



**SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL  
FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE REDE SEM FIO EM CHÃO DE  
FÁBRICA**

Salvador  
2008

**CARLOS AIRON CORREIA PINTO**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE REDE SEM FIO EM CHÃO DE  
FÁBRICA**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Faculdade de Tecnologia  
Senai-Cimatec como requisito final para  
obtenção do título de Tecnólogo em  
Mecatrônica Industrial  
Orientador: Alexandre Ribeiro

Salvador  
2008

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

---

Pinto, Carlos A. C.  
Estudo da aplicação de rede sem fio em chão de fábrica /  
Carlos Airon Correia Pinto. -Salvador, 2008.  
49f.

1. Rede sem fio. I. título

CDD 629.8

---

## RESUMO

O uso da tecnologia sem fio vem crescendo e chegou ao ambiente industrial. Porém ainda existe certo receio em sua utilização relacionado com sua confiabilidade. Algumas empresas já fabricam produtos com comunicação sem fio e apostam nessa tecnologia para comunicar os sistemas de controle, sensores e atuadores dentro da rede, devido à sua agilidade na instalação e na alteração de layout. Para isso, padrões foram criados pela IEEE que estão sendo aproveitados pela indústria como o *wi-fi*, o *Bluetooth* e o *zigbee*. Uma das questões levantadas para o uso da rede sem fio em chão de fábrica é a interferência que pode ocorrer devido ao grande número de equipamentos pesados e geradores de interferência eletromagnética. Neste trabalho foram realizados testes de medição utilizando uma rede sem fio em ambientes com e sem interferência, comparando seu funcionamento com uma rede convencional de par trançado, onde foi observada uma diferença de tempo de comunicação quando o equipamento se encontrava em ambiente com equipamentos industriais em funcionamento em relação à ambientes isolados.

**Palavras-Chaves:** Wireless, Chão de fábrica, Rede.

## **ABSTRACT**

The use of wireless technology has been growing and has reached the manufacturing industry. However, there is still a certain level of resistance towards its use, due to reliability. Some companies have already manufactured products which use wireless communication, and believe this technology will be used for communication between control systems, sensors and units within networks, due to its speed of installation and alteration of layout. For this, the IEEE has created some standard technologies, such as wi-fi, Bluetooth and zigbee, which are being used by the industry. One of the questions raised by the practical use of wireless networks in factories is interference which can occur due to the large quantity of heavy equipment and the production of electromagnetic interference. In this research, some tests using conventional wireless networks with twisted pairs were carried out in various environments. The tests compared the difference in time of communication for the networks where the equipment was in an environment containing industrial equipment with that where it was in an isolated environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa Conceitual .....	9
Figura 2. Sistema de controle .....	12
Figura 4. Modelo OSI .....	16
Figura 5. Divisões de Frequência .....	22
Figura 6. FHSS.....	24
Figura 7. DSSS .....	25
Figura 8. Scatternet.....	28
Figura 9. Posicionamento das tecnologias Wireless .....	30
Figura 10. (a) Ponto de acesso (b) Adaptador USB/Wireless (c) Placa PCI/Wireless .....	31
Figura 11. (a) Palmtop (b) Handheld (c) Notebook .....	31
Figura 12. Kit para teste .....	33
Figura 13. CLP Altus GR-351 .....	34
Figura 15. AGV.....	37
Figura 16. ROBOTINO.....	37
Figura 17. Tempos de resposta .....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANATEL	Agencia nacional de telecomunicações
CIM	Centro Integrado de manufatura
CLP	Controlador lógico programável
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
IEEE	<i>Institute of Eletrical and Eletroics Engineers</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and medical</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Acquisition Data System</i>
SIG	<i>Special Interest Group</i>
AGV	<i>Automated Guided Vehicles</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	8
1.1	Justificativa.....	9
1.2	Objetivos .....	10
1.3	Metodologia de execução .....	10
2	Automação Industrial.....	11
2.1	Equipamentos .....	13
2.1.1	CLP .....	13
2.1.2	Sensores e atuadores .....	14
2.2	Redes Industriais.....	14
2.3	Protocolos .....	15
2.3.1	Interfaces RS-485 e RS-232 .....	16
2.3.2	Protocolo MODBUS .....	17
2.3.3	Protocolo PROFIBUS.....	18
2.3.4	Padrão Ethernet.....	18
2.3.5	Protocolo FIELDBUS FOUNDATION.....	19
2.4	Sistema SCADA.....	19
3	Rede <i>Wireless</i> .....	20
3.1	Tipos de rede .....	20
3.2	Bandas de transmissão.....	21
3.3	Tipo de modulação.....	23
3.3.1	Modulação FHSS (espectro de dispersão de saltos de freqüência)....	23
3.3.2	Modulação DSSS (espectro de dispersão de seqüência direta) .....	24
3.3.3	Modulação OFDM (multiplexação ortogonal por divisão de freqüência) .	25
3.4	Padrões 802.x .....	26
3.4.1	Padrão 802.11x.....	26
3.4.2	Padrão 802.15.1 – <i>Bluetooth</i> .....	27
3.4.3	Padrão 802.15.4 – <i>Zigbee</i> .....	28
3.4.4	Infravermelho .....	30
3.5	Componentes físicos.....	30
4	Estudo de caso: Aplicação de rede sem fio em ambiente industrial.....	31
4.1	Dispositivos utilizados .....	32
4.2	Experimento 1 – Utilizando Kit didático .....	32
4.2.1	Comunicação entre dispositivos.....	33
4.2.2	Ligações físicas entre dispositivos .....	34
4.2.3	Controlador Altus GR-351 .....	34
4.2.4	WEBGATE .....	35
4.2.5	Supervisório .....	35
4.3	Experimento 2 – Utilizando um AGV .....	36
5	Testes realizados .....	38
5.1	Testes utilizando o Kit didático .....	38
5.1.1	Teste inicial .....	38
5.1.2	Ambiente Industrial .....	39
5.2	Testes utilizando o Robotino .....	39
5.2.1	Ambiente isolado.....	40
5.2.2	Ambiente compartilhado.....	40

5.2.3	Ambiente industrial.....	41
6	Análise dos resultados .....	41
	Conclusão.....	43
	Referências.....	44
	Apêndice I – Tabela de coleta de dados.....	46
	Apêndice II – Programa utilizado para teste .....	47
	Apêndice III – Passo a passo da configuração.....	48

## 1 Introdução

A tecnologia sem fio está cada vez mais presente no dia a dia das pessoas, seja com equipamentos comerciais, como é o caso das máquinas de cartão de crédito, até equipamentos pessoais como o celular, que hoje se tornou um equipamento indispensável na vida das pessoas. O avanço tecnológico em conjunto com a demanda gerada pela comodidade que traz este tipo de equipamento, o tem tornado cada vez mais acessível.

Já existem algumas aplicações de tecnologia sem fio na instrumentação de indústrias, ligando sensores e atuadores aos controladores (tipo ponto-a-ponto), em redes de sensores (ponto-multiponto) além de aplicações com transferência de maior quantidade de dados em níveis mais altos da hierarquia de rede. Como exemplo tem-se a empresa MRA instrumentação, que juntamente com a CROSSBOW apresentam uma gama de sensores *wireless* já disponíveis no mercado para aplicação industrial, além da *Phoenix Contact*, que apresenta diversos produtos que utilizam a tecnologia sem fio no setor industrial.

A segurança, a confiabilidade, a velocidade e a autonomia dos equipamentos sem fio dependem do tipo de tecnologia aplicada, e já existem algumas como a *bluetooth*, a *wi-fi* e a *zigbee* sendo utilizadas no ambiente industrial.

Nas indústrias, a tecnologia sem fio (*wireless*) pode representar um grande avanço em termos de agilidade de preparação de uma planta, alteração de *layout*, conexão de equipamentos móveis e maior liberdade de movimentação para os operadores da planta. Porém, a tecnologia sem fio precisa apresentar eficiência, confiabilidade e rapidez de transmissão, neste ambiente.

Dentro deste contexto, este trabalho tem por objetivo estudar os diversos tipos de tecnologia sem fio aplicadas à automação industrial e utilizar uma dessas tecnologias para simular a comunicação entre duas células didáticas industriais.

Estas células deverão interagir para a produção de uma peça, sendo que toda a comunicação entre elas deve ser realizada através de tecnologia sem fio, onde a simulação servirá para análise de funcionamento desta tecnologia. Para isso, será

utilizada a planta CIM (Centro Integrado de Manufatura) do Senai-Cimatec, onde será montada toda a parte prática deste trabalho.

Na Figura 1 é apresentado um mapa conceitual a partir do qual foi montada toda a estrutura de pesquisa para este trabalho.

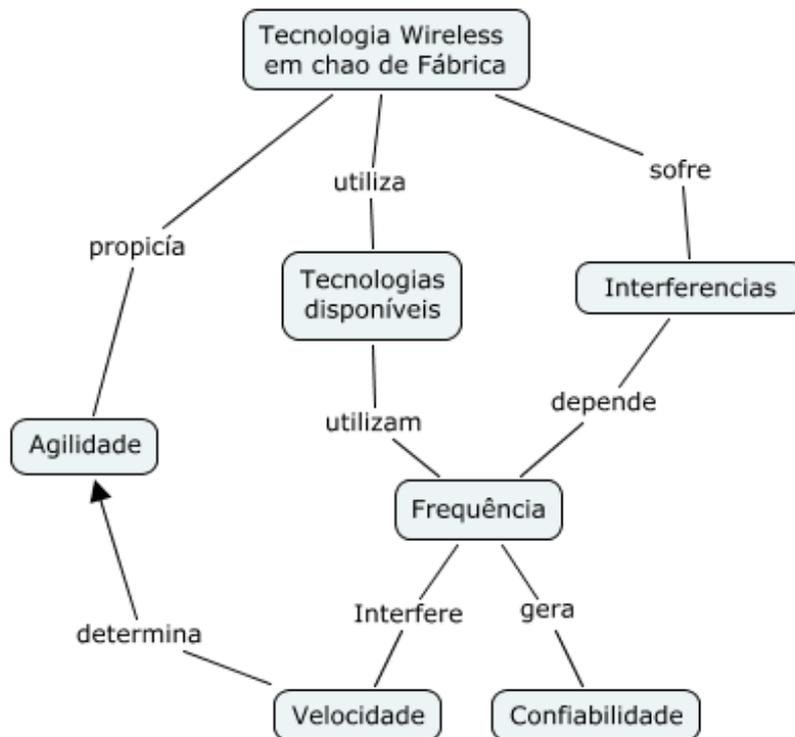


Figura 1. Mapa Conceitual

## 1.1 Justificativa

A tecnologia sem fio (*wireless*) permite a instalação de equipamentos industriais de forma mais rápida, pois não há necessidade de instalação de fiação para interligá-los. Assim, esta tecnologia vem sendo estudada para verificar a sua eficiência e confiabilidade em relação às instalações realizadas a partir de ligações físicas.

