos de automação, como também em engenharia de comunicação, geração e distribuição de energia.

O protocolo Profibus tem funções específicas do processo de comunicação utilizando as camadas correspondentes ao modelo OSI descritas na figura 3.2. Se um determinado protocolo não utiliza alguma das camadas do modelo de referência OSI, essas camadas são passadas despercebidas. Profibus usa as camadas 1, 2, 6 e 7 do referido modelo.

Transmissor	Receptor	Designação e Funções das Camadas	
7	7	Camada de aplicação	Interface para o programa de aplicação com comandos (ler, escrever)
6	6	Camada de apresentação	Representação (codificação) dos dados para análise da representação na próxima camada
5	5	Camada de sessão	Estabelece e limpa conexões de estações temporárias e sincroniza o processo de comunicação
4	4	Camada de transporte	Controla a transmissão dos dados da camada 5 (erros de transporte)
3	3	Camada de rede	Estabelece e limpa conexões, disponibilizando tráfego quando existe congestão na rede
2	2	Camada de Link de dados	Descreve o acesso ao protocolo de transmissão incluindo a segurança dos dados
1	1	Camada Física	Define o hardware para transmissão, codificando a velocidade e a transmissão dos dados
Meio de Transmissão			

Figura 3.2 - Modelo de referência OSI e Profibus.

Os meios de transmissão da comunicação definem como duas ou mais estações trocam dados usando quadros de mensagem. Um quadro de dados contém diferentes campos de mensagem e controle de informação. O campo de dados atual é precedido por informação do *header* (endereço de origem e destino e detalhes da mensagem subsequente) e seguido pela parte de dados de segurança contendo a checagem da informação para que a transmissão seja feita de forma correta.

Controle de Acesso BUS (MAC, Medium Access Control) é um procedimento específico que determina o instante que uma estação pode enviar dados. Enquanto estações ativas podem iniciar a troca de informações, estações passivas podem somente iniciar comunicação quando acionada por uma estação ativa.

Profibus é um sistema de comunicação aberto, digital, com larga estala de aplicações larga para utilização na automação industrial e processos de automação. Baseado na padronização internacional IEC 61158 e IEC 61784.

A história do Profibus é associada a um projeto pelas autoridades públicas em 1987 na Alemanha. Vinte e uma companhias e institutos juntaram forças e criaram as estratégias para o projeto Profibus. O objetivo foi a realização e estabelecimento de um Fieldbus *bit*-serial, a exigência básica da qual foi a padronização dessa interface.

Hoje o Profibus é o *Fieldbus* líder de mercado do mundo com mais de 20% de utilização, aproximadamente 500.000 aplicações equipadas e mais de 5 milhões de nós. Há mais de 2000 produtos de Profibus disponíveis de uma larga escala de fabricantes (Profibus, 2002).

Profibus tem um design modular e oferece tecnologia em comunicação, numerosas aplicações e ferramentas de gerenciamento de dispositivos no processo de automação. O modelo de referencia ISO/OSI, camada física define o método da transmissão “física” de dados. Esse protocolo usa mais comumente a transmissão via RS485. Profibus fornece diferentes versões da camada física como uma específica tecnologia de transmissão.

O protocolo de acesso BUS camada 2 ou camada de *link* de dados, define o procedimento mestre/escravo e o procedimento *token passing*. As tarefas da camada 2 incluem funções, como a de segurança de dados a manipulação dos quadros de dados. A figura 3.3 mostra a camada monitorando a passagem do *token* para os dispositivos interligados (Lopez, 2000).

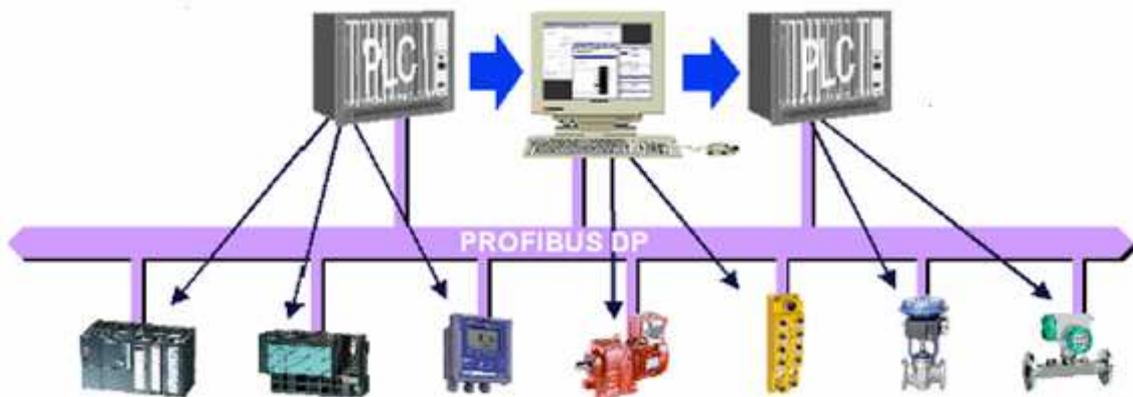


Figura 3.3 - Modelo mestre/escravo na arquitetura Profibus

A camada de aplicação, camada 7, define a forma de interface com o usuário para os programas de aplicação. Oferece vários serviços cíclicos e acíclicos de troca de dados.

Por ser um protocolo aberto, determinadas aplicações podem adaptar suas características distintas por meio de *profiles* no Profibus. Os *profiles* do Profibus são as especificações definidas pelos desenvolvedores para usuários que especificam as propriedades e as características do desempenho e comportamento dos dispositivos e dos sistemas.

Especificações de *profiles* definem os parâmetros e comportamentos dos dispositivos e sistemas que pertencem a uma família de perfil, que facilitam a interoperabilidade entre os dispositivos, e trocas de mensagens entre si.

Os fatores que influenciam para que o Profibus seja o líder de mercado é determinado por:

- Profibus oferece uma tecnologia aberta para operadores e desenvolvedores;
- Profibus é um dos recursos utilizados para redução dos custos;
- Profibus tem consistentemente expandido sua área de aplicação, suprindo as demandas de campos de aplicação específicos como as aplicações industriais, assegurando-lhes um ótimo suporte.
- Profibus tem uma ótima integração em muitas automatizações para os usuários devido a sua aceitação total e uso difundido.

Profibus é ideal para um pequeno/médio número de dispositivos. No caso de uma grande quantidade de dispositivos, é recomendada uma implementação individual disponível para os componentes tecnológicos.

O tipo de implementação depende da complexidade do dispositivo, da performance e funcionalidade requerida, como: implementação de escravos simples, implementação de escravos inteligentes e implementação de mestres complexos.

3.4 PROTOCOLO BACNET

Existem muitos estudos para padronizar o uso de protocolos de redes na automação predial. O BACnet – Rede de Automação e Controle Predial, por exemplo, é comumente usado para se referir ao padrão adotado e homologado pelo *American National Standards Institute* – ANSI e pela *American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers* – ASHRAE, que em 1995 publicaram um protocolo de comunicação de dados para automação predial e controle de redes chamado BACnet. Este protocolo foi aprovado pela ISO em Janeiro de 2003. O BACnet foi desenvolvido com o objetivo de integrar diferentes protocolos em redes de diferentes fabricantes. Recentemente estudiosos começaram a pesquisar sobre o uso desta tecnologia via WEB (Haakenstad, 1999).

BACnet é um protocolo aberto, utilizado por desenvolvedores, usuários e gerenciadores prediais. Este protocolo tem como premissas identificar o tipo de componentes utilizados

na automação predial compartilhados na rede, como serão comunicados, e o tipo de comunicação que pode ser usada e como as informações recebidas dos componentes serão interpretadas. Por agregar interoperabilidade na sua estrutura, o BACnet define a metodologia que cada sistema controlado, independente do fabricante, poderá trabalhar integrado aos demais.

Todos os esforços estão sendo direcionados para o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento inteligente de rede que inclua principalmente as facilidades nas funções de gerenciamento de energia, por meio de monitoração remota. As arquiteturas de gerenciamento inteligente estruturado são desenvolvidas para coordenar a base de dados de uma rede, os problemas de aplicação, tomada de decisão e funções de monitoração remota. Um procedimento de monitoração inteligente em rede de automação predial deve incluir a monitoração e controle do serviço de energia.

Uma rede de gerenciamento inteligente de energia tem como propósito prover a informação em tempo real para usuários de uma companhia de energia. O processamento de dados e as tomadas de decisão inteligentes podem servir como uma infra-estrutura para uma plataforma de monitoração de consumo. O design da arquitetura do BACnet tem como propósito a integração da rede de monitoração de energia na Internet, possibilitando o administrador da rede ou sistema implementar o controle remoto e o gerenciamento da rede. A estrutura desenvolvida para o BACnet é o multiprotocolo que permite a integração com o TCP/IP, NetBEUI ou IPX.

Os objetos no protocolo BACnet contêm atributos que são adaptados a cada funcionalidade do objeto e seus estados. Por exemplo, um dispositivo de medição de energia contém a informação do nome do dispositivo, localização, dados da medição, ou seja “atributos” do objeto. O BACnet possui 18 objetos, cada um com sua funcionalidade determinada.

O serviço oferecido pelo BACnet tem a função de obter os dados de outros dispositivos, comandá-los e informar alguns eventos de um ou mais dispositivos. A comunicação entre o protocolo e os dispositivos conectados na rede é da forma solicitação e resposta, compreendendo: alarme, acesso aos objetos, acesso a arquivos, gerenciamento remoto de dispositivos, serviços virtuais e segurança (Hsiao-Yi, H., In al 2004).

As comunicações do BACnet entre os dispositivos são simplificadas usando a criação e descarte dos objetos que servem a um tipo específico de tarefa. O modelo de transporte remoto de dados é usado para enviar os dados de um objeto específico para a destinação requisitada. Por exemplo, no caso do controle de temperatura do ar condicionado, o dispositivo requisitante pode ser um sensor de temperatura que envia um comando para o dispositivo controlador de temperatura do ar condicionado.

No modelo de comunicação serial é usado para acessar e controlar os dados do dispositivo que estão acoplados ao computador supervisor via comunicação serial. Isso é possível quando simplesmente um usuário remotamente envia um comando, por exemplo, para desligar um aparelho de ar condicionado. O usuário acessa o sistema supervisor SCADA para verificar a identificação do dispositivo que quer aplicar a ação e envia o comando específico. O sistema recebe o comando e o analisa, com relação à base de dados do servidor, escolhendo em seguida o dispositivo configurado com a identificação informada para ação em tempo real usando o protocolo BACnet

4 - GERENCIAMENTO DE REDE E AUTOMAÇÃO PREDIAL

As redes foram concebidas, inicialmente, como um meio de compartilhar dispositivos periféricos mais caros como impressoras, *modems*, painéis, etc. Entretanto, à medida que as redes crescem, os dispositivos menores tornam-se integrados. As redes passaram a fazer parte do cotidiano dos usuários como uma ferramenta que oferece recursos e serviços que permitem a interação e o aumento de produtividade (Brito, 1993).

Considerando este quadro, torna-se cada vez mais necessário a gerência do ambiente de redes de automação predial por meio do SCADA para manter todo este ambiente funcionando de uma melhor forma. A gerência em redes de automação predial torna-se tarefa complexa em boa parte por conseqüência do crescimento acelerado das mesmas e tanto em desempenho e suporte a um grande conjunto de serviços. Além disso, os sistemas de controle, parte componente das redes também adicionam complexidade a estas redes e estarão cada vez mais presentes, mesmo em pequenas instalações (Lopez, 2000).

Estes conjuntos de componentes (e os problemas associados) somente poderão ser gerenciados se uma estrutura bem definida for seguida. Admitindo-se que as ferramentas para gerência não abrangem toda a gama de problemas de uma rede de automação e controle, se faz necessário que outros mecanismos de gerência sejam utilizados para suprir suas carências mais evidentes.

As informações que circulam em uma rede devem ser transportadas de modo confiável e rápido. Para que isso aconteça é importante que os dados sejam monitorados de maneira que os problemas que porventura possam existir sejam resolvidos na medida do possível. Uma rede sem mecanismos de gerência pode apresentar problemas como congestionamento do tráfego, recursos mal utilizados, recursos sobrecarregados, problemas com segurança e outros.

4.1 GERENCIAMENTO DE REDE

A gerência está associada ao controle de atividades e ao monitoração do uso de recursos da rede de dispositivos. As tarefas básicas da gerência em redes, simplificada, são obter informações da rede, tratar estas informações, possibilitando um diagnóstico, e encaminhar as soluções dos problemas. Para cumprir estes objetivos, funções de gerência devem ser embutidas nos diversos componentes de uma rede, possibilitando descobrir, prever e reagir a problemas (Tanenbaum, 1997).

Para resolver os problemas associados a gerência em redes a ISO através do OSI propôs três modelos:

a) O modelo organizacional estabelece a hierarquia entre sistemas de gerência em um domínio de gerência, dividindo o ambiente a ser gerenciado em vários domínios.

b) O Modelo informacional define os objetos de gerência, as relações e as operações sobre esses objetos. Uma MIB (Management Information Base) é necessária para armazenar os objetos gerenciados.

c) O modelo funcional descreve as funcionalidades de gerência: gerência de falhas, gerência de configuração, gerência de desempenho, gerência de contabilidade e gerência de segurança (Lopez, 2000). Gerenciamento de falhas compreende um conjunto de facilidades que habilitam a detecção, o isolamento e a correção de operações anormais no ambiente de rede gerenciado. Gerenciamento de contabilização compreende um conjunto de facilidades que permitem a apropriação dos custos e a tarifação em decorrência da utilização dos objetos gerenciados. Gerenciamento de configuração tem como função controlar e monitorar as condições do ambiente de rede, identificando e ocasionando mudanças no estado dos objetos gerenciados. Gerenciamento de desempenho oferece um conjunto de funções para medir, monitorar, avaliar e relatar os níveis de desempenho alcançados pela rede. Gerenciamento de segurança trata de questões relacionadas a garantir a política de segurança definida para rede, além de cuidar da segurança do próprio gerenciamento.