Um estudo comparativo entre as tecnologias existentes é importante para ressaltar as características, e os principais problemas encontrados por cada uma delas, quando aplicadas a um ambiente como o chão de fábrica, que é geralmente hostil, com alta temperatura e apresenta diversos equipamentos que emitem ondas

eletromagnéticas que podem afetar o funcionamento ou a comunicação entre equipamentos com a tecnologia sem fio.

## **1.2 Objetivos**

Com o desenvolvimento da tecnologia sem fio, diversos padrões de comunicação vêm surgindo no mercado, para aplicação nos diversos níveis de comunicação, inclusive no chão de fábrica, onde se encontram os sensores e atuadores de um sistema industrial.

Este trabalho tem como objetivos:

- Estudar os tipos de tecnologias sem fio existentes no mercado;
- Estudar a comunicação e interferência sofrida nos diversos níveis de frequência disponíveis para utilização;
- Verificar a existência e tipos de dispositivos industriais em uso com comunicação sem fio;
- Aplicar de forma prática os conhecimentos adquiridos, desenvolvendo assim habilidades e competências na montagem e configuração de duas estações didáticas através da tecnologia sem fio disponível;

## **1.3 Metodologia de execução**

Foi aplicada uma metodologia descritiva, para analisar e interpretar o uso da tecnologia sem fio no ambiente industrial, verificando os principais tipos e suas características.

Quanto aos procedimentos, foram utilizados documentos de fabricantes de equipamentos com tecnologia sem fio, artigos e estudos publicados sobre o assunto, para fundamentar a montagem final onde foi experimentada a tecnologia *wi-fi* e comparada com uma rede convencional com fio.

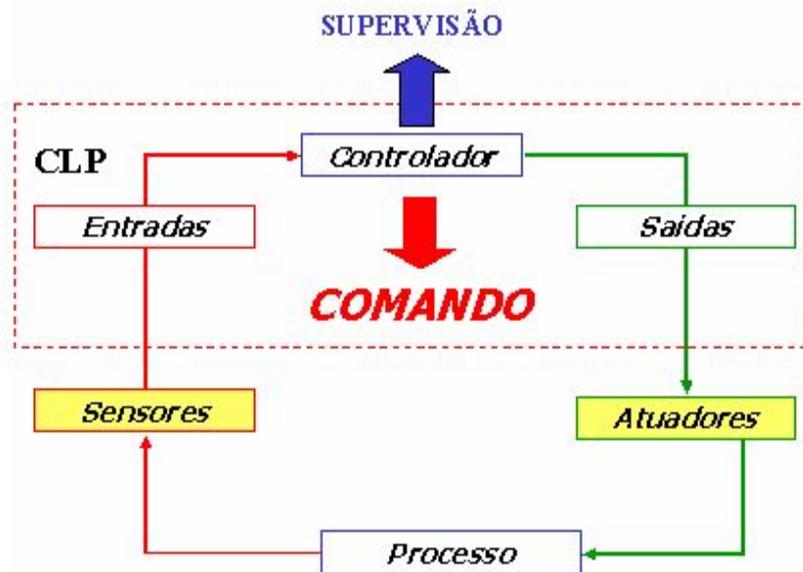
## 2 Automação Industrial

A automação industrial vem crescendo com a necessidade das indústrias em agilizar os seus processos, melhorar a qualidade dos seus produtos, aumentar a produção e o nível de informação, que cada vez mais precisa ser ágil, em função da crescente exigência dos mercados e da concorrência.

Com o crescimento do comércio mundial, as empresas têm buscado implementar mudanças nos seus processos produtivos, integrando seus sistemas e buscando a diminuição de custos, para poder oferecer produtos mais baratos e com maior agilidade. Desta forma, eles buscam atender seus clientes em tempos cada vez menores, oferecendo produtos de qualidade e melhorando seus sistemas de informação, tornando-se assim cada vez mais competitivas, uma vez que, de modo geral, um ambiente integrado torna-se um diferencial na concorrência e na conquista de novos mercados.

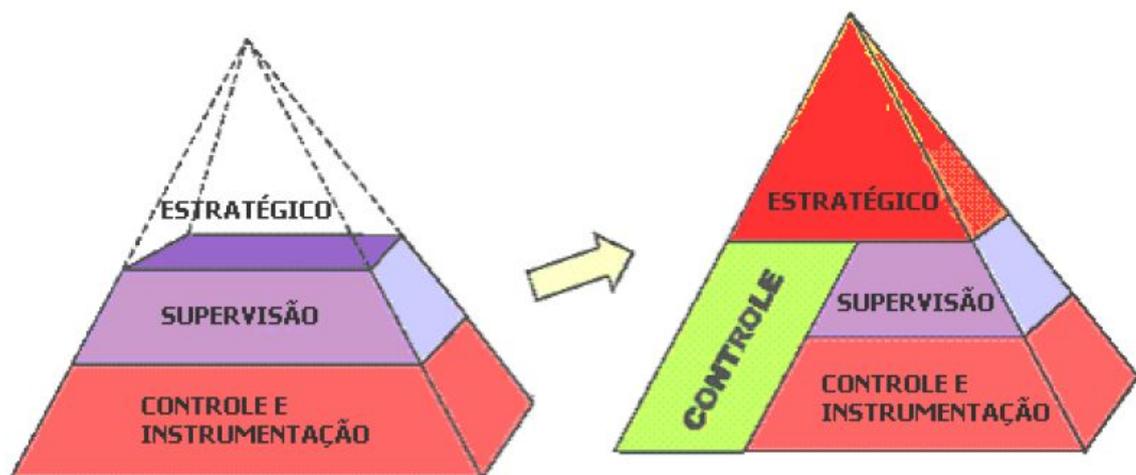
Para isso, as indústrias vêm automatizando processos antes executados manualmente, através de sistemas computadorizados de controle, medição e atuação. Segundo Seixas (2000), “a automação rompeu os grilhões do chão-de-fábrica e buscou fronteiras mais amplas, se abrangendo a automação do negócio ao invés da simples automação dos processos e equipamentos”. A automação industrial nada mais é do que a utilização de computadores, controladores, sensores e atuadores, na substituição de tarefas repetitivas antes realizadas com mão de obra humana, por sistemas mecanizados sob algum tipo de controle.

A figura 2 representa um sistema automatizado de controle sobre um processo produtivo, onde as variáveis que devem ser medidas no processo são lidas através de sensores e passadas para um controlador, onde as ações necessárias são tomadas e transmitidas aos atuadores, que irão interferir no processo corrigindo possíveis anormalidades, sendo todo o processo monitorado por um software próprio para supervisão, como um sistema SCADA para supervisão, controle e aquisição de dados.



**Figura 2. Sistema de controle**  
Fonte: BOARETO (2005)

O sistema SCADA compreende o nível de controle, instrumentação e supervisão, como pode ser visto na Figura 3 e tem como objetivo principal o monitoramento do processo através de comunicação em tempo real com os equipamentos do chão de fábrica.



**Figura 3. Pirâmide de controle**  
Fonte: BOARETO (2005)

Segundo Boareto, citado por MARTINS (2002), para o chão-de-fábrica, a automação, por exemplo, através de sistema SCADA, permite a coleta de dados em

tempo real dos processos de produção, possuindo, também, interfaces para a transferência dos dados para os sistemas administrativos da empresa. Com o desenvolvimento tecnológico as máquinas vem evoluindo e se tornando cada vez mais independentes, tomando decisões a partir de uma programação prévia, e assumindo tarefas antes realizadas apenas pelo homem.

## **2.1 Equipamentos**

Alguns equipamentos são fundamentais na automação industrial, dentre estes o CLP, os sensores e os atuadores. O CLP é o controlador que a partir de informações recebidas dos sensores, que enxergam os dados do sistema, emite um sinal para os atuadores interferirem no processo, de acordo com uma programação prévia do equipamento.

### **2.1.1 CLP**

Os CLPs são dispositivos que permitem o comando de máquinas e equipamentos de maneira simples e flexível, possibilitando alterações rápidas no modo de operá-los, por meio da aplicação de programas dedicados, que ficam armazenados em sua memória.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), CLP é um equipamento eletrônico digital com hardware e *software* compatíveis com aplicações industriais. Já, segundo a *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), CLP é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários sensores e atuadores.

Devido à sua característica de programação, o CLP pode ser utilizado para controlar diversos tipos de processos dentro de uma indústria, podendo funcionar individualmente ou em conjunto com outros CLPs, se comunicando e tomando decisões distintas, cada um em sua área de atuação.

O CLP é composto de entradas, por onde são lidas as informações de sensores, uma unidade central de processamento e saídas, que são utilizadas para

o acionamento de atuadores. A partir de um programa previamente gravado em sua memória, o CLP lê suas entradas, e de forma rápida toma a decisão e aciona as saídas, em função da lógica implementada pela sua programação.

### **2.1.2 Sensores e atuadores**

O Sensor é definido como um dispositivo sensível a fenômenos físicos, tais como: temperatura, umidade, luz, pressão, entre outros. Por meio dessa excitação, os sensores enviam um sinal para os dispositivos de medição e controle (SILVEIRA, 1998).

Os sensores são utilizados na captação de informações de um processo, podendo ser considerados como os sentidos da automação, em analogia ao corpo humano. É através deles que os controladores obtêm informações sobre o processo, para que possam atuar, modificando e controlando, portanto, o sistema.

Os atuadores são dispositivos que aplicam uma determinada força de deslocamento ou outra ação física, definida pelo sistema controlador, por meio de uma ação de controle. Podem ser magnéticos, hidráulicos, pneumáticos, elétricos ou de acionamento misto. Como exemplo, há: válvulas e cilindros pneumáticos, válvulas proporcionais, motores, aquecedores, entre outros (SILVEIRA, 1998).

## **2.2 Redes Industriais**

Com o avanço da microeletrônica e o surgimento dos CLPs, o meio industrial passou a contar cada vez mais com a automação dos seus processos, na tentativa de obter uma maior produtividade e integração entre chão-de-fábrica e o ambiente corporativo.

Para que essa integração pudesse ser realizada, foram interligados equipamentos e controladores de diversas etapas do processo, criando assim uma rede de comunicação, para que os diversos processos e equipamentos pudessem interagir, trocando informações.

Segundo Boareto (2005), “rede de comunicação industrial é o conjunto de equipamentos e softwares utilizados para propiciar o trânsito de informações da produção, entre os diversos níveis hierárquicos de um processo industrial.”

Para permitir a comunicação entre estes equipamentos, foram criados protocolos, que atuam como regras de funcionamento: Assim, as informações são transmitidas em pacotes de bits definidos pelo protocolo, propiciando o transito das informações.

### **2.3 Protocolos**

O protocolo de comunicação é um conjunto de regras ou uma linguagem de comunicação que vai permitir que dois equipamentos ligados em rede se entendam. Ou seja, qualquer equipamento que conheça exatamente as regras e convenções do protocolo poderá se comunicar com os outros equipamentos ligados à rede.

Os protocolos podem ser proprietários ou abertos. O primeiro é definido por uma empresa e seu código não é disponibilizado a usuários e outros fabricantes, enquanto que o segundo tem seu código divulgado para todos que pretendam utilizá-lo.

Os protocolos, atualmente adotados em redes industriais, são baseados em um documento desenvolvido pela ISO, organização internacional de padronização. Esse documento, denominado OSI é um modelo de referência para o desenvolvimento de protocolos de comunicação.

A Figura 4 apresenta o modelo de redes OSI com sua estrutura dividida em sete camadas. Qualquer fabricante de *software* ou equipamentos de rede pode utilizar deste modelo, pois ele é aberto e foi criado para permitir a integração entre equipamentos de fabricantes distintos. Este modelo subdivide a comunicação em etapas, onde cada camada tem suas regras de comunicação e uma função definida.

Um protocolo aberto não necessariamente tem que utilizar todas as camadas do modelo, mas deve seguir o padrão e as regras das camadas utilizadas para permitir a compatibilidade com o modelo.



**Figura 4. Modelo OSI**  
Fonte: BOARETO (2005)

No modelo OSI, verifica-se que a camada um contém o meio físico de transmissão (cabos condutores, fibra óptica ou atmosfera) e a interface de rede, que converte a grandeza física em valor digital. Para redes industriais, o meio físico é geralmente um condutor elétrico, compondo um barramento. Porém, atualmente vem crescendo as aplicações sem fio que utilizam a atmosfera como meio de transmissão.

### **2.3.1 Interfaces RS-485 e RS-232**

Quando utilizado o meio físico em ambientes industriais, a interface mais utilizada é a RS-485. Ela funciona de modo análogo ao de uma porta serial de microcomputador (RS-232). A diferença entre os dois é a forma como o sinal é transmitido: de modo diferencial na RS-485 e como nível lógico na RS-232. Como o modo diferencial não utiliza o sinal de terra (GND) para se obter níveis lógicos, diminui-se o efeito de ruídos externos. Como vantagem, pode-se ter um comprimento maior de cabos.

Outra diferença entre estas duas interfaces está na capacidade da RS-485 compor barramentos, permitindo a interligação de dispositivos em rede, enquanto que a RS-232 foi projetado para ligar somente dois terminais no modo ponto-a-ponto. Diversos protocolos de comunicação como: PROFIBUS, MODBUS e FIELDBUS FOUNDATION utilizam a interface física RS-485, por isso, existe uma grande disseminação do padrão.

Protocolos do tipo RS-485 e RS-232 transmitem até oito bits de dados por quadro e possuem o mesmo formato de quadro usado na porta serial via UART dos microcomputadores. A UART é um chip que transforma em serial a saída paralela do barramento do computador, para realizar a transmissão via porta serial. O sincronismo acontece quando se detecta o início do quadro, sem a necessidade de se transmitir um sinal de *clock* para sincronizar a transmissão dos bits. Os protocolos, como PROFIBUS e MODBUS, utilizam-se da camada física RS-485 ou RS-232 e acrescentam uma quantidade maior de bits por quadro, utilizando mecanismos mais complexos para manter a integridade dos dados.

### **2.3.2 Protocolo MODBUS**

Na rede de controle, onde ocorre a comunicação serial entre o PC e o CLP, o protocolo de comunicação MODBUS é muito utilizado (BOARETTO,2005). Esse protocolo é usualmente implementado com interface serial RS-232 ou RS-485.

O MODBUS é um protocolo de transferência de mensagens da camada de aplicação, localizado no nível sete do modelo de referência OSI, onde a comunicação é feita no modo mestre/escravo entre dispositivos conectados em diferentes tipos de redes e barramentos.

O protocolo MODBUS é do tipo requisição/resposta e oferece serviços especificados por códigos de funções. É definida uma estrutura de mensagens composta por bytes, a qual os dispositivos são capazes de reconhecer, independentemente do tipo de rede utilizada (BOARETTO, 2005).

Durante a comunicação em uma rede MODBUS, o protocolo determina como cada controlador sabe seu endereço, reconhece uma mensagem endereçada, determina o tipo de ação a ser tomada e extrai qualquer dado ou outra informação

contida na mensagem. Se sua resposta é solicitada, o CLP construirá a mensagem de resposta e a mandará, usando o protocolo MODBUS.

Os equipamentos se comunicam no protocolo MODBUS utilizando uma técnica de mestre escravo, onde um dispositivo mestre solicita uma ação ou resposta do escravo que responde realizando a ação solicitada.

### **2.3.3 Protocolo PROFIBUS**

O PROFIBUS é um protocolo industrial aberto baseado em barramentos seriais. Representa, na verdade, um conjunto de três protocolos de comunicação denominados de Profibus-DP (*Decentralized Periphery*), Profibus-FMS (*Fieldbus Message Specification*) e Profibus-PA (*Process Automation*). A versão PA é voltada para aplicações em processos contínuos, enquanto que as versões DP e FMS são voltadas para as áreas de sistemas de manufatura e automação industrial em geral (PEREIRA & LAGES apud BOARETTO, 2005).

O acesso ao meio físico é realizado por dois métodos, comunicação mestre/escravo e anel lógico de passagem de *token* entre os mestres. Toda a comunicação é inicializada por um mestre, os escravos apenas respondem às requisições.

### **2.3.4 Padrão Ethernet**

O padrão Ethernet é um dos mais populares e difundidos nas redes corporativas instaladas atualmente. Ao contrário dos protocolos industriais, como MODBUS e PROFIBUS que são determinísticos, no padrão Ethernet ocorrem colisões de dados na rede, que tornam o tempo de resposta não determinístico. Do ponto de vista de automação, isto não é recomendável, pois a falta de definição do tempo de resposta de uma informação pode comprometer o desempenho do sistema que está sendo controlado, (BOARETTO, 2005).

O protocolo Ethernet não apresenta algumas características desejáveis em ambientes de controle em tempo real, como determinismo e segurança na transmissão dos dados. No entanto, Ethernet é provavelmente a tecnologia de rede mais difundida, que permite uma grande escala de produção e disponibilidade, e, por

conseqüência, baixo custo, tornando-se uma alternativa bastante atrativa para interconexão de dispositivos de automação.

Atualmente o padrão Ethernet já vem sendo empregado em grandes instalações industriais. Um exemplo de aplicação é a fábrica do automóvel Golf na Alemanha, que utiliza o padrão Ethernet em todos os níveis da automação, tendo mais de oito mil pontos ativos na rede, utilizando velocidades diferentes. 100Mbps em nível de chão de fábrica e 1Gbs nos níveis mais altos de supervisão e nível de controle.

### **2.3.5 Protocolo FIELDBUS FOUNDATION**

FIELDBUS FOUNDATION é uma técnica de comunicação digital para rede de campo que conecta o CLP com equipamentos “*fieldbus*” como sensores, atuadores e controladores. O Fieldbus é uma rede de trabalho local para instrumentos usados em processos e automação de mão de obra com capacidade embutida para distribuir o controle da aplicação através da rede de trabalho. Os dispositivos podem ser ligados à rede e configurados de acordo com a necessidade do usuário, desde sistemas pequenos até plantas inteiras.

## **2.4 Sistema SCADA**

Sistemas Scada (supervisão controle e aquisição de dados) são aplicativos que permitem a supervisão e monitoração do processo produtivo através de telas gráficas de forma animada com indicação instantânea das variáveis de processo. Os dados são adquiridos a partir da comunicação com o CLP.

A interação entre os operadores e as estações que monitoram todo o sistema (servidor SCADA) é efetuada através de uma IHM (Interface Homem-Máquina), em que é comum a visualização de um diagrama que representa toda a planta fabril, mostrando os valores atuais dos instrumentos e os alarmes ativos.

### **3 Rede Wireless**

A utilização da tecnologia sem fio (*wire*=fio e *less*=sem) vem crescendo nos últimos anos, tanto na área comercial como na área industrial. Para a automação, ela é uma opção muito interessante, pois permite interligar redes sem a necessidade de construção e instalação de estruturas de cabeamento para comunicar esses sistemas, agilizando este processo. Graças às facilidades geradas por esse tipo de tecnologia, como a mobilidade e agilidade, a mesma vem sendo utilizada na primeira camada OSI (física) para transmissão e recepção de dados, interligando equipamentos em substituição às instalações físicas.

Segundo Boaretto (2005), o princípio de funcionamento se baseia na transmissão de dados, utilizando a propagação das ondas eletromagnéticas. Entretanto, equipamentos de comunicação de dados wireless podem utilizar-se também de luz infravermelha ou laser, apesar das ondas de rádio (eletromagnéticas) ser o meio mais difundido.

Com o crescimento da tecnologia sem fio, o IEEE elaborou um padrão para as LANs sem fio, que recebeu a denominação de 802.11. Também conhecido como *WI-FI*, este padrão define basicamente todas as necessidades estruturais para a utilização da rede sem fio, como banda de frequência para transmissão, tipo de modulação utilizado (FHSS e DSSS), protocolos de controle, criptografia, e componentes físicos como placa de rede e ponto de acesso.