4.2 AUTOMAÇÃO PREDIAL

A automação nasceu da necessidade de otimização do controle de processos industriais e máquinas tecnológicas, visando implementar produtividade e qualidade nos procedimentos anteriormente executados somente pelo trabalho humano.

O objetivo de trazer para o ambiente comercial todos os benefícios que automação dos processos pode proporcionar resultou, há décadas, no estudo e elaboração de soluções para a automação e controle de energia - é aí que surge a automação predial, levando aos ambientes de trabalho, dentre outras coisas, melhores índices de conforto, segurança e o consumo de energia apropriado. O sistema de automação predial tem ganhado grande destaque nos últimos anos. Muitos resultados têm sido obtidos por meio das pesquisas realizadas nesta área. A automação predial iniciou pesquisas que inclui a junção da Tecnologia de Redes e a Inteligência Artificial, onde uma base de dados pode ser usada para monitoração e detecção de algum mau funcionamento.

Hoje a tecnologia evoluiu e concentra esforços para integração dos sistemas, buscando a intercomunicação de controles isolados, trasladando as informações interdisciplinares necessárias e centralizando o gerenciamento de todo o complexo.

Tudo isto aliado à confiabilidade nos sistemas, face à larga experiência acumulada em anos de desenvolvimento tecnológico e ao sucesso pleno obtido nas suas execuções, fazem com que a automação predial, deixe de ser um diferencial, passando a ser uma necessidade exigida pelo mercado.

A supervisão e o controle integrado é mostrado na figura 4.1.



Figura 4.1- Interoperabilidade na automação predial.

O computador é o principal recurso da automação, não especificamente os famosos PC's, mas sim os controladores lógicos programáveis. Estes equipamentos são instalados na área próxima ao sistema que será automatizado. Neles estão contidos softwares (programas) que serão responsáveis pela realização dos comandos necessários. Estes fazem a leitura por meio de sensores instalados nos sistemas e executam as tarefas de controle.

Podem, também, ser estabelecidos alarmes automáticos para qualquer anormalidade em níveis preestabelecidos de conforto, segurança, consumo. Além disto, toda esta monitoração pode ser local (no próprio prédio) ou remoto (em qualquer lugar do mundo);

Tabela 4.1 - Utilização da automação predial

Sistemas de iluminação	Ativação do sistema de iluminação com horário marcado ou de acordo com a presença de pessoas ou com os níveis de iluminação variável durante o dia.
Ar condicionado, aquecimento e exaustão	Programação de ligação horária, controle do conforto ambiental completo, monitoração da operação, etc.
Segurança eletrônica	Implementação de dispositivos de segurança patrimonial e contra incêndio. Além da monitoração, uma série de medidas pode ser acionada automaticamente como no início de um sinistro.
Utilidades	Acompanhamento e controle do consumo de energia elétrica, água, gás, etc.
Monitoração	Leitura do estado de todas as cargas, dos níveis de conforto do ambiente (temperatura, umidade, CO ₂ , etc.), condições de segurança. Assim, através de um computador instalado em qualquer local, pode-se verificar se todos os sistemas estão trabalhando adequadamente.

A utilização da automação predial é descrita na tabela 4.1 que mostra os campos de atuação atualmente e conseqüentemente o resultado é a conservação de energia por meio da melhor precisão no sistema de comando com uso da eletrônica e automação dos procedimentos eliminando desta forma os desperdícios. Além disto, rotinas de tarefas e novos métodos de controle permitem processos mais eficientes.

O conforto ambiental com a otimização das rotinas de controle e o aumento da precisão do sistema resulta em melhores adequações climáticas por causa dos tempos de resposta, o que proporciona a manutenção dos ambientes dentre parâmetros melhor controlados.

Com toda sua instalação a supervisão predial pode ser resumida na tela de um PC (*on-line*), com telas gráficas, alarmes e relatórios emitidos e arquivados automaticamente. Isto constitui poderosa ferramenta para diagnose preventiva e corretiva de problemas. A operação, o controle dos sistemas e a visualização de defeitos passam a ser automáticos, ficando independentes de falha humana.

O termo “Prédios Inteligente” foi usado pela primeira vez nos Estados Unidos em Washington no início dos anos 80, que a princípio tinha a seguinte definição: “Prédio inteligente é aquele que integra vários sistemas para efetivamente gerenciar recursos em um modo coordenado para maximizar: performance, investimentos, operações e flexibilidade” (Li-Chen, Fu and Teng-Jei, Shih, 2000).

A ênfase da automação predial é na integração de vários sistemas que são agregados aos prédios como: Sistema de segurança, sistema de controle de acesso, sistema de monitoramento de energia, etc. Tradicionalmente esses sistemas eram operados de forma individual e tinham seus próprios controladores e protocolos de comunicação, que em prédios modernos, tornavam-se muito caros e complexos.

A primeira geração de prédios inteligente tentou resolver esses problemas por desenvolverem controladores únicos por estabelecer protocolos de automação predial como o BACnet, que pode acomodar controle distribuído e aberto num mesmo ambiente.

Uma outra definição para Prédios Inteligentes, foi dada pelo grupo de trabalho “W98” na CIB (International Council for Building Research Studies and Documnetation): “Um prédio inteligente é uma arquitetura dinâmica que fornece a todos os ocupantes as condições de ambiente aprovadas através da interação contínua entre os quatros elementos básicos: lugares (fabricação, estrutura e facilidade), processos (automação, controle, sistemas), pessoas (serviços, usuários) e gerenciamento (manutenção, performance)” (Snoonian, 2003).

4.2.1 Histórico

Nos anos recentes, a integração de sistemas prediais como: refrigeração, ventilação, ar condicionado, iluminação, brigada de incêndio, e segurança têm provado que é economicamente vantajoso quando há interação entre os sistemas (Wong, 1997).

Houve uma expansão geral na construção industrial depois da segunda guerra mundial. O desejo de melhorar o conforto interno dos novos prédios resultou em sistemas mecânicos mais complexos. O impacto disso foi o desenvolvimento de melhores sistemas de controle de temperatura.

Controles pneumáticos e interruptores elétricos eram instalados em todos os lugares enquanto em número excessivo de painéis era instalado perto das áreas de controle dos equipamentos. Era necessária a disponibilidade humana para a operação e monitoração dos sistemas e leitura de registros.

Nos anos 50, a introdução de sensores de transmissão local e sinal remoto permitiu que o controlador, com um controle remoto óptico, pudesse fazer algum ajuste. Com isso, o número de painéis de controle foram transferidos para um único lugar como uma sala de controle. A miniaturização resultou na redução do tamanho físico dos instrumentos.

Nos anos 60, as companhias de automação predial ajudaram no desenvolvimento de novas tecnologias. Sistemas multiplexadores eletromecânicos, resultaram na redução dos custos de instalação e manutenção. O painel do centro de controle foi transformado num console de centro de controle. Indicadores digitais comercializados foram disponibilizados num console central de controle para permitir a gravação automatizada de parâmetros selecionados durante condições não usuais e fornecerem informações de parâmetros selecionados. Temperatura, fluxo, pressão e outros equipamentos foram monitorados num console. O primeiro centro de controle computadorizado na automação predial foi produzido no final dos anos 60 e a comunicação foi feita por cabo coaxial ou par trançado.

O uso de microcomputadores e controladores lógicos programáveis (PLCs) em sistemas de automação predial aumentou drasticamente devido ao embargo de óleo de 1973. Um novo termo: Sistema de Gerenciamento de Energia (SGE) foi derivado e trazido a padronização controlando os folhetos de vendas dos fabricantes. Novos pacotes de aplicação de softwares foram incorporados em seus sistemas básicos de automação: controle de demandas, liga e desliga, temperatura ótima e controle de dia/noite. Adicionalmente, sistemas de incêndio e de segurança foram emergindo nos sistemas de automação predial. O prédio proprietário do sistema poderia estar diretamente em contato com o sistema mantendo-se a par do uso e do custo da energia. Esta nova ferramenta ajudou no gerenciamento à medida que possibilitava comparações dos custos. Na metade da década de setenta, os custos do *hardware* trouxeram diminuição no uso dessas ferramentas. Entretanto, os sistemas de automação tornaram-se abertos, permitindo que fossem realizadas novas programações e geração de uma nova base de dados para o mesmo sistema.

Nos anos 80, com o início da utilização dos computadores pessoais (PCs) revolucionou-se a indústria de controle. O custo mais baixo dos *chips* foi a principal causa do desenvolvimento de novas tecnologias na automação predial e gerenciamento de energia. O resultado da rápida mudança motivou os fabricantes a acoplar à pesquisa o investimento em desenvolvimento de hardware e software.

Um típico sistema de automação predial surgiu nos anos noventa: o Metasys da Johnson Controles é usado como exemplo para ilustrar a estrutura básica, ambos em termos de configuração de hardware e de características do software, de um moderno BAS (Sistema de Automação Predial). Entretanto, algumas características descritas podem não estar disponíveis no Metasys, mas elas estão incluídas para uma visão geral: estrutura de *hardware* – a estrutura básica consiste de múltiplos painéis de controle programáveis, chamados de unidades de controle de rede e estações de trabalho que se comunicam entre si sobre uma rede de comunicação de alta velocidade. As estações de trabalho são normalmente um PC padrão. Cada unidade de controle gerencia uma área predial. Os controladores específicos de aplicação e as unidades de controle de rede fornecem controle automático de potencialidade de temperatura, ventilação e ar condicionado, gerenciamento de incêndio, controle de acesso e iluminação onde quer que seja preciso, fornecendo o máximo de tolerância à falha e confiabilidade. Quanto todos os controladores são conectados à rede, todas as partes da operação são interligadas para que a automação predial possa ter informações completas e consistentes sobre a entrada e saída dos dispositivos. Para o controle de temperatura são disponibilizadas algumas funcionalidades, a saber: controle constante de temperatura de água, controle de reinicialização, controle de ar condicionado, controle de temperatura, refrigeração, calefação, humidificação e controle de desumidificação.

Com a automação predial pode-se reduzir os custos de consumo de energia elétrica por meio ciclo liga/desliga dos dispositivos de ar condicionado, bem como os de ventilação, que conseguem identificar a demanda de consumo que é necessária e qual o período que deve ser acionada para aumentar e diminuir a potência de um determinado equipamento, mantendo as condições confortáveis dentro do prédio enquanto se está consumindo a quantidade necessária ou mínima de acordo com a temperatura externa.

A iluminação também é outro fator de suma importância, tendo em vista que consomem uma quantidade grande de energia. O controle de iluminação na ocupação/desocupação é programado de acordo com horários de ocupação do setor ou da área. Outra maneira de reduzir os custos associados com a iluminação é o controle de nível de iluminação em um prédio ou zonas do prédio.

Protocolos de rede da automação predial, conforme apresentado no capítulo 2 desta dissertação, prescrevem configuração de regras detalhadas e procedimentos que governam todos os aspectos da informação de uma comunicação. Todos esses sistemas trabalham com um nível de complexidade diferente, como mostrado na figura 4.2 o planejamento e definição desses níveis de serviços distintos: Nível 1 – efetivamente o nível mais baixo abrange os sensores, atuadores e sistemas controladores de iluminação. Nível 2 – vai da rede, incluindo os sistemas de automação predial até as estações operadoras e finalmente, nível 3 – indicado no computador supervisorio .

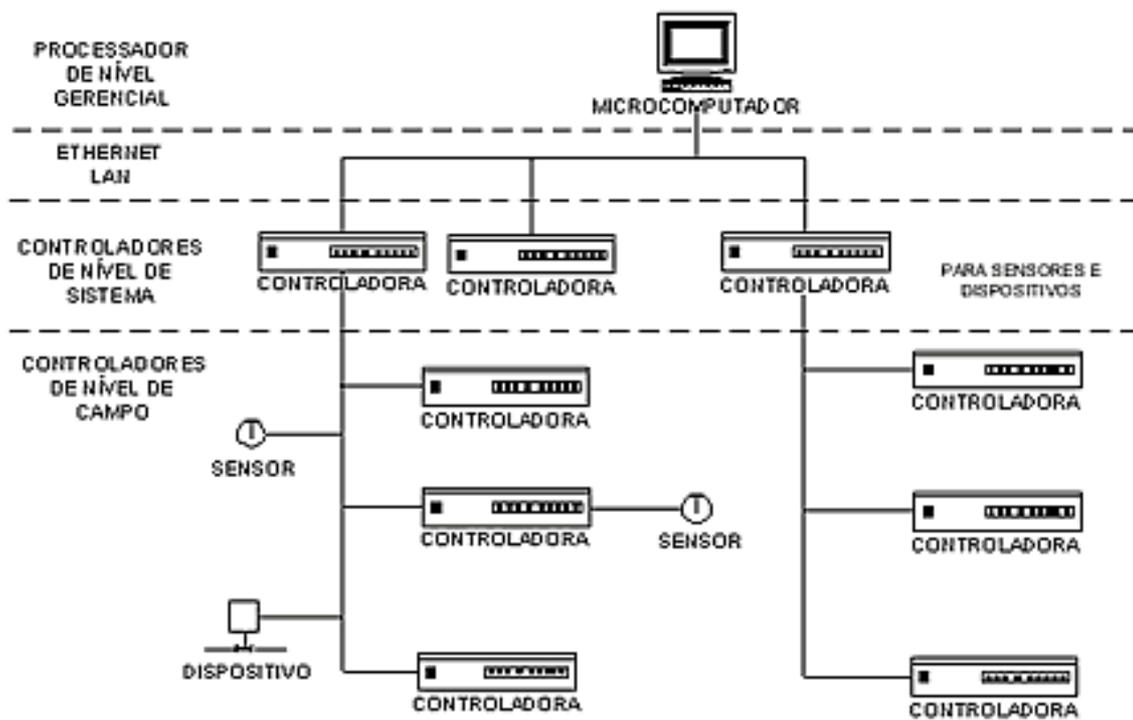


Figura 4.2 - Três níveis funcionais de um Sistema de automação predial padrão.