#### **3.1 Tipos de rede**

As redes podem ser classificadas em função do seu tamanho ou alcance da seguinte maneira:

- LAN – é uma rede local, criada para comunicar equipamentos em distâncias curtas de algumas dezenas de metros;
- WAN – Rede com proposta de alcance global

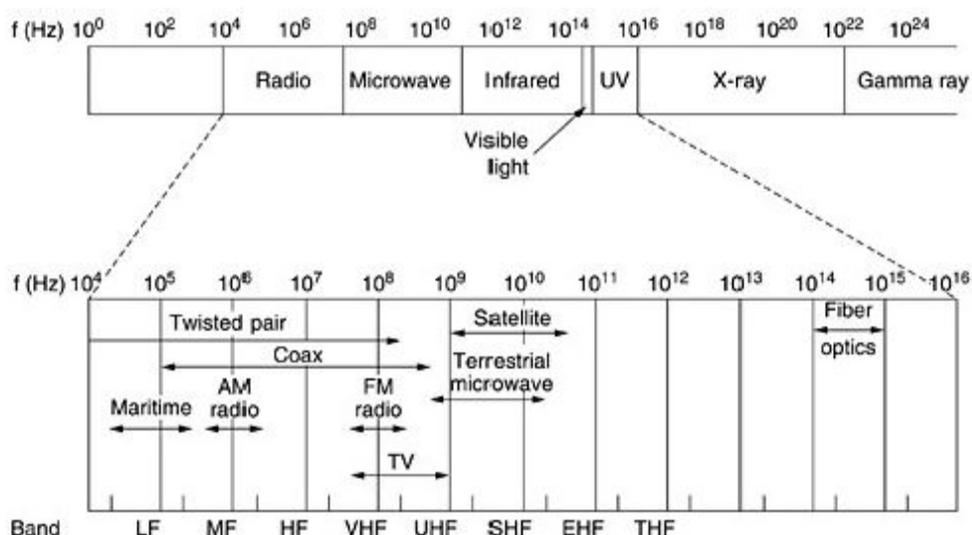
### 3.2 Bandas de transmissão

Segundo Tanenbaum (2003), alguns dos muitos desafios que tinham de ser enfrentados para a padronização das redes sem fio eram: i) descobrir uma banda de frequências adequada que estivesse disponível, de preferência em todo o mundo; ii) lidar com o fato de que os sinais de rádio têm um alcance finito; iii) assegurar que a privacidade dos usuários seria mantida, levando em conta a duração limitada da bateria; iv) preocupação com a segurança humana, pois existem questões levantadas pela sociedade como (as ondas de rádio causam câncer?); compreender as implicações da mobilidade dos computadores, e v) construir um sistema com largura de banda suficiente para ser economicamente viável.

O espectro eletromagnético é mostrado na Figura 5, onde as porções de rádio, microondas e infravermelho podem ser utilizadas para a transmissão de dados, desde que sejam moduladas em amplitude, frequência ou fase das ondas.

Deve-se avaliar ainda a facilidade de transmissão, propagação, reflexão, os riscos que possam causar aos seres vivos e a quantidade de informação que a frequência é capaz de transportar. Quanto maior a largura de banda, mais informações podem ser enviadas num dado intervalo de tempo. A largura de banda pode ser expressa em bits por segundo (bps), bytes por segundo (Bps) ou ciclos por segundo (Hz).

O volume de informações que uma onda eletromagnética é capaz de transportar está diretamente relacionado à sua largura de banda. Com a tecnologia atual, é possível codificar alguns bits por Hertz em frequências baixas; no entanto, comumente esse número pode chegar a oito em altas frequências; assim, um cabo coaxial com uma largura de banda de 750 MHz pode transportar diversos gigabits/s. (TANENBAUM, 2003).



**Figura 5. Divisões de Frequência**

Fonte: TANENBAUM (2003)

O espectro pode ser ainda classificado em relação à frequência conforme tabela abaixo, onde podemos relacionar a frequência com o comprimento de onda.

Pode-se verificar na tabela 2 que quanto maior a frequência, menor será o comprimento de onda, portanto menor será a antena necessária para captar esta frequência.

**Tabela 1. Classificação de frequências**

DENOMINAÇÃO	FREQUÊNCIA	COMPRIMENTO DE ONDA
Ondas longas – LF	10 kHz a 500 kHz	30 km a 0,60 km
Ondas médias – MF	500 kHz a 3 MHz	0,60 km a 100 m
Ondas Curtas – HF	3 MHz a 30 MHz	100 m a 1m
VHF	30 MHz a 300 MHz	10 m a 1m
UHF	300 MHz a 3 GHz	1 m a 10 cm
SHF	3 GHz a 30 GHz	10 cm a 1 cm

Segundo Boaretto (2005), os sinais transmitidos na faixa de UHF nas frequências de 420-450 MHz, 902-928 MHz e 2400-2483,5 MHz são os mais utilizados em aplicações industriais. As faixas de frequências de 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2400-2483,5 MHz, 5725-5875 MHz e 24,00-24,25 GHz são denominadas de Aplicações Industriais, Científicas e Médicas (ISM), faixas liberadas pela ANATEL, não havendo a necessidade de autorização formal do órgão para

funcionamento do *link*. Essas faixas também são usadas por dispositivos com tecnologia de espalhamento espectral (*spread spectrum*).

Já a faixa de infravermelho é muito utilizada em comunicação de curto alcance, como por exemplo, em controle remoto que tem um alcance reduzido e é altamente direcional.

### **3.3 Tipo de modulação**

As transmissões digitais sem fio utilizam a tecnologia de espalhamento espectral, onde o sinal é espalhado sobre uma largura de faixa maior que a largura de faixa que contém a informação.

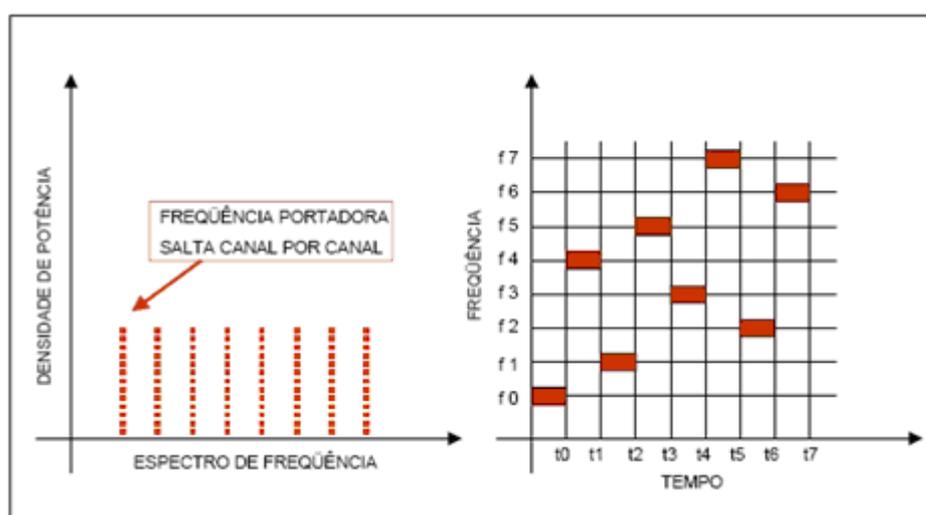
A tecnologia *Spread Spectrum* foi desenvolvida originalmente durante a Segunda Guerra Mundial, pois, os militares procuraram utilizar as ondas da portadora que se assemelhavam a ruído aleatório, tornando difícil para um observador até saber se uma comunicação estava sendo realizada. É claro que as ondas não eram realmente aleatórias, eram combinadas com antecedência, para que o destinatário pretendido conseguisse decodificar o sinal, o mesmo princípio utilizado em sistemas modernos de criptografia.

A técnica de modulação de *spread spectrum* pode ser implementada através dos seguintes processos: Salto de Freqüência (*Frequency Hopping*) e Seqüência Direta (*Direct Sequence*) (BOARETTO, 2007)

#### **3.3.1 Modulação FHSS (espectro de dispersão de saltos de freqüência)**

O FHSS é uma técnica de salto de freqüência onde a informação a ser transmitida salta entre canais diferentes em uma seqüência conhecida. São utilizados 79 canais, cada um com 1Mhz de largura, utilizando a faixa ISM de 2,4 GHz. O receptor deve estar sincronizado com o transmissor, devendo conhecer previamente a seqüência de canais em que o transmissor vai saltar, para poder sintonizar e receber os pacotes de informação. Como transmissor e receptor conhecem as diversas freqüências e o tempo de parada em cada uma, conseguem se comunicar e ao mesmo tempo garantir a segurança, pois um intruso para ler a informação deverá conhecer esta seqüência de saltos (TANENBAUM, 2003).

O FHSS, além de ter características de segurança em função do seu modo de operação, é praticamente insensível à interferência de rádio. A Figura 6 representa graficamente uma transmissão com modulação FHSS, onde estão representadas as mudanças de frequência de forma aleatória pelo tempo e a densidade de potencia em espectros específicos de frequência.