Os sistemas de automação predial disponíveis no mercado foram desenvolvidos em grande escala, para soluções industriais e comerciais. Existe uma forte tendência que os sistemas de automação predial sejam aplicados cada vez mais em edifícios e casas residenciais que

estarão equipadas com pequenos sistemas de automação predial para conforto humano, conveniência com a finalidade de economia de energia.

O critério de uma escolha correta de um sistema de automação predial deve levar em conta: o conceito de sistemas abertos que permitam que o usuário possa alterar as variáveis e linhas de código de acordo com as necessidades do sistema e interoperáveis com os demais componentes, bem como a utilização de protocolos abertos, interfaces de usuários abertas, opções de rede, acesso às informações e interoperabilidade com outros sistemas de automação predial. Hoje, a maioria dos avanços na automação predial tem o seu foco no desenvolvimento de novas soluções de softwares e hardwares (Lopez, 2000).

Pelo que tudo indica, a próxima geração de sistemas de controle provavelmente será estabelecida dentro dos parâmetros de confiabilidade de uma rede. Cada sistema operará de forma autônoma, mas terá a habilidade de interagir e compartilhar informações com qualquer outro sistema. Microcontroladores serão usados no prédio inteiro, interagindo com os sensores, podendo trabalhar de forma autônoma e ter a habilidade de autodiagnóstico.

Os algoritmos poderão ser desenvolvidos para o controle eficiente de energia com taxa de resposta rápida. Lógica *Fuzzy* e redes neurais poderão ser implementadas nos controladores como o objetivo de serem usados no controle de decisão inteligente nas taxas de energia e respostas imediatas (Azevedo, Brasil, Oliveira, 2000).

O conceito de SCADA (*Supervisory, Control and Data Acquisition System*) para a monitoração e controle já está disponível e incorporado no planejamento de um sistema de automação predial para o gerenciamento da rede. Monitoração em tempo real a uma distância considerável do prédio já é possível com a ajuda da Internet. Com esse sistema, um síndico pode ter todo o controle do edifício mesmo não estando fisicamente no centro de controle.

4.2.2 Necessidades comerciais para a economia de energia

As empresas e administradoras prediais, preocupadas com a economia de energia, controle inteligente e monitorado dos equipamentos prediais, estão investindo em soluções para a integração dos dispositivos de segurança, ar condicionado, iluminação, etc.

Os benefícios quanto à agilidade na implantação da automação predial em edifícios que buscam entrar na definição de “inteligentes” e a preocupação com os gastos desnecessários quanto ao atual modelo de gerenciamento predial são observados pela pesquisa de campo (Kolokotsa, Nikolaou, Stavrakakis, 2002).

O Shopping Pátio Brasil, localizado em Brasília, por ser um prédio novo e comercial, foi o lugar escolhido para verificar se existe alguma solução de automação e controle bem como o modelo de gerenciamento dos dispositivos daquele prédio. Foi observado que ainda não existe um gerenciamento central e automatizado no edifício, mas a integração de todos os dispositivos de controle predial e segurança está sendo objeto de estudo e avaliação com o objetivo de implantação o mais breve possível.

A administração do prédio contratou uma empresa em automação e controle para automatizar todos os sistemas e desenvolver um software SCADA para a monitoração e controle dos dispositivos. Dentre os sistemas que serão integrados numa mesma rede, estarão: A integração dos sistemas de CFTV que possibilitará o acesso das câmeras via Internet, *Smart Count* – contador de público, elevadores, escadas rolante, iluminação interna e externa, ar condicionado, central de músicas, águas pluviais e esgotos que atualmente são bombeados manualmente do subsolo da garagem, água potável, *sprinkler*, alarme de incêndio, geradores, etc.

Atualmente, segundo o supervisor de operações, todo o controle dos equipamentos é feito de forma individual. Estima-se que com a integração e monitoração de todos os equipamentos e dispositivos de monitoração e controle citados o custo de energia reduza em torno de 20%.

Os equipamentos serão acoplados numa rede física mista que permitirá a transmissão das mensagens entre os três computadores, conforme figura 4.3, três supervisórios da central

de controle e os controladores dos dispositivos estarão em rede, por meio de cabo coaxial, UTP, STP e serial. O protocolo que está sendo desenvolvido pela empresa responsável será capaz de realizar a conexão e permitir troca de mensagem em toda a rede.

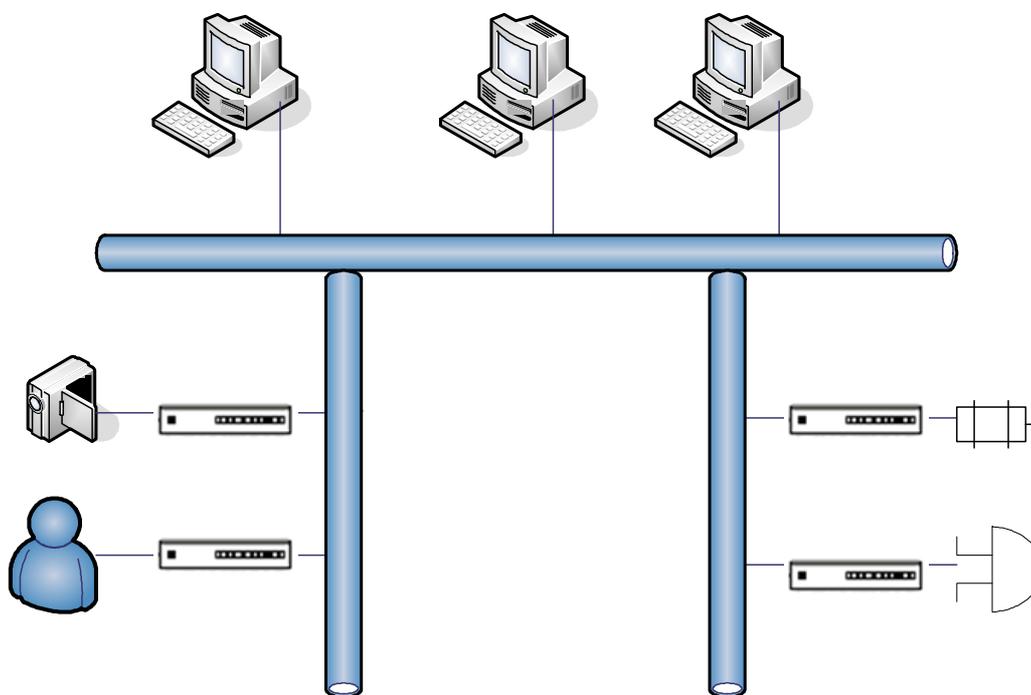


Figura 4.3 - Rede de automação e controle do Pátio Brasil Shopping

Com essa mudança de estrutura e interligação de todos os dispositivos, os resultados serão imediatos sendo percebido na flexibilidade e possibilidade de alteração das características operacionais de sistemas por mudanças nos softwares que enviarão e receberão as variáveis de entrada e saída, tornando possíveis alterações substanciais nas maneiras de funcionamento com baixo custo.

Como o comando e acionamento de sistemas elétricos através do uso da microeletrônica e eletrônica de potência, minimiza as possibilidades de interferência física entre as diversas instalações, além da precisão de resposta, onde os sistemas eletrônicos implementando uma tecnologia *feedback*, permite maior precisão e confirmação das ações, resultando em eficiência energética, qualidade do produto final, conforto, entre outros.

A utilização das ferramentas de teleinformática (interfaces micro processadoras, métodos computacionais e redes de dados), proporciona o total gerenciamento das instalações através de computadores.

4.3 SISTEMAS OPERACIONAIS DE REDES E O MODELO OSI

Para que uma estação possa operar em uma rede de computadores são necessários recursos de *hardware* e *software* para complementarem a funcionalidade dos dispositivos e seu sistema operacional local. Em uma rede local, o *hardware* adicional necessário se constitui, em geral, em uma placa ou conversor de interface de rede e do *driver* de dispositivo que controla seu funcionamento. O *software* adicional, que é definido como sistema operacional de rede engloba os seguintes componentes: um conjunto de módulos com aplicações mestre/escravo de uso geral com implementações de protocolos de comunicação. O controle da placa de rede é realizado pelo *driver* de dispositivo que se comunica com o sistema operacional da rede através de uma interface bem definida (Soares, 1997).

Uma placa de interface ou conversor de rede é responsável pela conexão do dispositivo de *hardware* da estação ao meio físico de transmissão e, conseqüentemente, pela transmissão e recepção dos sinais que trafegam no meio físico. Usualmente, nas placas de rede são armazenados e executados os algoritmos que disciplinam o acesso ao meio de transmissão. Assim, em um conversor estão as funções dos níveis físicos e de controle de acesso ao meio.

Nos *drivers* de um protocolo ficam os códigos de função de comunicação para os dispositivos e a estação supervisória na estação. Os *drivers* de protocolo definem a interface usada pelas aplicações distribuídas para intercâmbio de dados.

Os protocolos e as aplicações mestre/escravo utilizam os *drivers* de protocolo de transporte para intercambiar dados através da rede. Toda interação entre um mestre e um escravo consiste em usar seqüência bem definida de troca de mensagens que transportam requisições de serviços e respostas. A troca de mensagens é transparente para os usuários que utilizam os serviços da rede, quer através do redirecionamento, quer através de utilitários fornecidos com o sistema operacional de rede.

5 - MONITORAÇÃO E CONTROLE DO FLUXO DE DADOS EM UMA REDE DE AUTOMAÇÃO PREDIAL

Com o estudo das topologias de rede e soluções existentes no mercado utilizadas para a automação e controle, dentre as mais usuais com os meios físicos e protocolos já mencionados nos capítulos anteriores, este trabalho propõe o estudo do fluxo de dados de um protótipo de rede de automação e controle de aparelhos de ar condicionado com o objetivo de racionalizar energia.

Baseando na premissa que o condicionamento da temperatura é feito geralmente por meio de ar condicionado ou outra categoria de aparelhos disponíveis no mercado, estes sistemas podem ser adquiridos para fins de resfriamento de um determinado ambiente, ou vários ambientes simultaneamente. Geralmente estes ambientes são divididos em zonas de controle onde a temperatura, independentemente do tipo de aparelho utilizado, é ajustada conforme o desejo do cliente usuário daquela zona de forma manual. Motivado pela necessidade da informação precisa e em tempo real para automatização de ar condicionado, surgiu a preocupação de medir o tráfego das informações com o objetivo de avaliar e parametrizar o comportamento do protótipo dessa automação predial.

A adequação e a análise de uma rede só podem ser compreendidas se o tráfego dos pacotes enviados ou recebidos e a disponibilidade do meio de transmissão forem capturados e avaliados (Haugdahl, 2000). No protótipo, objeto deste estudo, as mensagens são transmitidas pelo programa supervisorio com requisições às controladoras e por meio dos sensores acoplados na rede, que transmitem as respostas das solicitações feitas pelo supervisorio, alterando suas variáveis de entrada e saída.

5.1 MOTIVAÇÃO

A motivação original desta dissertação foi o projeto de um sistema térmico de automação predial, desenvolvido para representar a realidade estrutural de um ambiente comercial. A maquete mostrada na figura 5.1 foi construída em escala reduzida, em madeira, composta por diversas salas de escritório, e está localizada no LAVSI (Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes) da UnB.



Figura 5.1- Maquete de automação predial em madeira.

5.2 CONDICIONAMENTO DE AR

No ambiente da figura 5.1, cada sala possui uma janela, posicionada estrategicamente nas paredes que as interligam com o ambiente externo sendo que todas elas possuem a mesma dimensão e estão à mesma altura do chão. Além das janelas cada sala possui pelo menos uma porta cuja função principal é de interligar todos os ambientes permitindo o fluxo de ar e calor entre eles (Santos, 2005).

O objetivo do desenvolvimento de um sistema de automação predial inteligente foi verificar a possibilidade da redução do consumo de energia em ambientes equipados com aparelhos de ar condicionado de janela.

O ambiente externo foi projetado para ser representado em forma de túneis isolados entre si por paredes, de forma que a temperatura nestes possa ser controlada de maneira independente. Esta característica em especial foi o objetivo principal daquele protótipo, por isso o motivo daquela configuração estrutural, o de capturar o ar de ambientes externos distintos e convertê-lo, retirando ou fornecendo calor deste, de forma que o ar no ambiente controlado por este atinja um valor de temperatura pré-selecionado.

A maquete possui duas tampas de vidro com duas de suas quinas chanfradas, de forma a permitir o contacto direto do ar nos túneis com o ambiente externo real. Além de permitir abertura ou fechamento manual de portas e janelas que fazem a interligação do ambiente externo com as salas de escritório.

O estudo do Controle Fuzzy para racionalização de energia em processo de condicionamento de ar foi a proposta do desenvolvimento do projeto de controle daquele sistema térmico. As variáveis relacionadas com o armazenamento e transporte de calor foram definidos e demonstrados que ocorrem simultaneamente: Condução, que só acontece na presença de matéria, ou seja, não há condução no vácuo, se existe gradiente de temperatura qualquer que o seja, haverá transferência de calor na rede partindo das moléculas mais quentes para as mais frias. Convecção, que quando uma parte mais quente está sendo misturada com uma parte mais fria, surgirão grandes gradientes de temperatura e o calor em excesso será dividido rapidamente à medida que aumentar a taxa de transferência de calor. E, por fim a radiação que é a movimentação térmica de partículas elementares que as faz emitir energia em forma de radiação eletromagnética, quanto mais alta é a temperatura maior é o movimento e mais intensa é a radiação.