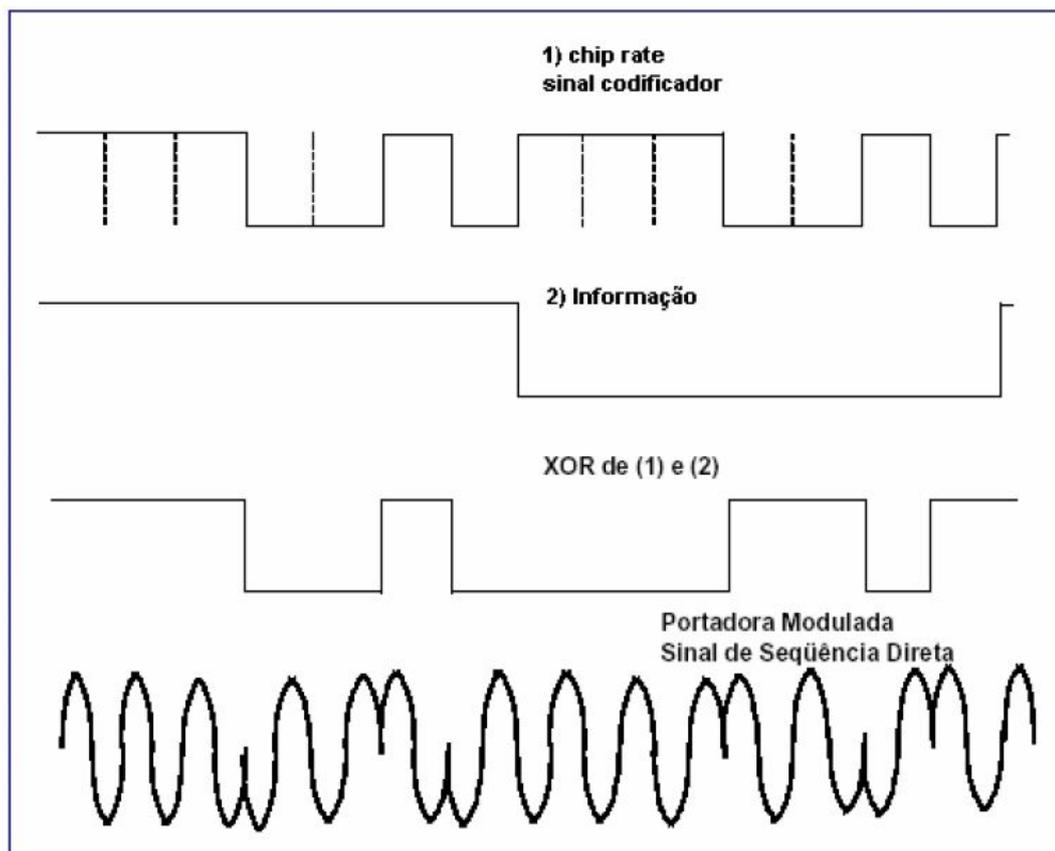


**Figura 6. FHSS**  
Fonte: BOARETO (2005)

### 3.3.2 Modulação DSSS (espectro de dispersão de seqüência direta)

O DSSS é um método de modulação restrito a 2Mbps. Cada bit é transmitido como 11 chips (sinal codificador com características pseudo-randômica) utilizando a modulação por mudança de fase. O sinal codificador é um sinal binário, gerado numa frequência maior do que a taxa do sinal de informação, com isso o sinal modulado será composto por um sinal codificador com informações embutidas de maneira espalhada.

No espelhamento de dispersão de seqüência direta DSSS, os dados ou informações são misturados com um código pulsado pseudo-aleatório, gerando uma nova onda a partir de um circuito OU exclusivo. Esse sinal gerado é utilizado para inverter a fase de uma frequência portadora. A figura 7 representa as etapas de codificação e modulação de acordo com o padrão "chip rate".



**Figura 7. DSSS**  
 Fonte: BOARETO (2005)

No receptor o sinal é recuperado utilizando um gerador de código similar e sincronizado ao código gerado na transmissão, recuperando assim a informação passada.

### 3.3.3 Modulação OFDM (multiplexação ortogonal por divisão de frequência)

A modulação OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) transmite em até 54 Mbps na banda ISM mais larga, de 5 GHz. Como sugere o termo FDM, são usadas diferentes frequências — 52 delas, sendo 48 para dados e 4 para sincronização — de modo semelhante ao ADSL. Tendo em vista que as transmissões estão presentes em várias frequências ao mesmo tempo, essa técnica é considerada uma forma de espectro de dispersão, mas diferente do CDMA e do FHSS. A divisão do sinal em muitas bandas estreitas tem algumas vantagens fundamentais em relação ao uso de uma única banda larga, incluindo melhor imunidade à interferência de banda estreita, e a possibilidade de usar bandas não contíguas. É usado um sistema de codificação complexo, baseado na modulação

por deslocamento de fase, a fim de alcançar velocidades de até 18 Mbps e, na QAM, velocidades acima dessas. A 54 Mbps, 216 bits de dados são codificados em símbolos de 288 bits. Parte da motivação para a OFDM é a compatibilidade com o sistema europeu HiperLAN/2. A técnica tem boa eficiência de espectro em termos de bits/Hz e boa imunidade ao esmaecimento de vários caminhos.

### 3.4 Padrões 802.x

Com o objetivo de resolver a questão de incompatibilidade entre dispositivos de diversos fabricantes, o IEEE e o ETSI desenvolveram vários padrões para rede local sem fio (MONTEBELLER, 2006).

Dentre os padrões para rede sem fio a grande maioria utiliza a frequência de 2,4GHz, pois esta é liberada para aplicações industriais, científicas e médicas. A faixa livre varia em cada país conforme tabela 3.

**Tabela 2. Faixa livre por país**

<b>País</b>	<b>Faixa (GHz)</b>
EUA	2.4 – 2.483
Europa	2.4 – 2.483
Japão	2.471 – 2.497
França	2.446 – 2.483
Espanha	2.445 – 2.475

#### 3.4.1 Padrão 802.11x

O padrão 802.11 foi o primeiro padrão a ser definido em 1997, e utiliza como referência os protocolos da ethernet convencional, sendo focado nas duas últimas camadas do modelo OSI. Este padrão definia todas as necessidades estruturais e tinha o objetivo de conectar estações fixas, portáteis e móveis dentro de uma área local.

O padrão 802.11 possui duas versões, a primeira e mais simples utilizando modulação FHSS com taxa de comunicação chegando a 1Mbps, e na sua versão mais complexa é utilizada a modulação DSSS, onde os dados são transmitidos em várias frequências ao mesmo tempo, chegando a uma taxa de transferência de 2Mbps.

O padrão 802.11a foi criado para operar em uma faixa de frequência de 5GHz, chegando a uma taxa de 54Mbps, porém utilizando a modulação OFDM, o que o torna incompatível com os padrões 802.11b/g que hoje são os mais utilizados.

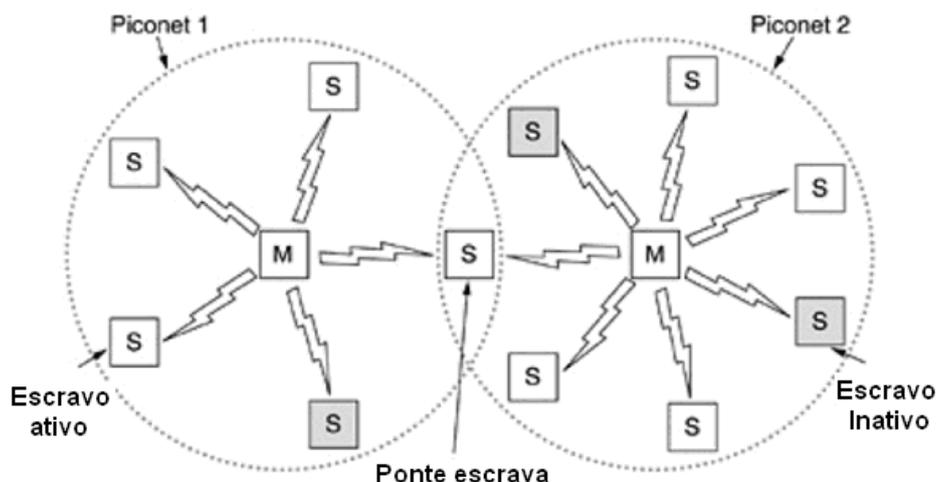
Em 1999, surge a especificação 802.11b com mudanças apenas na camada física para permitir o aumento da velocidade. Este padrão opera na frequência de 2,4GHz e utiliza a técnica de modulação DSSS, chegando a uma taxa de transferência de 11Mbps, comparável ao padrão ethernet.

Já em novembro de 2001 uma nova versão aperfeiçoada do 802.11b, a 802.11g, foi aprovada pelo IEEE, utilizando a mesma banda de frequência, porém permitindo a LAN Alcançar a velocidade de 54Mbps com a utilização da modulação por OFDM.

#### **3.4.2 Padrão 802.15.1 – *Bluetooth***

Um grupo denominado de SIG foi criado em 1994 pela Ericsson, IBM, Intel, Nokia e Toshiba, com o objetivo de desenvolver um padrão para interligar equipamentos sem a utilização de cabos, utilizando radio de curto alcance, baixa potencia e baixo custo. O projeto foi denominado de *Bluetooth* e começou a crescer invadindo o espaço das LANs, sendo aprovado em 2002 pelo IEEE como padrão 802.15.1.

A unidade básica de um sistema Bluetooth é uma piconet, rede composta de um nó mestre com até sete escravos. Estes devem estar a uma distancia máxima de 10 metros e podem interligar duas redes diferentes formando uma scatternet demonstrada na figura 8.



**Figura 8. Scatternet**  
 Fonte: TANENBAUM (2003)

Um nó escravo pode ser colocado em estado de estacionado (inativo) pelo mestre para economizar energia. Neste estado o nó escravo não pode fazer nada a não ser responder a um chamado de ativação do mestre.

A arquitetura mestre/escravo foi escolhida com a intenção de criar chips baratos, aproximadamente cinco dólares, e para atender tal necessidade os chips são “não inteligentes” e fazem apenas o que o mestre manda.

O padrão Bluetooth tem muitos protocolos e camadas, sendo que ele não segue a estrutura padrão do modelo OSI nem do TCP/IP, porém a sua camada física corresponde ao modelo OSI, lidando com modulação e transmissão de rádio operando em uma frequência de 2,4GHz.

A camada física é a responsável pela movimentação de Bits entre mestre e escravo, utilizando os mesmos 79 canais do padrão 802.11 o que gera interferência entre os dois padrões. Como o Bluetooth salta mais rápido entre as diferentes camadas é muito mais provável que o Bluetooth interfira no 802.11 que o contrário. O IEEE já está tentando encontrar uma solução para adequar os dois padrões. (TANENBAUM,2003)

### 3.4.3 Padrão 802.15.4 – Zigbee

O ZigBee é um padrão para rede de telemetria sem fio, otimizada para baixo consumo de potência e longa duração da bateria. É um padrão wireless para redes

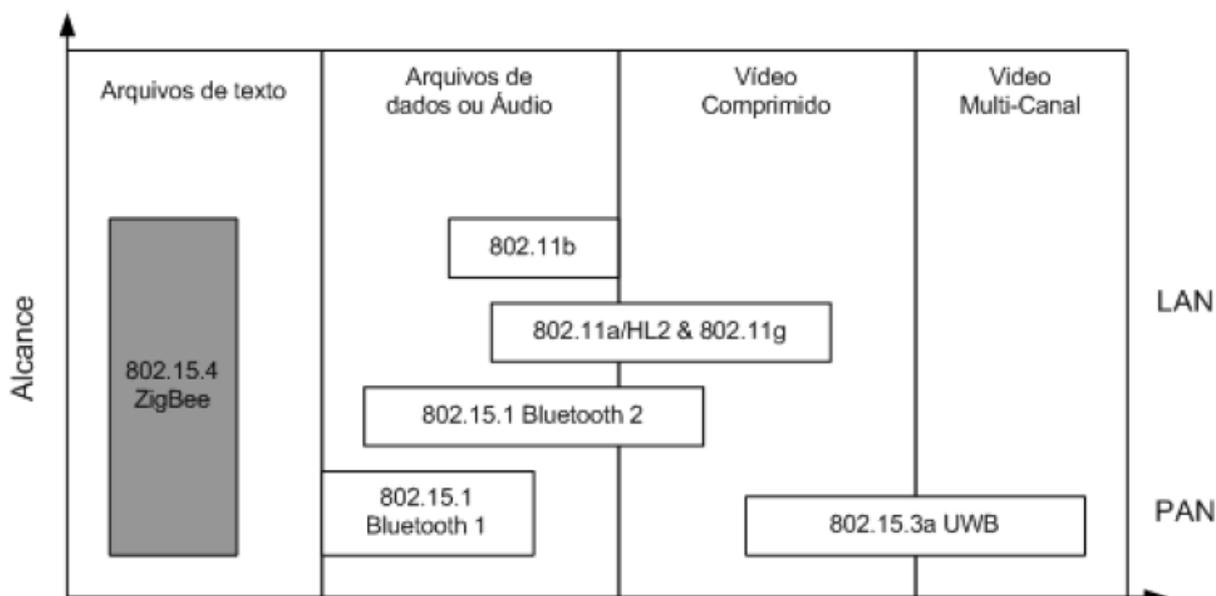
de curto alcance e boa relação custo benefício. Foi desenvolvido para aplicações de baixo custo alimentados por bateria, tais como automação predial, controle industrial e comercial.