A fim de possibilitar a interação direta do usuário com o sistema térmico real, a extração e armazenamento de dados importantes para a avaliação das estratégias de controle implementadas naquele trabalho, foi desenvolvida uma interface supervisória que pode ser visualizada na figura 5.2.

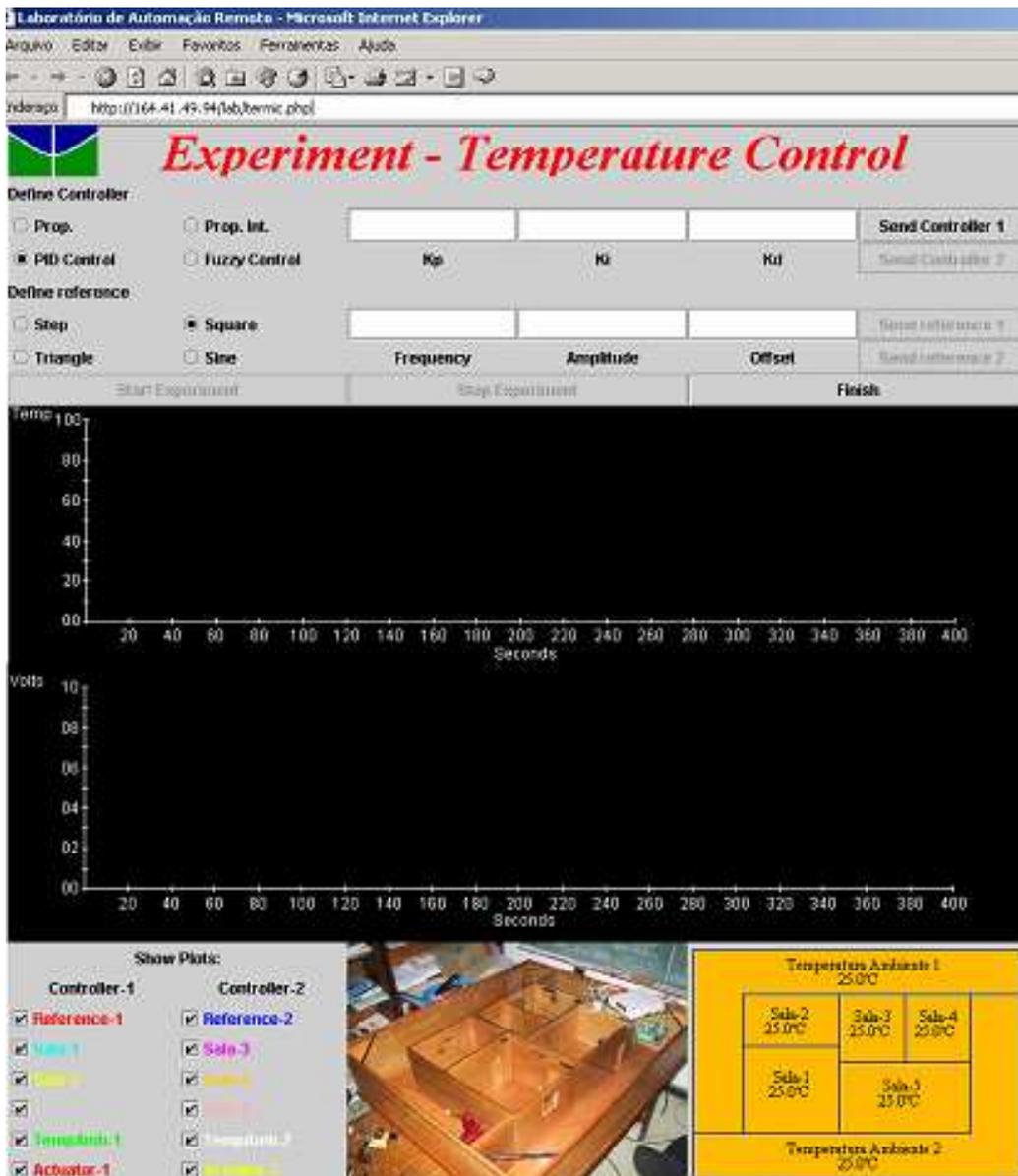


Figura 5.2 - Supervisório de automação predial.

5.3 PROJETO DE REDE KMC PARA AUTOMAÇÃO PREDIAL

A maioria dos projetos de automação predial envolve a utilização ou desenvolvimento de diversos dispositivos eletroeletrônicos e softwares. Estes dispositivos têm a função de controlar o sistema e possibilitar a visualização e monitoração das variáveis do processo.

A captura e análise dos dados, objeto de estudo desta dissertação, avaliou o comportamento da rede de automação predial KMC para o controle e monitoração da transmissão das mensagens em um sistema baseado em comunicação serial RS485.

5.3.1 Componentes de hardware do projeto

Para possibilitar o controle do processo térmico e detecção de presença, a figura 5.3 mostra que foram acoplados a tábuas de madeira de aproximadamente 25 cm², dispositivos eletroeletrônicos responsáveis pela medição e processamento das variáveis do processo, executando e monitorando as estratégias de controle estabelecidas na programação da controladora por meio do software supervisor.



Figura 5.3 - Projeto da rede KMC.

O projeto é composto, conforme mostrado na figura 5.4, de um microcomputador padrão, tipo PC, um conversor RS485/USB, do tipo KMD 5576, três controladoras KMD 7301 ligadas entre si por meio de uma rede de comunicação serial RS485, endereçadas do primeiro ao último ponto como: AR1, AR2 e AR3. Termistores e sensores de presença e movimento são utilizados para adquirirem as variáveis de entrada para o controle e monitoração.

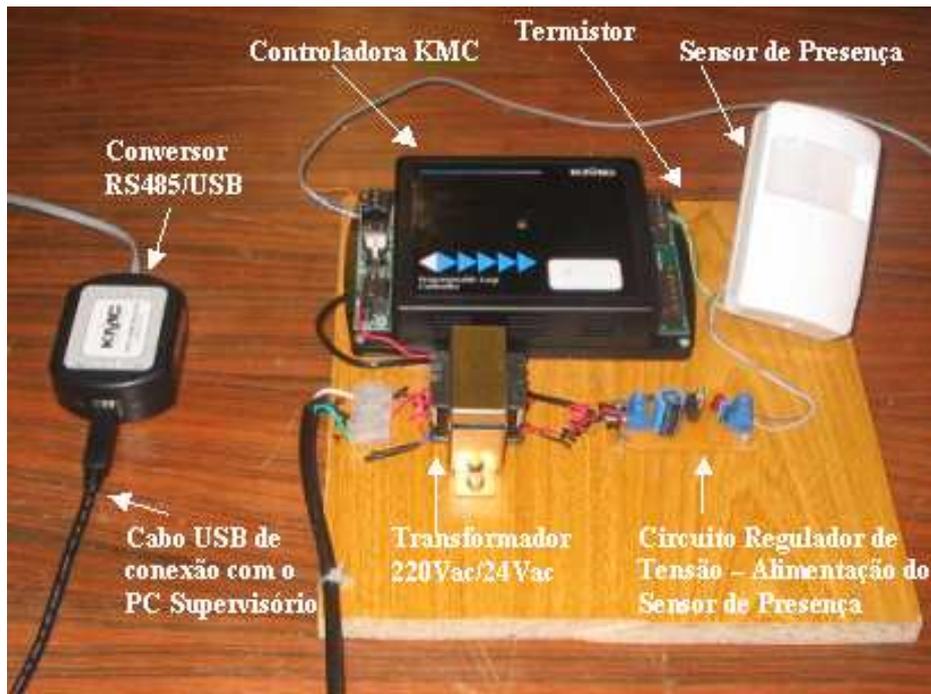


Figura 5.4 - Detalhamento da rede KMC.

Cada controladora possui acoplada às suas entradas um Termistor 2700Ω PTC (*Positive Temperature Coefficient*), mostrado na figura 5.5, que é uma resistência sensível que varia proporcionalmente à mudança de temperatura.



Figura 5.5 - Termistor

O sensor de presença e movimento capta as variações de infravermelho que passam pela tela frontal, refletida diretamente no detector. Por conter um circuito eletrônico que conta os pulsos da transmissão efetua o disparo em até 2 segundos ao ser acionado.

Um conversor RS485 USB foi utilizado para converter a rede RS485 para USB com o objetivo de permitir a comunicação entre o computador e a controladora KMD.



Figura 5.6 - Conversor RS485 USB

5.3.2 Software de Automação e Controle

O WinControl, da KMC, foi o software utilizado para programação da automação e controle das entradas e saídas da rede KMC. Esse sistema supervisório é o responsável por fazer a interface do processo de controle das variáveis de entrada e saída das controladoras e interface com o usuário, de forma visual gráfica e simples, permitindo subsídios de monitoração dessas variáveis para que este possa tanto monitorar as variáveis quanto interagir com o sistema através do envio de parâmetros de configuração. O protocolo utilizado para a troca de mensagens é do tipo proprietário e aberto. Esse padrão permite ao usuário da instalação especificar sua própria estratégia de modo a resolver os problemas de sistema e programação (Lopez, 2000).

As taxas de transferência disponíveis para a configuração pelo WinControl nas controladoras são os valores de 9600, 19200 e 38400 *bits* por segundo.

A programação básica de controle, que cria a automação em um controlador digital KMC, do software supervisório WinControl, é feita por meio de “*scans*”, ou seja, varreduras

periódicas dos programas. Cada controladora tem uma ou mais áreas de programa para armazenar e executar instruções básicas de controle. O microprocessador na controladora seqüencialmente lê as entradas, executa os programas básicos de controle e então determina as saídas. Este processo, descrito como *scan* é realizado algumas vezes por segundo. A figura 5.7 mostra o processo que a controladora realiza de varredura das cinco áreas de programação.

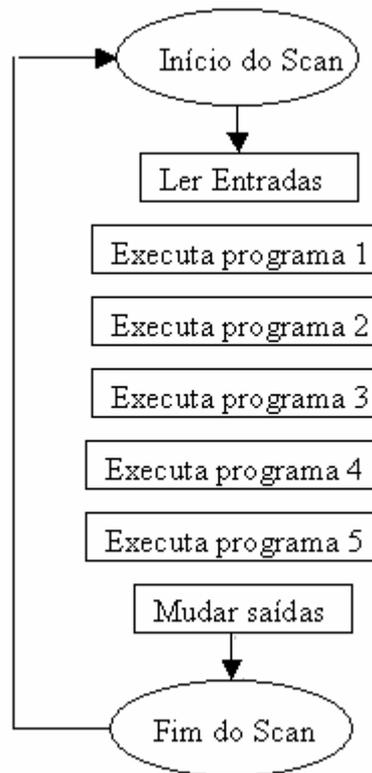


Figura 5.7 - Controle básico de seqüência de scan.

A controladora armazena todos os parâmetros definidos no console do WinControl, de forma que, se configurada corretamente, não é necessário que o software supervisorio esteja operacional para que a mesma realize os processos de controle dos equipamentos acoplados às suas funções.

Por causa da facilidade de programação da interface gráfica, é possível determinar a forma de exibição que as entradas e saídas das informações de monitoração e controle terão para o usuário. A seguir a figura 5.8 apresenta a tela supervisorio com os valores medidos pelos sensores de temperatura e as variáveis de ajustes, além da indicação de presença ou movimento no LAVSI por meio das controladoras AR1, AR2 e AR3.

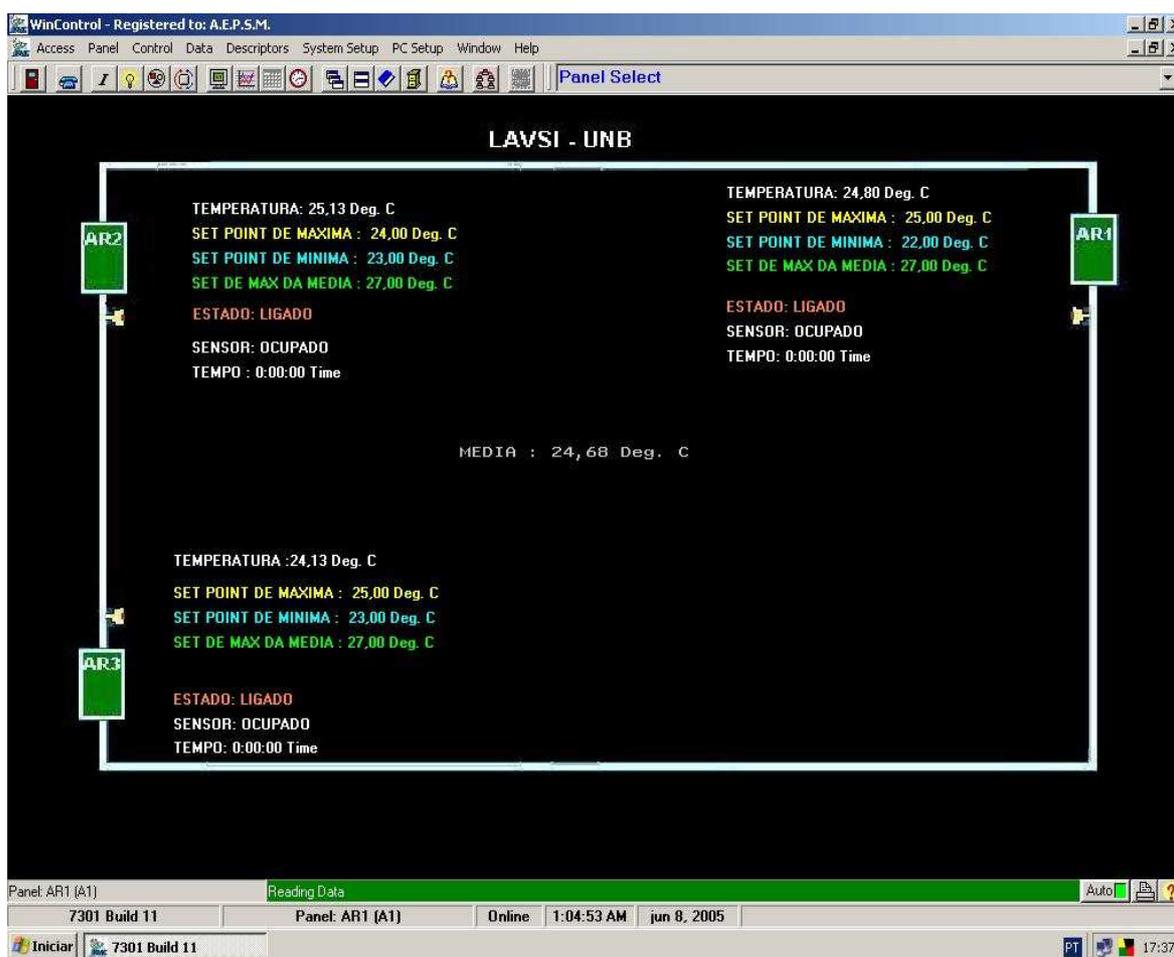


Figura 5.8 - Tela de monitoração no WinCroncontrol.