O Zigbee tem as seguintes características de funcionamento:

- Baixo consumo;
- Operação na banda ISM;
- Protocolo simplificado;
- Centenas de dispositivos por rede;
- Flexibilidade na configuração de rede;
- Taxa de dados de até 250Kbps;
- Tamanho do hardware reduzido.

Segundo Monsignore (2007), um estudo feito em 2005 com uma rede *ZigBee* na Suécia, em ambiente industrial pesado apresentou funcionamento satisfatório mesmo quando a distância entre sensores foi maior que o especificado no padrão. O ambiente industrial hostil a rádio aparentemente não afetou o desempenho a um grau perceptível.

O padrão *ZigBee*, juntamente com o *Bluetooth*, pertence a um mesmo tipo de rede, que tem um alcance reduzido, porém com uma taxa de transmissão menor, maior capacidade de número de dispositivos por rede e consumo bem menor. A figura 9 mostra o posicionamento da tecnologia disposição das tecnologias wireless em função do alcance da rede e da quantidade de dados transmitido, nela



**Figura 9. Posicionamento das tecnologias Wireless**

Fonte: MONSIGNORE (2007)

#### 3.4.4 Infravermelho

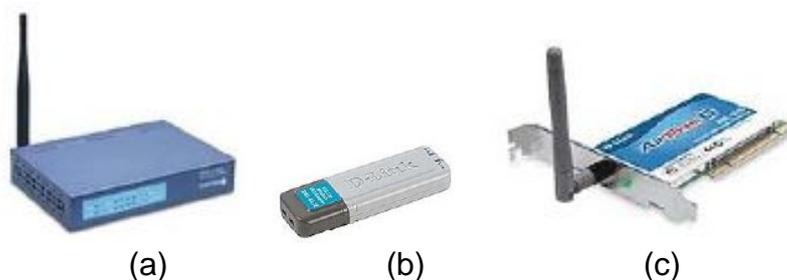
A faixa de infravermelho é utilizada em larga escala na comunicação de dados de curto alcance, como, por exemplo, controles remotos. Essas ondas são altamente direcionais, e os equipamentos que as utilizam são baratos e fáceis de construir. As ondas infravermelhas não atravessam objetos opacos e podem ser utilizadas somente em ambientes sem a incidência de luz solar.

### 3.5 Componentes físicos

As redes *wireless* podem ser conectadas a redes ethernet através de um equipamento denominado de Ponto de acesso, figura 10a, estes funcionam como transmissores de rádio, transferindo os dados entre a rede de cabos fixos e a rede sem fio. Ele é similar a um Hub em uma rede cabeada, sendo o sinal de rádio o substituto dos cabos.

O ponto de acesso pode funcionar ainda como um roteador para atender a vários usuários utilizando um único endereço IP. Estes equipamentos tem alcance de até 100 metros, embora isso dependa das características do ambiente em que se encontra instalado.

Computadores que não dispõem de tecnologia sem fio, podem ser conectados a uma rede *WI-FI* através da instalação de equipamentos como adaptadores *USB/Wireless*, (Figura 10b) ou *Wireless/PCI* (Figura 10c), ou ainda placas PCMCIA.



**Figura 10. (a) Ponto de acesso (b) Adaptador USB/Wireless (c) Placa PCI/Wireless**

Além destes equipamentos existem dispositivos como *Palmtops*, *Handhelds* e *notebooks*, (Figura 11), que nas suas versões mais atuais, já são fabricados com a comunicação sem fio integrada ao equipamento.



**Figura 11. (a) Palmtop (b) Handheld (c) Notebook**

#### **4 Estudo de caso: Aplicação de rede sem fio em ambiente industrial.**

Como aplicação foi criada uma situação problema onde a partir das tecnologias existentes no SENAI-Cimatec deveria ser utilizada uma rede sem fio para controlar um processo industrial, com um sistema de supervisão Scada onde o usuário a partir de um Notebook com comunicação sem fio deveria alterar o programa do CLP, ler e escrever dados via supervisor e acionar um dispositivo a nível de chão de fábrica.

A aplicação deveria ser feita em ambiente industrial, ou o mais próximo possível disso, onde outros equipamentos possam afetar a transmissão e recepção dos dados.

Um segundo experimento foi feito utilizando um Robô móvel da FESTO Didatic que é controlado em tempo real via rede sem fio, funcionando neste experimento como um AGV.

#### **4.1 Dispositivos utilizados**

O teste foi realizado com os seguintes componentes que estavam disponíveis para uso, e em duas etapas:

- A. Notebook Acer Aspire 5100 com rede wireless padrão 802.11g
- B. Ponto de acesso Cisco Linksys Padrão 802.11g
- C. CLP Altus GR351;
- D. WEBGATE Altus 9909
- E. AGV Robotino

Em um segundo momento foi utilizado um robô da empresa FESTO, controlado e programado via rede wireless com transmissão de imagem e controle de programação em tempo real para análise da rede em transmissões de maior quantidade de dados.

#### **4.2 Experimento 1 – Utilizando Kit didático**

Com os dispositivos anteriormente citados foi montado um kit para testes conforme figura 12, onde uma fonte de 24 Vcc alimenta o CLP altus GR-351 e o Webgate Altus 9909, sendo as entradas e saídas ligadas a plugues do tipo banana.



**Figura 12. Kit para teste**

Inicialmente foi utilizado este kit para troca de dados entre CLP e computador, programação do CLP e supervisão via Elipse SCADA, onde dados foram lidos e mostrados em tela para análise de funcionamento do sistema com a utilização da rede wireless.

#### **4.2.1 Comunicação entre dispositivos**

Devido à falta de controladores com dispositivos de comunicação wireless, foi utilizado um CLP Altus que utiliza um protocolo proprietário, o Alnet I, para comunicação com o Webgate que traduz o padrão Alnet I em Ethernet. Assim é possível a partir de uma rede ethernet via protocolos TCP/IP comunicar o CLP com um computador.

Uma vez comunicando o controlador via ethernet, foi utilizado o ponto de acesso para conectar a rede ethernet à rede wireless que comunica com o notebook, assim foi possível estabelecer a conexão entre CLP e notebook através de uma rede wireless, ou seja, uma comunicação sem fio.

Com a comunicação entre CLP e Notebook estabelecida, pode ser feita a interligação das entradas e saídas do CLP a um processo para permitir o controle e supervisão dos dados.

#### 4.2.2 Ligações físicas entre dispositivos

Foram utilizados diversos tipos de cabos para a conexão entre os componentes devido à diferença de padrões utilizados nas entradas dos componentes. O CLP tem entrada por conector RJ-45, o WEBGATE tem entrada de rede Ethernet também com padrão RJ-45 e entradas de comunicação serial com conector RJ-11 e o computador utilizado tem saída USB.

A ligação física entre os diversos componentes foi feita a partir de cabos conversores fornecidos pela Altus sendo um conversor RJ-45 para DB9 e um DB9 para RJ-11 utilizados na ligação entre CLP e Webgate.

Para configuração da webgate foi necessário ainda um cabo conversor RJ-11 para DB-9 ligado a um conversor USB/Serial.

#### 4.2.3 Controlador Altus GR-351

O controlador utilizado tem as seguintes características:

- 14 pontos de entradas digital de 24Vdc;
- 10 pontos de saída;
- 2 saídas rápidas tipo frequência, trem pulso ou PWM;
- 1 Contador rápido;
- Memória Flash 32K;
- Comunicação MODBUS;
- Módulo relógio com bateria incorporada.



Figura 13. CLP Altus GR-351

Este controlador foi escolhido devido à possibilidade de comunicação via padrão Ethernet, para tanto foi utilizado o software fornecido pelo fabricante, o Mastertool, para programar e transferir o programa para o clp.

Com este software é possível fazer a programação utilizando ladder e transferir o programa para o CLP através de uma comunicação serial ou por uma rede Ethernet.

#### **4.2.4 WEBGATE**

O webgate utilizado é fabricado pela Altus e é o responsável pela conversão entre o padrão proprietário da Altus, o Alnet I em Ethernet, para tanto foi necessário configurar via comunicação serial alguns parâmetros de rede como o endereço IP que pode ser fixo ou dinâmico, mascara de rede e gateway padrão conforme Anexo II.

Depois de configurado, este equipamento é ligado a uma rede Ethernet e ao CLP, fazendo as conversões de protocolo necessária para que o CLP se comunique através do protocolo TCP/IP.

#### **4.2.5 Supervisório**

Um sistema supervisório, Figura foi criado para medir o tempo de resposta do sistema quando ligado em rede com fio, e comparar ao tempo de resposta da rede sem fio em ambientes distintos, com e sem interferência. Um botão inicia a contagem de tempo no CLP e no supervisório ao mesmo tempo, e quando o CLP encerra a contagem de três segundos, aciona uma saída que está sendo supervisionada, suspendendo a contagem do supervisório. Comparando o valor acumulado no supervisório com os três segundos do CLP obtemos o tempo de comunicação entre o CLP e o Supervisório.