5.3.3 O Protocolo da rede KMC

O protocolo de rede define a linguagem de controle das portas usadas para comunicação das controladoras entre elas, e com o supervisor. O protocolo utilizado neste trabalho é baseado na configuração do sistema KMD (Kmd, 1997). Este protocolo pode ser definido para utilização de dois tipos de rede: rede principal e sub-rede. A sub-rede foi utilizada para a montagem e configuração, uma vez que permite acoplar até 124 controladoras, portas 4x4, com as seguintes configurações:

- 4 Entradas
- 4 Saídas
- 32 Variáveis
- 4 Controladores
- 5 Programas

- 3 Tabelas
- 2 *Log* digital
- 1 Grupo de controle

Se for de interesse do usuário a rede principal pode ser conectada à Internet por meio de um dispositivo chamado de *LAN Controller*, que é conectado às controladoras e via porta USB a um computador, com a possibilidade de monitoração e controle dos dispositivos da rede via Internet.

Neste protocolo somente um dispositivo tem o *token* para a comunicação na rede por um tempo determinado pela rede, que uma vez adquirido, envia uma mensagem para a rede: “Eu tenho o *token*”. O dispositivo que tem o *token* pode inicializar uma comunicação com outros dispositivos na rede.

A rede que utiliza este protocolo suporta os valores de 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 e 38400 de taxas de Baud, a tabela 5.1 apresenta os valores correspondentes de atraso a cada taxa de transmissão que pode ser configurada neste protocolo.

Tabela 5.1 – Relação de atraso com taxa de transmissão

Baud	Delay
38400	5 ms
19200	5 ms
9600	5 ms
4800	15 ms
1200	40 ms

A comunicação na rede é feita na forma de mensagens. Quando um dispositivo recebe uma mensagem que solicita um dado, ele responde com outra mensagem contendo o dado solicitado. Uma mensagem pode ter cinco divisões: Sincronização, RIB (Receive Information Block), Contador, dados e checksum.

A sincronização é a seqüência de 5 primeiros bytes que indicam o início de uma nova mensagem. O RIB (Receive Information Block) pode conter 6 bytes ou mais bytes com os dados da mensagem, informando a porta de destino, a porta de origem, a descrição da operação da mensagem, um *byte* extra “baixo” que junto com o byte anterior especifica o comando, um *byte* extra “alto” que também especifica um comando, o *byte* seguinte é um simples cabeçalho dos cinco primeiros *bytes* do RIB, o próximo *byte* é a soma do número de *bytes* de dados que foram transmitidos, um *byte* para o contador de número de *bytes* totais e dois *bytes* para o *checksum*, respectivamente mostrado na figura 5.9. O contador, que tem 2 bytes, é igual ao número de bytes de dados que seguiram e, finalmente o *Checksum* com dois *bytes*.

Cabeçalho 5 Bytes		
Porta de Destino 1 Byte		Porta de Origem 1 Byte
Tipo de operação 1 Byte	Especificação de Comandos 2 Bytes	Cabeçalho da Mensagem 1 Byte
Tamanho da Mensagem 2 Bytes	Contador 1 Byte	Checksum 2 Bytes

Figura 5.9 – Pacote do protocolo KMD

6 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA REDE

Uma Rede é formada por um número grande, mas finito de módulos autônomos de processamento interconectados, a independência dos vários módulos de processamento é preservada na sua tarefa de compartilhamento de recursos e troca de informações. Não existe a necessidade de um sistema operacional único, mas a cooperação entre os vários sistemas na realização das tarefas de compartilhamento de recursos e troca de informações (Soares, 1997).

A escolha de um tipo particular de rede para o suporte a um dado conjunto de aplicações é uma tarefa difícil. Cada arquitetura possui certas características que afetam sua adequação a uma aplicação em particular. Nenhuma solução pode chamar para si a classificação de ótima quando analisada em contexto geral. Muitos atributos entram em jogo, o que torna qualquer comparação bastante complexa. Esses atributos dizem respeito ao custo, à confiabilidade, ao tempo de resposta, à velocidade, ao desempenho, à facilidade de desenvolvimento, a modularidade, à capacidade de reconfiguração, à complexidade lógica, à facilidade de uso, disponibilidade, facilidade de manutenção e inclusive a outros fatores não técnicos.

A análise de desempenho de uma rede torna-se uma tarefa primordial para a adequação de uma solução que satisfaça as condições necessárias para atender à tarefa específica (Haugdahl, 2000).

Os estudos dos protocolos de rede da automação prediais visam avaliar o desempenho da transmissão dos dados (Hong, Song, 2003). A transmissão de dados neste trabalho é feita por meio do protocolo de comunicação de dados KMD que utiliza os dispositivos de comunicação interligando-os com os vários processadores a fim de estipular um conjunto de regras com a finalidade de organizar a comunicação.

O objetivo da análise do protocolo KMD é demonstrar funcionalidades e parâmetros que permitam a avaliação quanto aos quesitos de desempenho do mesmo na plataforma utilizada. Este trabalho procurou verificar as questões que dizem respeito ao desempenho e à implementação do protocolo na rede de automação predial, uma vez que a performance do protocolo depende diretamente da aplicabilidade dele e dos recursos que utiliza na rede.

O desempenho é o fator que demonstra a capacidade de utilização de um protocolo na rede. É possível saber qual é o desempenho e adequação de um protocolo uma vez que esse é mensurável e está relacionado com a velocidade e o retardo na transferência da informação por meio da utilização da capacidade do computador supervisor e pelos dispositivos que são controlados na rede. A confiabilidade de um protocolo de rede pode ser avaliada e medida, bem como a verificação da tolerância a falhas provenientes de *hardware* ou *software* por meio de dispositivos especiais para tal finalidade, como por exemplo um *Sniffer*.

O *sniffer* é um programa que monitora e registra a passagem de dados entre as interfaces de rede instaladas no computador, através da porta de comunicação que está farejando (Haugdahl, 2000). Os dados coletados por *sniffers* são usados para obtenção de detalhes úteis para solução de problemas em rede e verificação do que está contido numa comunicação. Para a análise dos pacotes que transitam na rede KMC, a figura 6.1 mostra a tela com a captura dos pacotes quando utilizado o *sniffer* Serial Monitor Version 3.2.2 da empresa HDD software, utilizado neste projeto (Sniffer, 2005).

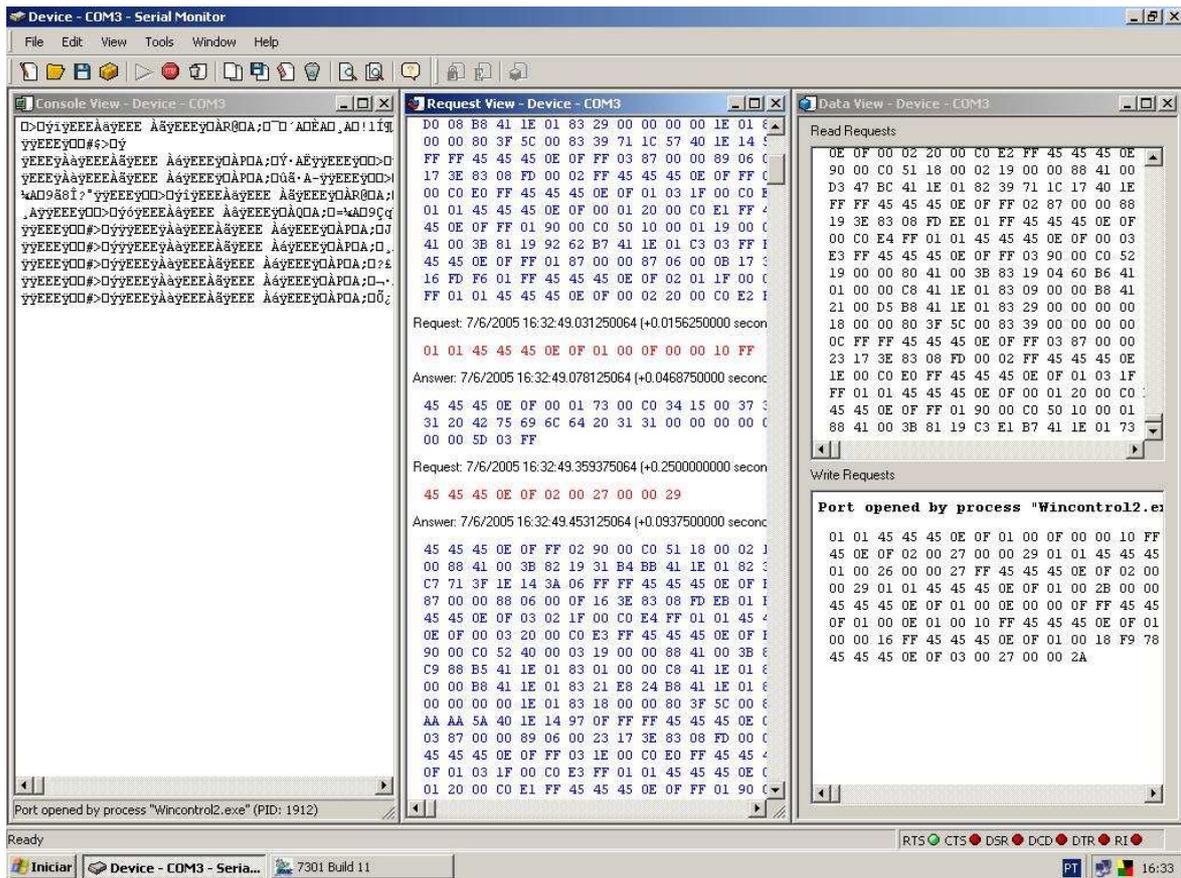


Figura 6.1 - Tela do *Sniffer Serial Monitor* com pacotes da Rede KMC.

A taxa de transferência (*Baud Rate*) refere-se a velocidade com que os dados são enviados através de um canal e é medido em transições elétricas por segundo. Na norma EIA232, ocorre uma transição de sinal por *bit*, e a taxa de transferência e a taxa de *bits (bit rate)* são idênticas. Nesse caso, uma taxa de 9600 bauds corresponde a uma transferência de 9600 bits por segundo (Tanenbaum, 1997).

Geralmente, dados serializados não são enviados de maneira uniforme através de um canal. Ao invés disso, pacotes com informações regulares são enviados seguidos de uma pausa. Os pacotes de dados binários são enviados dessa maneira, possivelmente com comprimentos de pausa variável entre pacotes, até que a mensagem tenha sido totalmente transmitida. O circuito receptor dos dados deve saber o momento apropriado para ler os bits individuais desse canal, saber exatamente quando um pacote começa e quanto tempo decorre entre bits. Quando essa temporização for conhecida, o receptor é dito estar sincronizado com o transmissor, e a transferência de dados torna-se possível.

Em sistemas síncronos, canais separados são usados para transmitir dados e informação de tempo. O canal de temporização transmite pulsos de *clock* para o receptor. Através da recepção de um pulso de *clock*, o receptor lê o canal de dados e armazena o valor do bit encontrado naquele momento. O canal de dados não é lido novamente até que o próximo pulso de *clock* chegue. Como o transmissor é responsável pelos pulsos de dados e de temporização, o receptor irá ler o canal de dados apenas quando comandado pelo transmissor, e portanto a sincronização é garantida.

Em sistemas assíncronos, a informação trafega por um canal único. O transmissor e o receptor devem ser configurados antecipadamente para que a comunicação se estabeleça a contento. Um oscilador preciso no receptor irá gerar um sinal de *clock* interno que é igual (ou muito próximo) ao do transmissor.

A norma EIA232 especifica uma taxa máxima de transferência de dados de 20.000 bits por segundo (o limite usual é 19200 bps), que será configurada de acordo com os equipamentos utilizados na rede. Taxas de *Baud* fixas não são fornecidos pela norma.

6.1 CUSTO

O custo de uma rede é dividido entre o custo das estações de processamento (microcomputadores) e demais dispositivos, o custo das interfaces com o meio de comunicação e o custo do próprio meio de comunicação. Uma vez que o desenvolvimento tecnológico continuará reduzindo cada vez mais o custo das estações, é necessário que o custo das conexões seja minimizado (Thomas, 1997).