Figura 14. Supervisório

### 4.3 Experimento 2 – Utilizando um AGV

Um excelente meio para testar a comunicação sem fio nos níveis de controle e de chão de fábrica é a utilização de um AGV, pois o mesmo necessita de uma comunicação remota já que está sempre em movimento, e é utilizado em ambientes industriais.

O Cimatic possui um AVG da Takuma, Figura 13, que é utilizado para fazer transporte de peças entre as diversas estações da planta CIM. O mesmo se comunica através de sinal infravermelho apenas nos pontos onde os transmissores estão instalados. Isso faz com que durante a sua movimentação o AGV perca a comunicação com o controle da planta, retomando a comunicação ao chegar a uma estação.

Este equipamento é controlado por um CLP do mesmo fabricante, que poderia ser substituído ou interligado ao CLP Altus GR-351, permitindo assim a comunicação em tempo real com o notebook.



Figura 15. AGV

Para não ter que alterar toda a estrutura do equipamento, foi utilizado um robô didático fabricado pela FESTO, o ROBOTINO (Figura 16), que já está equipado com uma placa wireless padrão 802.11g, permitindo assim a comunicação direta entre o Robô e o Computador. Com esse sistema é possível fazer a programação em tempo real, ler e escrever em variáveis, receber um sinal de vídeo e ler sensores analógicos e digitais.

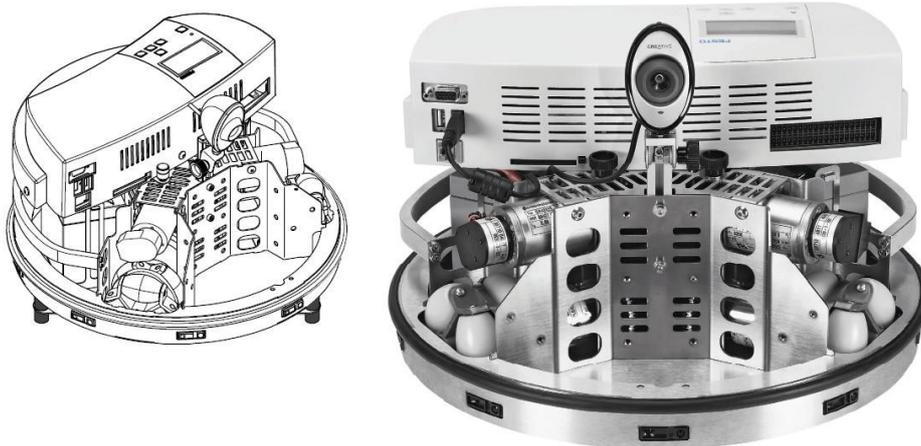


Figura 16. ROBOTINO

## **5 Testes realizados**

Para uma melhor observação do funcionamento da rede sem fio em ambiente industrial, foram utilizados dois sistemas diferentes. No primeiro experimento, um CLP foi programado e colocado sob supervisão em diferentes tipos de ambientes para avaliar o seu funcionamento. Em um segundo experimento, foi utilizado o robô da Festo para avaliar a mesma rede sob a necessidade de transferência de uma maior quantidade de dados. O robô é controlado através de um computador que fica com a programação, recebendo os sinais do robô e atuando em tempo real via rede sem fio.

### **5.1 Testes utilizando o Kit didático**

O kit foi utilizado inicialmente em um ambiente fechado para avaliação do seu funcionamento e para possibilitar uma comparação com o seu funcionamento quando aplicado a uma área industrial. Foi comparada também a utilização da rede sem fio com uma rede a cabo para avaliar as diferenças entre os dois meios físicos.

#### **5.1.1 Teste inicial**

Foi desenvolvido um programa para o CLP e um sistema supervisorio utilizando a comunicação via protocolo TCP/IP. O CLP recebe um sinal do supervisorio, um botão de início, e inicia uma contagem de três segundos, acionando uma saída ao término da contagem. O supervisorio tem um temporizador que inicia ao aperto do botão de início e encerra a contagem ao perceber a saída do CLP acionada. Assim, é possível comparar os tempos de contagem do CLP e do supervisorio nos dois tipos de rede, com e sem fio.

Inicialmente, o sistema foi montado na rede do Cimatec, onde foram realizadas 20 medições de tempo, chegando a uma média de tempo de retorno do sinal em 4,29 segundo. Abatendo os 3 segundos programados no CLP para acionar a saída, tem-se um tempo de 1,29 segundos que compreende o tempo de varredura do CLP, processamento do computador e tempo de comunicação da rede. Esse tempo foi utilizado como base para comparação com a rede sem fio.

Montada a rede sem fio, os testes foram repetidos para essa nova configuração. O tempo de resposta passou a 1,37 segundos, representando um aumento de 6% no tempo de comunicação. Porém, deve-se considerar a entrada de mais um componente na rede, que é o ponto de acesso, fazendo a conversão da rede.

### **5.1.2 Ambiente Industrial**

Uma vez feitos os teste em um ambiente limpo, ou seja, sem outras redes e máquinas, foram criadas três situações de teste onde o sistema foi avaliado em função do seu tempo de resposta. Para isso foi utilizada a planta CIM do Cimatec onde estão dispostos equipamentos como torno, fresa, robôs e outros equipamentos comumente encontrados no chão de fábrica.

No primeiro teste, o computador foi colocado na mesma distancia do teste inicial, em relação ao CLP e ponto de acesso, e a uma distância aproximada de dez metros do torno e da fresa, que já estavam ligados. Foram realizadas 20 medições que resultaram em uma média de 1,36 segundos que está 1 centésimo de segundo abaixo do encontrado no teste anterior

No segundo teste, o computador foi levado para o lado do torno e da fresa, a 10 metros de distância do ponto de acesso, onde foram realizadas novas medidas, chegando a um tempo de 1,39 segundos que corresponde a um aumento de 2,5% no tempo de comunicação.

No terceiro teste, um robô foi colocado em movimentação a menos de um metro de distância do computador e foram então feitas novas medidas, chegando a um novo valor de tempo de 1,45 segundos. Aqui, pôde-se perceber um novo aumento no tempo de comunicação, que agora aumentou para 7,1%.

## **5.2 Testes utilizando o Robotino**

O Robotino foi testado em diversas situações. Inicialmente o robô foi utilizado em ambiente sem interferências. Ele foi colocado em uma sala, sendo observada uma rede externa de baixa intensidade além da rede de controle do robô. Depois, o robô foi inserido em um ambiente com outros dois equipamentos iguais e foram

utilizados simultaneamente. Em um terceiro experimento, o robô foi colocado em um ambiente com diversas fresas, robôs, redes, motores, etc.

### **5.2.1 Ambiente isolado**

Os primeiros testes com o robô foram realizados em um ambiente fechado, sem outros equipamentos, para verificar o seu funcionamento. Foram utilizados três tipos de programas. i) No primeiro, o robô deveria se movimentar com a câmera ligada em direções selecionadas pelo operador do computador; ii) em um segundo programa, o robô seguia uma fita preta colocada no chão sem utilizar a câmera; iii) e no terceiro programa, o robô identificava e seguia um objeto vermelho colocado na sala utilizando a câmera.

Neste ambiente o robô se comportou de forma satisfatória. Em todas as três situações, o robô se comportou de forma contínua, sem interrupções em sua movimentação ou em sua imagem, com respostas imediatas, e sem queda de conexão em todo o tempo em que foi testado (por aproximadamente 30 horas, em três dias).

O robô apresentou falha de conexão apenas quando a carga das baterias de alimentação atingia valores abaixo de 22 Volts, voltando ao normal quando substituídas as baterias, o que não foi considerado como falha já que sua tensão de trabalho é de 24 volts.

Foi também monitorada a velocidade de conexão apresentada pelo *notebook* que se manteve sempre em 54 Mbps.

### **5.2.2 Ambiente compartilhado**

Um segundo teste foi realizado em uma sala de mesma dimensão da anterior, porém desta vez foram utilizados três robôs iguais de forma simultânea e onde eram observados outras três redes externas.

Mas uma vez o robô se comportou de forma constante, repetindo os testes sem apresentar falhas de conexão, imagem ou movimentação, ou qualquer diferença em relação ao teste anterior.

### **5.2.3 Ambiente industrial**

Os três robôs voltaram a ser testados em um ambiente industrial onde estavam montados fresas, CLPs, robôs, motores de indução, diversas redes sem fio, fornos e máquinas diversas.

Neste ambiente foram repetidos os mesmos testes e foi constatado que quando os diversos equipamentos estavam ligados e as baterias com cargas abaixo de 23,5 volts o robô passava a apresentar falhas como:

- Queda de conexão;
- Movimentação com paradas constantes;
- Imagem cortada;
- Demora na atualização das constantes e sensores do robô na tela do notebook.

Foi constatada a interferência do ambiente, porém não foi possível determinar a fonte desta interferência, pois não era possível controlar a entrada e saída de funcionamento dos equipamentos e das redes presentes no local, que era, ao mesmo tempo uma feira de fornecedores e patrocinadores, e uma área de competição onde estava acontecendo a olimpíada do conhecimento realizada pelo SENAI.

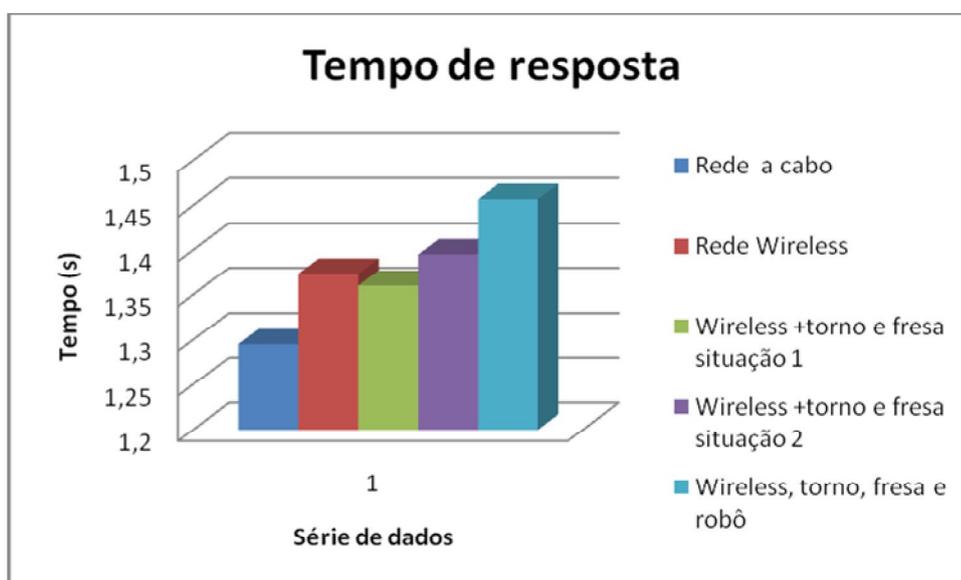
## **6 Análise dos resultados**

A partir da observação dos dados coletados na tabela do ANEXO I, para cada situação testada, foi feito um gráfico para uma melhor visualização dos tempos de comunicação entre o supervisor e o CLP.

Na primeira situação onde foi testada a comunicação entre um CLP e o computador via rede sem fio, percebe-se que os equipamentos industriais como torno, fresa ou robô interferem na comunicação quando estão muito perto do equipamento de transmissão. Porém, isto não foi notado quando os testes foram realizados a uma distância de dez metros. Vale ressaltar que ao aproximar o

computador do torno, o equipamento ficou entre o ponto de acesso e o computador, o que pode também ter influenciado na resposta.

O gráfico apresentado na figura 17 demonstra a diferença do tempo de resposta em função do tipo de rede e dos equipamentos ligados ao seu redor. Pode-se perceber que a diferença entre os diversos testes com a rede sem fio não ultrapassa a um décimo de segundo, mas foi possível verificar uma tendência ao aumento do tempo de resposta quando em funcionamento próximo de grandes equipamentos industriais.



**Figura 17. Tempos de resposta**

No caso da utilização do Robotino em ambiente industrial, percebemos que o mesmo apresentou problemas bem mais graves que no experimento com o clp, pois neste caso chegamos a ter queda de conexão, falha na comunicação e interrupção da transmissão de imagem. O que pode ocorrer devido à maior quantidade de dados a ser transmitida.

Neste caso também a grande quantidade de redes sem fio no ambiente parece ser o maior responsável pelo mau funcionamento da rede de comunicação com o robô, pois as máquinas estavam em funcionamento, porém a uma grande distância do computador e do robô e neste caso os testes com o clp não apresentaram alteração no seu tempo de resposta.

## Conclusão

As redes sem fio devem se tornar em pouco tempo o padrão em instalações de redes na indústria. Essa tecnologia vem crescendo e se tornando cada vez mais confiável e segura para aplicações em chão de fábrica, sendo a sua mobilidade e baixo custo suas principais vantagens em relação às redes com fio.

O padrão Zigbee satisfaz a maioria das necessidades de transmissão em nível baixo, ou seja, a nível de chão de fábrica, onde não é necessário transmitir grandes quantidades de informações. Os equipamentos que funcionam com este padrão têm um consumo baixo de energia, o que possibilita a utilização de baterias na sua alimentação e a redução de despesas com cabos de transmissão e alimentação, e obras civis para a instalação. Assim este deverá ser o padrão de maior uso em um curto intervalo de tempo nas indústrias.

Devem ser avaliados ainda além dos custos, a segurança e o nível de interferência que poderá sofrer a rede instalada, pois como foi visto aqui neste trabalho, equipamentos industriais e grande quantidade de redes pode ocasionar um mau funcionamento da rede instalada e com isso reduzir a sua confiabilidade. Em relação à segurança a utilização do padrão zigbee que tem um curto alcance já dificulta a invasão a rede, já que para isso o invasor deverá estar a uma curta distancia, ou seja, dentro da indústria, o que já a tornaria equivalente a uma rede a cabo que tem pontos diversos onde o invasor pode ter acesso.

## REFERÊNCIAS

Bluetooth Basics. Disponível em:

<http://www.bluetooth.com/bluetooth/learn/>. Acesso em 23 out 2007

BOARETO, N. **Tecnologia de comunicação em sistema scada – enfoque em comunicação wireless com espalhamento espectral**. Ponta Grossa, 2005. Dissertação (mestrado) - Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, da Unidade de Ponta Grossa, do CEFET-PR.

IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Disponível em: <http://www.ieee.org>. Acesso em 13 nov 2007

ISA100, Wireless Systems for Industrial Automation. Disponível em:

[http://www.isa.org/source/2008\\_02\\_ISASeminar\\_ISA100Overview\\_Manges\\_Schweitzer.pdf](http://www.isa.org/source/2008_02_ISASeminar_ISA100Overview_Manges_Schweitzer.pdf) Acesso em 13 nov 2007

MONTEBELLER, S. J. **Estudo sobre emprego de dispositivos sem fio – wireless na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

MONSIGNORE, F, **Sensoriamento de ambiente utilizando o padrão ZigBee**. São Carlos, 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

MRA instrumentação, Disponível em:

<http://www.mra.pt/ALAVA/noticias.html?idn=cw46f2a15ac74e7>.

Acesso em 23 out 2007

SEIXAS, C. **A automação nos anos 2000**: uma análise das novas fronteiras da automação. Disponível em:

<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/Conai2000Automacao.PDF> Acesso em 17 set 2007

SILVEIRA, P. R. da, e SANTOS, Winderson E. dos. **Automação e Controle Discreto**. São Paulo: Érica, 1998.

TANENBAUM, A.S **Computer networks**.4ª ed. New Jersey: Prentice Hall,1996.

-----. **Redes de computadores**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

ZigBee and Wireless Frequency Coexistence. Disponível em:  
<http://www.zigbee.org> Acesso em 23 out 2007

## Apêndice I – Tabela de coleta de dados

Dados Coletados					
	Rede a cabo	Rede Wireless	Wireless +torno e fresa situação 1	Wireless +torno e fresa situação 2	Wireless, torno, fresa e robô
	4,7	4,6	3,8	4,7	4,4
	4,4	4,4	4,6	4,3	4,6
	4,2	4,8	4,9	4,4	4,2
	3,8	5	4,1	4,4	4,8
	4,1	4,3	4,3	4,5	4,7
	4	4	4,3	4,3	4,7
	4,3	4,7	4,3	4,5	4,2
	4,5	4,3	4,2	4,2	4,5
	4,7	4,7	3,9	4,4	4,6
	3,9	4,8	4,6	4,2	4,3
	4,1	4,4	4,5	4,1	4,7
	4,9	4	4,9	4,7	4,8
	4,5	3,9	4,1	4,5	4,3
	4,2	4,2	4,5	4,4	4,8
	4,3	4,4	4,1	4,3	4,6
	4,2	4,5	4,4	4,2	4,4
	4,3	4,6	4,3	3,9	4,3
	4,3	4	4,5	4,6	4,4
	4,2	4,4	4,4	4,8	3,9
	4,3	3	4,5	4,5	4,5
		4,5			4,8
		4,6			4,3
		4,2			4,2
		4,6			4,8
		4,7			4,2
		4,3			4,4
		4,4			3,9
		4,6			4,4
		4,2			4,9
		4,1			4,1
Total	85,9	131,2	87,2	87,9	133,7
Média	4,295	4,373333	4,36	4,395	4,456667
σ-TMP	1,295	1,373333	1,36	1,395	1,456667



## Apêndice III – Passo a passo da configuração

### WEBGATE

Configuração webgate

1. Ligar pino 6-24vcc, 24vdc e 0vdc
2. Conectar cabo AL-1715 da serial a COM1 do webGate
3. Configurar WEBGATE via hyperterminal
  - a. Com1
  - b. Bps=19200, Bd=8,paridade= nenhum, b\_parada=1, cont\_flux=nenhum
  - c. lpcfg (vizualiza configuração atual)
  - d. IP *novolP* (muda o IP)
  - e. NETMASK *nova mascara* (muda mascara)
  - f. Gateway *endereço gateway*
  - g. Reboot (reinicia o webgate)

### Mastertool CLP

1. Conectar o cabo AL-1726 no CP e na **COM2** do webgate
2. Configurar mastertool
  - a. OPÇÕES/COMUNICAÇÃO habilitar CANAL ETHERNET
  - b. COMUNICAÇÃO/ENDEREÇO colocar o canal ethernet e configurar endereço ip do webgate.

### ELIPSE SACADA

Localizar o drive altustcpip.dll

IVerificar IP do Computador (Exemplo – 192.168.1.100)

Webgate configurado para (Exemplo -192.168.1.102 IP FIXO) funciona também com dhcp=0

Configuração elipse Scada.

1. Configuração do Drive
  - a. Inserir drive “altustcpip.dll”
  - b. P1=0 p2=0 p3=0 p4=1
  - c. Extra
    - i. Configurar IP do computador (192.168.1.100)
    - ii. Clicar em “use Altnet II”
    - iii. Em conection editar endereço do webgate (192.168.1.102)
2. Configuração dos Tags
  - a. Entrada e saída
    - i. N1=(valor da conexão em 1/c/iii)

- ii. N2 = tabela abaixo
- iii. N3=endereço (entrada 0, saída 2)
- iv. N4= endereço de bit+1 (0 para toda a palavra)

**Tabela 1 –Tipos de tags de dados (tags PLC)**

Tipo	N1	N2	N3	N4	Read/Write	Comentários
Memória	conexão	0	end	(*)	R/W	
Tabela de Memória	conexão	1	end	pos	R/W	
Bit de Memória	conexão	2	end	n	R/W	Em desuso
Decimal	conexão	3	end	(*)	R/W	
Tabela de Decimais	conexão	4	end	pos	R/W	
Auxiliar	conexão	5	end	(*)	R/W	
Entradas e Saídas	conexão	6	end	(*)	R/W	
Inteiro	conexão	7	end	(*)	R/W	
Bit em Octeto (E/S)	conexão	8	end	bit (0-7)	W	Em desuso
Bit em Auxiliar	conexão	9	end	bit (0-7)	W	Em desuso
Real (float)	conexão	10	end	(*)	R/W	
Tabela de Reais (float)	conexão	11	end	pos	R/W	
Tabela de Inteiros	conexão	12	end	pos	R/W	
Captura eventos	conexão	13	end TM	Aux * 10 + bit	R	
Evento	conexão	14	módulo (0-15)	ponto (0-31)	R	Requer tag N2=13
Erro de módulo	conexão	15	0	0	R	Requer tag N2=13
Overflow de memória	conexão	16	0	0	R	Requer tag N2=13
Mudança de data/hora	conexão	17	0	0	R	Requer tag N2=13