O custo das conexões dependerá muito do desempenho da rede. Redes de baixo a médio desempenho usualmente empregam poucas estações com uma demanda de dados e volume de tráfego pequeno. Isso vai permitir o desenvolvimento de interfaces de baixo custo, a despeito de suas limitações para outras aplicações.

Redes de alto desempenho já requerem interfaces de custos mais elevados, devido em grande parte ao protocolo de comunicação utilizado e ao meio de comunicação.

6.2 RETARDO DE ACESSO

O Retardo de Acesso é o tempo decorrido desde que uma mensagem a transmitir é gerada pela estação até o momento em que a estação consiga obter para ela e somente para ela o direito de transmitir, sem que haja colisão de mensagens no meio. Ou seja, é o tempo que uma estação espera, a partir do momento em que uma mensagem está pronta para ser transmitida, até o momento em que ela consegue transmitir essa mensagem com sucesso (sem que outras estações na rede a perturbem).

6.3 RETARDO DE TRANSMISSÃO

É o intervalo de tempo decorrido desde o início da transmissão de uma mensagem por uma estação de origem até o momento em que a mensagem chega estação de destino.

6.4 RETARDO DE TRANSFERÊNCIA

Pode-se verificar o retardo de transferência como a soma dos retardos de acesso e de transmissão. Esse retardo inclui todo o tempo de entrega de uma mensagem, desde o momento em que se deseja transmiti-la, até o momento em que ela chega para ser recebida pelo destinatário.

O objetivo de verificar os quesitos relacionados acima é para verificar dentre os protocolos na automação predial que são objetos de pesquisa deste trabalho, comparar a utilização do protocolo proposto se ele assegura um retardo de transferência baixo, a velocidade e a taxa de erro, de forma a não provocar a saturação no tráfego de mensagens na rede KMC.

6.5 TESTES DE PERFORMANCE:

As medidas que caracterizam o desempenho de um sistema são várias. O desempenho de uma rede, quando não especificado de outra forma, é a capacidade efetiva de transmissão da rede, ou seja, é a utilização efetiva do sistema de comunicação como porcentagem da capacidade total que ele oferece, devido a vários fatores como: baixo custo, leva freqüentemente ao sacrifício do desempenho. No entanto, uma rede deve proporcionar

capacidade suficiente para viabilizar todas as aplicações a que é destinada (Svobodova, 1976).

O conceito de velocidade em redes tem se tornado bastante relativo devido aos avanços tecnológicos na área de transmissão de dados. Os termos velocidade, desempenho e retardo de transferência estão intimamente relacionados. A escolha adequada da arquitetura (topologia), incluindo a estrutura de conexão, o protocolo de comunicação e o meio de transmissão vão influenciar diretamente no desempenho, velocidade e retardo de transferência de uma rede. Conclui-se que a seleção de um mecanismo de interconexão orientado para a natureza da aplicação é essencial para a redução dos custos.

A rede deve ser tolerante a falhas causadas por *hardware* e/ou *software*, de forma que tais falhas causem apenas perturbações momentâneas, que serão resolvidas em algum nível de retransmissão. O tempo médio de reparo pode ser diminuído com o auxílio de redundância, mecanismos de autoteste e diagnóstico e manutenção eficiente. Várias redes têm incluídas, em suas interfaces, mecanismos de autoteste e diagnóstico para auxílio na manutenção e na realização de medidas de desempenho. Redes adequadas de automação predial têm estações supervisórias para facilitar a integridade das transmissões.

Determinadas funções do protocolo de enlace estão relacionadas com o tipo de acesso ao meio físico, e devem ser levadas em conta na comparação dos diversos tipos de protocolos disponíveis. Dentre essas funções podemos citar a detecção de erro, o reconhecimento do recebimento, a transparência da informação, a sequencialização e o controle do fluxo de dados (Chetan, Manikipoulos, 1999).

Vários fatores podem causar erros de transmissão, como por exemplo, os ruídos. Na impossibilidade de eliminar totalmente esses fenômenos, sistemas de comunicação devem ser projetados de forma a possibilitar a recuperação da informação perdida. O primeiro passo para qualquer esquema de tratamento de erros é a sua detecção. Reconhecer que um quadro foi recebido com erro irá permitir que se tome as providências necessárias, que poderão variar de acordo com as necessidades das aplicações e com as características dos dados transmitidos (Soares, 1997).

Todos os métodos de detecção de erros são baseados na inserção de *bits* extras na informação transmitida. Esses bits consistem em informação redundante, isto é, que pode ser obtida a partir da informação original. Esses *bits* são computados pelo transmissor através de algum algoritmo que tem como entrada os *bits* originais a serem transmitidos. Após computar esses *bits* extras, o transmissor os acrescenta aos *bits* de informação propriamente dita, para então prosseguir com a transmissão do quadro. Quando o quadro é recebido, o receptor, conhecendo o algoritmo utilizado pelo transmissor, pode recomputar os *bits* de redundância e compará-los com os *bits* recebidos no quadro. Se eles forem diferentes, detectou-se a presença de um erro.

Vários algoritmos para a geração de bits de redundância já foram propostos como: técnica da paridade e CRC (Cyclic Redundance Checks) (Stallings, 1985).

6.5.1 Paridade

A forma mais simples de redundância para a detecção de erros consiste na inserção de um bit de paridade ao final de cada caracter de um quadro. O valor desse bit é escolhido de forma a deixar todos os caracteres com um número par de *bits* (paridade Par) ou com um número ímpar de *bits* (paridade ímpar). Tipicamente, em transmissão assíncrona, costuma-se utilizar paridade par. Se o transmissor desejar, por exemplo, transmitir o caracter “1110001”, utilizando paridade ímpar, ele acrescentará um bit 1 ao caracter, de forma que a seqüência resultante terá um número ímpar de bits 1 (no caso, igual a 5): “11100011”. O receptor, examinando o caracter recebido, deverá sempre encontrar um número de *bits* 1 ímpar, caso em que assumirá que a transmissão foi efetuada com sucesso. Caso contrário houve algum erro durante a transmissão que ocasionou a inversão de um ou mais bits. Entretanto, caso um número par de *bits* tenha sido invertido, o receptor não será capaz de perceber a existência de erro, pois a paridade ainda estará correta (Tanenbaum, 1997).

6.5.2 CRC

A técnica de Paridade, por ser limitada, torna-se uma técnica de detecção de erro pouco eficiente. Esquemas de melhor eficiência já foram propostos, dentre eles o CRC.

Nessa técnica, um quadro de k bits, é representado por um polinômio em X , de ordem $k-1$, onde o coeficiente do termo X^i é dado pelo $(i+1)$ – ésimo bit da seqüência de k bits. Assim, por exemplo, o quadro 10110001 seria representado pelo polinômio $x^7 + x^5 + x^4 + 1$.

No transmissor o polinômio de ordem $k - 1$ é dividido, em aritmética módulo 2, por um polinômio gerador de ordem n , tendo como resultado um quociente e um resto de ordem $n-1$. O transmissor gera em sua saída os k bits originais, seguidos dos n bits correspondentes ao polinômio obtido como resto da divisão (chamado de *Frame Check Sequence - FCS*)

No receptor, um processo análogo é realizado. De posse dos k primeiros bits recebidos, o receptor realiza a divisão do polinômio correspondente, de ordem $k - 1$, pelo mesmo polinômio gerador usado no transmissor. O resto desta divisão é comparado com os n últimos bits recebidos no quadro. Se os bits forem iguais, o receptor assume que recebeu os dados sem erros. Caso algum bit seja diferente, um erro é detectado.

Alguns polinômios geradores são largamente utilizados e padronizados. Como exemplo, temos os seguintes (Tanenbaum, 1997):

$$\text{CRC-12} = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$$

$$\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC -CCITT} = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

$$\text{CRC -32} = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

O método de detecção de erro envolve o cálculo de um “checksum” quando mensagens com mais de um byte são transmitidas pelo canal de comunicação. Nesse caso, os pacotes que constituem uma mensagem são adicionados aritmeticamente. Um número de checksum é adicionado a seqüência do pacote de dados de tal forma que a soma dos dados mais o checksum é zero. Quando recebido, os dados devem ser adicionados pelo processador local. Se a soma do pacote der resultado diferente de zero, ocorreu um erro. Na ocorrência de erros é improvável (mas não impossível) que qualquer corrupção de dados resultem em checksum igual a zero (Tanenbaum, 1997).

Podem ocorrer erros que não sejam apenas detectados, mas também sejam corrigidos se código adicional for adicionado a seqüência de dados do pacote. A correção

de erros em uma transmissão, contudo, abaixa a eficiência do canal, e o resultado é uma queda na taxa de transmissão.

7 - RESULTADOS

7.1 OBJETIVO DA ANÁLISE

Verificar possíveis problemas de desempenho na rede de acesso que possam causar a elevação do tempo de resposta para acesso aos sistemas e demais serviços que utilizem a infra-estrutura de rede e propor, se necessárias, ações para melhorar o desempenho da rede.

O visualizador de dados do *Serial Monitor*, conforme figura 7.1, mostra todo controle de solicitações que são enviadas, recebidas e os dados transmitidos. Este analisador separa as solicitações e suas respostas correspondentes, medindo precisamente o tempo entre elas, mostrado em cores diferentes.

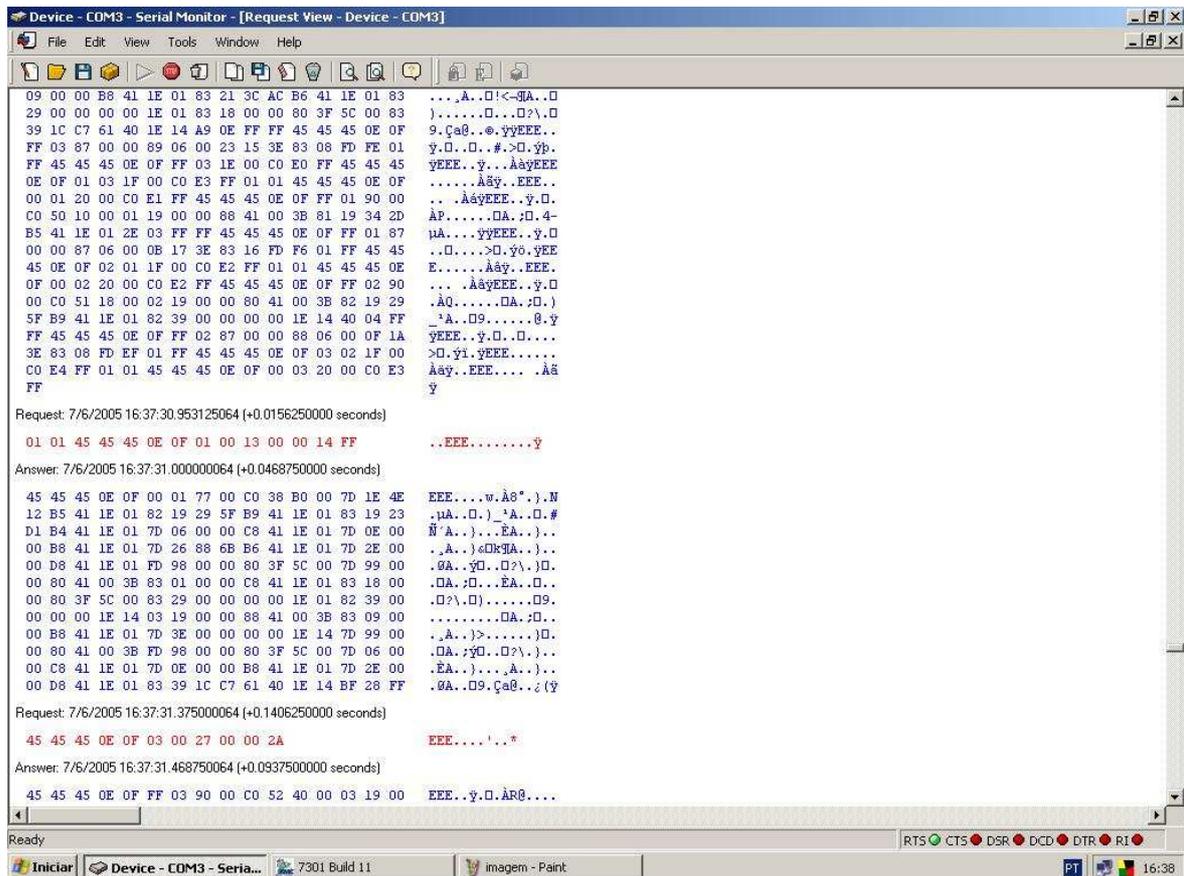


Figura 7.1 - Tela de captura de pacotes para a análise.

7.2 REQUISITOS DA ANÁLISE

Os requisitos estudados e medidos da análise são resultados que possibilitam verificar qual é a performance da conexão do supervisor com as controladoras da rede KMC. A garantia do nível de entrega é mensurável a partir da análise baseada nos parâmetros definidos no protocolo KMC e no software Serial Monitor que varre a porta serial monitorando a integridade da conexão: latência, disponibilidade e perda de pacotes. A latência é o tempo calculado entre o instante de transmissão de um pacote e o instante em que um transmissor recebe a confirmação que o pacote foi recebido (Haugdahl, 2000).

Itens de análise:

- Latência entre a transmissão de um pacote das controladoras e o software supervisor da rede do protótipo do LAVSI.
- Quantidade de pacotes recebidos em 30s em taxas de Baud diferentes.

• Período de análise de dados:

- 6 intervalos de tempo, sendo 3 intervalos de 30s com as controladoras desligadas de forma gradualmente uma a uma da rede com a taxa de transmissão a 19200 bits por segundo e novamente da mesma maneira com a taxa de 38400 bits por segundo.

• Valores medidos:

- Capacidade de transmissão/recepção da rede: 9600, 19200 e 38400 bps
- Tempo medido: 30s
- Média de pacotes na rede: 195
- Latência média da rede com 1 controladora a 19200 bps: 0,11s ou 110ms
- Latência média da rede com 2 controladoras a 19200 bps: 0,05s ou 50ms
- Latência média da rede com 3 controladoras a 19200 bps: 0,07s ou 70ms
- Latência média da rede com 1 controladora a 38400 bps: 0,05s ou 50ms
- Latência média da rede com 2 controladoras a 38400 bps: 0,14s ou 114ms
- Latência média da rede com 3 controladoras a 38400 bps: 0,12s ou 120ms

A figura 7.2 mostra o gráfico de latência.

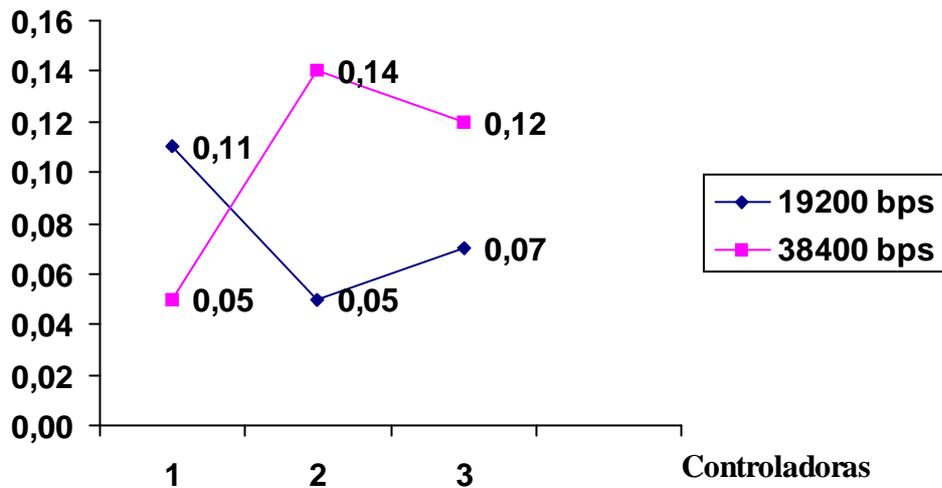


Figura 7.2 - Latência dos pacotes com 1, 2 e 3 controladoras.

• **Utilização do canal de comunicação pelas controladoras**

- Média: 75,33%.

O tempo de transmissão das respostas é mostrado na figura 7.3.

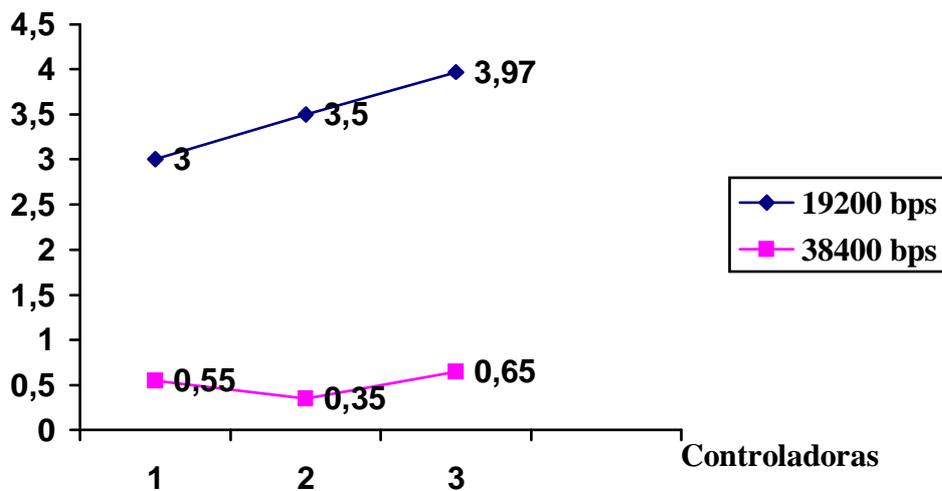


Figura 7.3 - Tempo médio de duração da transmissão completa da mensagem.

- Utilização do canal de comunicação pelo supervisor

- Média: 24,66%
- Congestionamento do canal de comunicação: Não houve congestionamento, apenas picos significativos que oscilavam em alguma parte do tempo.
- Erros de *bits*: 1
- Descartes de pacotes: Não houve descarte de pacotes uma vez que a configuração da rede foi suficiente para a transmissão de todos os pacotes solicitados e enviados

A figura 7.4 é o gráfico que mostra a quantidade de pacotes transmitidos e recebidos na rede em 30s de tempo.

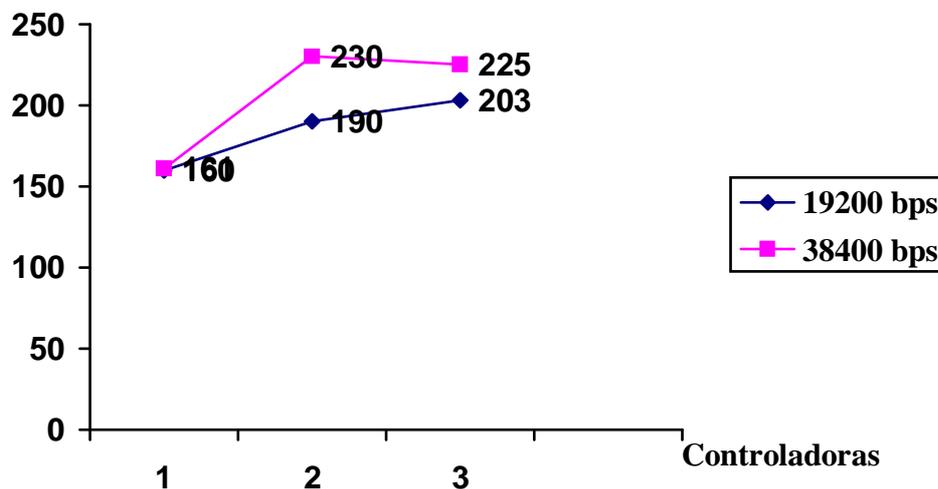


Figura 7.4 - Quantidade de pacotes com 1, 2 e 3 controladoras.

7.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO

Foram realizadas coletas de dados de tráfego, latência, taxa de erro de bit e descarte de pacotes para a rede quando a mesma utilizava apenas uma, duas ou três controladoras. A partir dos dados coletados, observamos as seguintes situações:

A utilização média do circuito físico de acesso, com a taxa de *Baud* de 19200 bps foi de 785 bps, indicando que o circuito possui condições de suportar o tráfego com ótimo

desempenho, inclusive com crescimento significativo na demanda média de tráfego, conforme mostrado na figura 7.5.

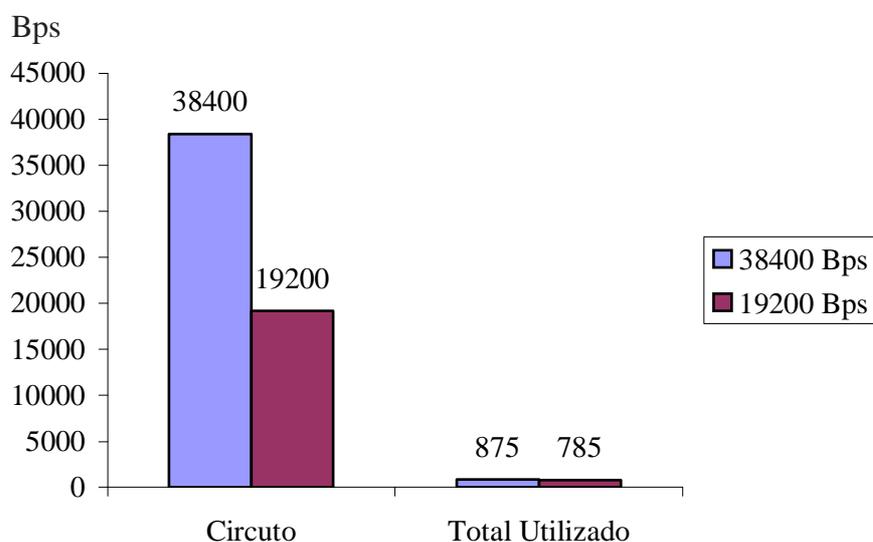


Figura 7.5 - Gráfico de utilização do Circuito de Transmissão.

- A amostragem referente à taxa de *Baud* de 38400 bps demonstrou que essa configuração possibilita 21,6% a mais, que a taxa de transmissão de 19200 bps, dos bits com capacidade da rede com um melhor desempenho, nas mesmas configurações e testes realizados.

Uma vez que a média da transmissão, ou seja, 830 bps, dos pacotes pela rede entre as taxas estudadas demonstra que a utilização da rede para o tráfego dos dados encontra-se bastante favorável ao seu crescimento uma vez que a taxa de Baud ainda se encontra em níveis bastante satisfatórios, o que indica pouca concentração de tráfego em pouco tempo, seguida de pouca utilização para a transferência das informações.

- Os valores de latência registrados situam-se dentro da faixa de valores considerada como limite aceitável (até 3s) para os sistemas de automação predial, uma vez que o fato do tempo de resposta estar na casa dos milissegundos, a transferência da informação pode ser considerada como em tempo real (Haugdahl, 2000).

- Não houve registros de incidência de erros e descarte de pacotes detectados pelo *sniffer* por meio da técnica de *bit* de paridade usada durante a métrica do experimento.

- Em apenas 30s de tempo a utilização média não ultrapassou o patamar considerado satisfatório para desempenho da rede na taxa de 19200 bps (5% de utilização) com apenas 3 controladoras .

A partir desses dados, conclui-se que o comportamento do tráfego é adequado e possível de crescimento quanto ao número de controladoras para a rede em estudo, e que as controladoras que fornecem a transferência das informações para o computador supervisorio deve trazer benefícios muito mais significativos quanto à automação de ar condicionado no que diz respeito ao racionamento e economia de energia.

Alterações mais sensíveis devem ser sentidas a partir da utilização de pelo menos 60 controladoras para a taxa de Baud de 19200 bps e paralelamente a taxa de 38400 bps uma quantidade superior de 120 controladoras, foram analisadas as considerações apresentadas na demanda da rede observando a quantidade de linhas de programa para o envio e recebimento de valores monitoráveis e controláveis.

A comparação entre a melhor e a pior taxa de transferência disponível para a configuração da rede KMC no LAVSI foi confirmada pela análise dos pacotes e tempo de resposta. Vale ressaltar que o computador supervisorio, neste caso, tem uma dedicação exclusiva a essa tarefa quando analisado apenas ponto a ponto e que a rede proposta tem um custo muito baixo comparado ao ganho na possibilidade de redução de consumo elétrico.

Evidentemente, esta análise tem seus resultados baseando-se em dados reais para a aplicação apresentada, outras modificações no processo trará resultados distintos que podem gerar um tráfego mais intenso e valores diversos.

7.4 CONCLUSÃO DA ANÁLISE DO DESEMPENHO

A partir da análise da ocupação do circuito, foi identificado que é possível a expansão da rede para as mesmas configurações e que a proposta de utilização desta rede para a monitoração e controle de equipamentos é adequada e pode ser implantada com a intenção e finalidade de economia de energia em automação predial.

Avaliação da topologia e desempenho da rede, objeto deste projeto, demonstra que a facilidade de instalação e manutenção, custo e economia aplicam-se favoravelmente na utilização desta abordagem em automação predial.

8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 CONCLUSÕES GERAIS

A tendência de aplicar controle em edifícios é cada vez mais presente, independentemente de seu coeficiente de inteligência, pois o que varia é o grau de sofisticação do controle.

Está também cada vez mais estreita a integração entre os sistemas de supervisão e controle predial e os demais subsistemas dos edifícios, tais como: detecção e alarme de incêndio, circuito fechado de televisão, Controle de Acesso, etc. Essa integração permite o desenvolvimento de soluções para áreas relacionadas com a automação e o controle visando trazer os benefícios de economia e racionalização de energia diretamente aos usuários e à administração do edifício, pela facilidade da gestão dos equipamentos.

Além das vantagens mencionadas, como consequência do projeto proposto surgem outros benefícios reais, apesar de mais difíceis de serem quantificados, por se relacionarem com a segurança, o conforto, a diminuição de riscos e a disponibilidade de ferramenta gerencial, que permitam o desenvolvimento de novas soluções para otimização da operação das instalações. Entre esses benefícios, pode-se citar a maior agilidade operacional e a maior disciplina na operação das instalações.

A confiabilidade na transmissão de dados nos sistemas, face ao desenvolvimento de protocolos abertos e proprietários dá o suporte que a automação predial precisa para que se torne um diferencial na hora da escolha de novas soluções para o mercado comercial, uma vez que cada vez mais edifícios buscam boa performance na administração dos dispositivos com pouco investimento e flexibilidade à mudanças.

A análise de uma rede adequada para monitoração e controle de energia em automação predial sugere que a tecnologia KMC é bastante eficaz em relação à transmissão em tempo real com segurança e agilidade, uma vez que o *sniffer* não registrou erros consideráveis. É possível imaginar quão grande será a economia de energia e conseqüentemente a satisfação dos usuários que buscam diferentes formas de racionalizar o consumo de energia.

Percebe-se pelo estudo realizado que há uma diversidade de protocolos de automação existente no mercado, dentre eles, existe o IP, cuja arquitetura foi projetada para interligar redes das mais diversas tecnologias.

Comparando a rede KMC com os 16 Bytes de pacote em média com o tamanho máximo permitido para os pacotes IP que varia de uma tecnologia de rede para outra, entre 1500 a 1000 Bytes não justificaria encapsular as informações de controle e automação de uma rede de automação predial, uma vez que o fluxo de informações na rede aumentaria diminuindo o desempenho. (Atakan,, Bretz, Murhammer, 2000).

8.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A utilização e abrangência das redes são fatores de amplo conhecimento que mudam à medida que surgem novas demandas e novas soluções tecnológicas. É possível que a continuação do estudo na área de redes para automação predial resultem no desenvolvimento de novas soluções a baixo custo para o usuário.

Esta dissertação, baseando-se na captura e estudo dos pacotes que são transferidos por meio do computador supervisor e as controladoras através de uma rede RS232, sugere que é possível o desenvolvimento de protocolos de rede de automação predial que sejam capazes de encapsular as informações que trafegariam numa mesma rede elétrica, garantindo a transmissão e o recebimento e conseqüentemente a automação e o controle dos equipamentos que compõe a rede. Com essa solução seria viável a utilização da arquitetura PLC.

É possível também que na rede KMC o estudo e desenvolvimento de um controle monitorado inteligente, baseando-se em lógica Fuzzy, seja possível o controle e racionalização de energia e conseqüente redução dos gastos desnecessários.

Outra proposta surge baseando-se no modelo de gerenciamento que permita agentes inteligentes para guardar numa base de informações gerenciáveis todos os parâmetros que a rede possa precisar para o controle e a racionalização eficiente da energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atakan, O., Bretz, S., Murhammer, M. W., (2000). “TCP/IP: Tutorial e Técnico”, Editora Makron Books, 690p.
- Azevedo, F., Brasil, L. M., Oliveira, R. C. L., (2000). “Redes Neurais com aplicações em controle e em Sistemas Especialistas”. Editora Visual Books, 401p.
- Botic, J. S., (1979). “Communications Protocol for a Building Automation System”, Abril, pp. 343-348.
- Brito, T. C. M., (1993). “Gerenciamento de Redes - Uma abordagem de Sistemas Abertos”. Makron Books.
- Campbell, J., (1986). “RS-232: Técnicas de Interface”. Editora Ebrás, 158p.
- Chetan, T., Manikipoulos, C. N., (1999). “Determination Of the optimum Packet Length and Buffer sizes for the Industrial Building Automation and Control Networks”, pp. 831-836.
- Haugdahl, J. S., (2000). “Network Analysis and Troubleshooting”, Editora Addison-Wesley, 357p.
- Haakenstad, L. K., (1999). “ The Open Protocol Standard for Computerized Building Systems: BACnet”. Agosto, pp. 1585-1590.
- Hrasnica, H., Haidine, A., Lehnert, R., (2004). “Broadband Powerline Communication – Network Design”. Editora Wiley, 290p.
- Hsiao-Yi, H., In al, (2004). “Develop of an Intelligent Energy Management Network for Building Automation”, Julho, vol. 1, nº 1, pp. 14-25.
- Kolokotsa, D., Nikolaou, T., Stavrakakis, G., (2002). “Intelligent Buildings: The Global Framework”, pp. 7-25.
- Hong, S., Song, W., (2003). “Study on the Performance Analysis of Building Automation Network”, Agosto, pp. 184-188.
- Kmd, (1997), “KMDigital Network Protocol”, Setembro, KMC Control, 18p.
- Li-Chen, F., Teng-Jei, S., (2000). “Holonc Supervisory Control and Data Acquisition Kernel for 21 Century Intelligente Building System”, Abril, pp. 2641-2646.
- Lopez, R.A., (2000). “Sistemas de Redes para Controle e Automação – Rede Industrial, Tecnologias de Controle, Meios de Transmissão, Modelo OSI Rede Fieldbus Industriais, Sistemas Residenciais e rede Ethernet”, Editora Book Express, 276p.
- Modbus, (2002). “Modbus Serial Line Implementation Protocol Guide v1.0”, “Modbus Aplication protocol V1.1a”, November. [acessado em agosto de 2004] [on-line] Disponível da URL: <http://www.modbus.org>.

- Modbus, (2004). "Modbus Protocol Summary, function codes, document organization", "Modbus Application protocol V1.1a", June. [acessado em agosto de 2004] [on-line] Disponível da URL: <http://www.modbus.org>.
- Porto, T. L., (2002). "Projeto de Graduação: Sistemas prediais automatizados - Pátio Brasil Shopping", Agosto de 2002, ENE UnB.
- Profibus, (2002). "Technical Description & Books: Profibus Technology and Application - System Description, Open Solutions for the World of Automation", October. [acessado em outubro de 2004][on-line] Disponível da URL: Profibus International Support Center: <http://www.profibus.com.br/profibus.html>.
- Santos, R. J., (2005). "Controle Fuzzy para racionalização de energia em processo de condicionamento de ar, Dissertação de Mestrado de Eng. Elétrica", Publ.: ENE.DM 187/05, Junho.
- Shwehdi, M. H., Khan, A. Z., (1996). "A power Line data Communication Interface Using Spread Spectrum Technology in Home Automation", Julho, vol.11, nº 3, pp. 1232-1237.
- Sniffer, (2005). "Serial Monitor", [acessado em junho de 2005] [on-line] Disponível da URL: <http://www.hddsotware.com/sermon.html>.
- Snoonian, (2003). "Smart Buildings", Control Systems, Agosto, pp. 18-23.
- Soares, L. (1997). "Redes de Computadores. Das LANs MANs e WANs às Redes ATM", 2ª Edição. Editora Campus, 704p.
- Stallings, W., (1985). "Data Communications", Second Edition. Editora Macmillan Publishing.
- Svobodova, L., (1976). "Computer performance Measurement and Evaluation Methods: Analysis and Applications", Editora Longman Group, 145p.
- Tanenbaum, A., (1997). "Redes de Computadores", Editora Campus, 923p.
- Thomas, R. M., (1997). "Introdução às Redes Locais – O guia para a escolha e a implementação da melhor rede para a sua empresa", Editora Makron Books, 287p.
- Veja, (2001). Revista Veja - edição 16/05/2001, "Sem luz - A falta de energia no dia-a-dia da população. O impacto do apagão na vida dos brasileiros".
- Wong, A. C. W., (1997). "Building Automation In The 21st Century", Novembro, pp. 819-824.

APÊNDICES

APÊNDICE A - DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS NO SOFTWARE WINCONTROL PARA A CONFIGURAÇÃO DAS VARIÁVEIS.

VAR1 Set Point de Máxima Temperatura

VAR2 Set Point de Mínima Temperatura

VAR3 Habilitação

VAR4 Temperatura

VAR5 Média das Temperaturas

VAR6 Set Point de Máxima da Média

VAR7 Liga/Desliga OUT1

VAR8 Tempo de desocupação da Sala

IN4 Termistor

IN3 Sensor de presença

OUT4 Liga ar condicionado

APÊNDICE B - LINHAS DE CÓDIGO PARA A CONTROLADORA AR1

```
1 REM CONVEÇÃO DA TEMP.
2 VAR4 = IN3 * 0.43
2 REM ESTADO DA SALA
2 VAR8 = TIME-ON( IN4 )
3 IF IN4 = 0 OR 2-IN4 = 0 OR 3-IN4 = 0 THEN VAR3 = 1 ELSE VAR3 = 0
4 IF TIME-OFF( VAR3 ) > 0:15:00 THEN VAR7 = 0
5 IF VAR3 = 1 THEN VAR7 = 1
5 REM AJUTE DA TEMP.
6 IF IN3 > VAR1 = 1 AND VAR7 = 1 THEN OUT4 = 1
7 IF IN3 < VAR2 = 1 AND VAR7 = 1 THEN OUT4 = 0
7 REM MEDIA DA TEMP.
8 A = VAR4 + 2-VAR4 + 3-VAR4
8 VAR5 = A / 3
9 IF VAR5 > VAR6 THEN OUT4 = 1
9 REM GANHO DE CALOR PELA NOITE
12 IF TIME > 0:00:00 THEN OUT4 = VAR7
13 IF TIME > 2:00:00 AND TIME < 2:10:00 THEN VAR7 = 1
14 IF TIME > 3:00:00 AND TIME < 3:20:00 THEN VAR7 = 1
13 IF TIME > 4:00:00 AND TIME < 4:30:00 THEN VAR7 = 1
13 IF TIME > 5:00:00 AND TIME < 6:40:00 THEN VAR7 = 1
```

APÊNDICE C - LINHAS DE CÓDIGO PARA A CONTROLADORA AR2

```
1 REM CONVEÇÃO DA TEMP.
2 VAR4 = IN3 * 0.43
2 VAR8 = TIME-ON( IN4 )
2 REM ESTADO DA SALA
3 IF IN4 = 0 OR 1-IN4 = 0 OR 3-IN4 = 0 THEN VAR3 = 1 ELSE VAR3 = 0
4 IF TIME-OFF( VAR3 ) > 0:15:00 THEN VAR7 = 0
5 IF VAR3 = 1 THEN VAR7 = 1
5 REM AJUTE DA TEMP.
6 IF IN3 > VAR1 = 1 AND VAR7 = 1 THEN OUT4 = 1
7 IF IN3 < VAR2 = 1 AND VAR7 = 1 THEN OUT4 = 0
7 REM MEDIA DA TEMP.
8 A = VAR4 + 1-VAR4 + 3-VAR4
8 VAR5 = A / 3
9 IF VAR5 > VAR6 THEN OUT4 = 1
9 REM GANHO DE CALOR PELA NOITE
12 IF TIME > 0:00:00 THEN OUT4 = VAR7
13 IF TIME > 2:00:00 AND TIME < 2:10:00 THEN VAR7 = 1
14 IF TIME > 3:00:00 AND TIME < 3:20:00 THEN VAR7 = 1
13 IF TIME > 4:00:00 AND TIME < 4:30:00 THEN VAR7 = 1
13 IF TIME > 5:00:00 AND TIME < 6:40:00 THEN VAR7 = 1
```

APÊNDICE D - LINHAS DE CÓDIGO PARA A CONTROLADORA AR3

```
1 REM CONVEÇÃO DA TEMP.
2 VAR4 = IN3 * 0.43
2 VAR8 = TIME-ON( IN4 )
2 REM ESTADO DA SALA
3 IF IN4 = 0 OR 2-IN4 = 0 OR 1-IN4 = 0 THEN VAR3 = 1 ELSE VAR3 = 0
4 IF TIME-OFF( VAR3 ) > 0:15:00 THEN VAR7 = 0
5 IF VAR3 = 1 THEN VAR7 = 1
5 REM AJUTE DA TEMP.
6 IF IN3 > VAR1 = 1 AND VAR7 = 1 THEN OUT4 = 1
7 IF IN3 < VAR2 = 1 AND VAR7 = 1 THEN OUT4 = 0
7 REM MEDIA DA TEMP.
8 A = VAR4 + 1-VAR4 + 2-VAR4
8 VAR5 = A / 3
9 IF VAR5 > VAR6 THEN OUT4 = 1
9 REM GANHO DE CALOR PELA NOITE
12 IF TIME > 0:00:00 THEN OUT4 = VAR7
13 IF TIME > 2:00:00 AND TIME < 2:10:00 THEN VAR7 = 1
14 IF TIME > 3:00:00 AND TIME < 3:20:00 THEN VAR7 = 1
13 IF TIME > 4:00:00 AND TIME < 4:30:00 THEN VAR7 = 1
13 IF TIME > 5:00:00 AND TIME < 6:40:00 THEN VAR7 = 1
```

APÊNDICE E - TABELAS MEDIDAS NOS EXPERIMENTOS

Tabela E.1 - Pacotes com 1 Controladora (AR1) em 30s à taxa de 19200 bps

Solicitações (Supervisório)	4
Respostas	5
Tempo Médio entre a solicitação e a resposta	0,11s
Tempo Médio de duração completa da transmissão da mensagem de resposta	3s
Total de pacotes	160
Total de pacotes enviados	44
Total de pacotes recebidos	116

Tabela E.2 - Pacotes com 2 Controladoras (AR1 e AR2) em 30s à taxa de 19200 bps

Solicitações (Supervisório)	4
Respostas (Controladoras)	5
Tempo Médio entre a solicitação e a resposta	0,05s
Tempo Médio de duração completa da transmissão da mensagem de resposta	3,5s
Total de pacotes	190
Total de pacotes enviados	47
Total de pacotes recebidos	143

Tabela E.3 - Pacotes com 3 Controladoras (AR1, AR2 e AR3) em 30s à taxa de 19200 bps.

Solicitações (Supervisório)	7
Respostas (Controladoras)	8
Tempo Médio entre a solicitação e a resposta	0,07s
Tempo Médio de duração completa da transmissão da mensagem de resposta	3,97s
Total de pacotes	203
Total de pacotes enviados	44
Total de pacotes recebidos	159

Tabela E.4 - Pacotes com apenas 1 Controladora (AR1) em 30s à taxa de 38400 bps

Solicitações (Supervisório)	9
Respostas	10
Tempo Médio entre a solicitação e a resposta	0,05s
Tempo Médio de duração completa da transmissão da mensagem de resposta	0,55s
Total de pacotes	161
Total de pacotes enviados	43
Total de pacotes recebidos	118

Tabela E.5 - Pacotes com 2 Controladoras (AR1 e AR2) em 30s à taxa de 38400 bps.

Solicitações (Supervisório)	6
Respostas (Controladoras)	7
Tempo Médio entre a solicitação e a resposta	0,14s
Tempo Médio de duração completa da transmissão da mensagem de resposta	0,35s
Total de pacotes	230
Total de pacotes enviados	50
Total de pacotes recebidos	180

Tabela E.6 - Pacotes com Controladoras (AR1, AR2 e AR3) em 30s à taxa de 38400 bps.

Solicitações (Supervisório)	8
Respostas (Controladoras)	9
Tempo Médio entre a solicitação e a resposta	0,12s
Tempo Médio de duração completa da transmissão da mensagem de resposta	0,65s
Total de pacotes	225
Total de pacotes enviados	39
Total de pacotes recebidos	186