

IMPLEMENTAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO PARA AMBIENTES INDUSTRIAIS – OPORTUNIDADES E DESAFIOS

Marcos Rogério da SILVA (1); João Edgar CHAVES Filho (2); Carlos Maurício Seródio FIGUEIREDO (3); Vicente Ferreira de LUCENA Júnior (4)

(1) UFAM – Univ. Federal do Amazonas / SENAI – AM, Av. Rodrigo Otávio 2.394, Distrito Industrial, Manaus - AM
CEP 69075-005, fone (92) 8111 4921, fax (92) 3182 9984, e-mail: marcosrogerio_jlle@hotmail.com /
marcos.silva@am.senai.br

(2) UFAM, e-mail: jo_edgar@ufam.edu.br

(3) FUCAPI, e-mail: mauricio.figueiredo@fucapi.br

(4) UFAM / CEFET – AM, e-mail: vicente@ufam.edu.br

RESUMO

Neste trabalho serão apresentadas e criticadas algumas publicações dos principais veículos científicos a respeito de rede de sensores sem fio e o seu emprego para ambientes industriais. Esta pesquisa bibliográfica mostra primeiramente as principais características, benefícios e limitações do uso de redes de sensores sem fio para o ambiente industrial, juntamente com algumas oportunidades de aplicações para este cenário. Em seguida, exibe a principal tecnologia empregada para este fim entre outras: o protocolo ZigBee. Posteriormente, serão explicitadas as principais métricas utilizadas para a avaliação da performance de comunicação, e então apresentadas e criticadas algumas referências que mostram testes desta tecnologia, para ambientes sem e com fontes de interferência para comunicação, cenário esperado para aplicações industriais. Por fim serão colocados os principais desafios e oportunidades da tecnologia para este cenário. Com esta pesquisa bibliográfica, serão mostrados quais os principais resultados obtidos da literatura a respeito da tecnologia de redes de sensores sem fio para um ambiente industrial, apontando para trabalhos futuros de melhorias e também de novas implementações, com testes mais detalhados.

Palavras-chave: rede de sensores sem fio, monitoramento industrial, ZigBee, métricas, pesquisa bibliográfica.

1. INTRODUÇÃO

Em tempos de grande avanço de estudos e emprego de tecnologia, quebras de paradigmas estão dia após dia presentes, sempre em busca da melhoria e comodidade do ser humano. Seja para o ambiente residencial, comercial, ou industrial, a redução dos custos e o aumento da comodidade e conforto costumam ser os impulsionadores destes estudos e da viabilidade prática dos mesmos.

Voltando-se para um ambiente industrial, tem-se o conceito de automação classificado em duas grandes vertentes: uma relativa à automação de produtos industrializados; outra relativa à automação de processos, considerando as tecnologias das máquinas e equipamentos que interagem com o ser humano. Desta forma, com vistas ao processo, cada vez mais estão sofisticados os mecanismos para a aquisição de dados e atuação no processo produtivo, em volta de pesquisas em elementos sensores, processamento da informação, e mecanismos de intervenção.

No entanto, as tecnologias empregadas para medir ou obter informação do processo industrial, bem como para tratar essa informação e interferir no mesmo seria nula sem o avanço da comunicação. Para fins de automação, principalmente em aplicações que requeiram a mobilidade, versatilidade, facilidade de instalação e sobretudo economia de recursos, o uso de uma forma de comunicação que otimize ou elimine o uso de fios passa a ser atrativo. Esta forma de trafegar a informação, aliás, já vem sendo muito utilizada em contextos como redes de computadores, telefones celulares, alarmes sem fio, entre outros. Assim, embora sejam muito desejadas em face aos benefícios proporcionados, ainda não estão fortemente estabelecidas para o contexto industrial devido a restrições, tais como limitação de largura de banda e confiabilidade na comunicação.

Nesta direção, uma área de estudo de caráter multidisciplinar muito ativa no cenário tecnológico é a chamada área de Redes de Sensores Sem Fio, ou também conhecida como Wireless Sensor Network (WSN). Basicamente, uma rede de sensores sem fio consiste em pequenos dispositivos elementos sensores, com capacidade de processamento e comunicação sem fio, espalhados em um determinado ambiente para atender a diferentes propósitos (como monitoramento) em diversas áreas (como a ambiental, a residencial ou mesmo a industrial).

Assim, este artigo vai mostrar em sua seção 2 aspectos da automação industrial e da comunicação sem fio, bem como algumas aplicações; já a seção 3 trata especificamente das aplicações industriais, evidenciando suas características, os elementos de hardware para este fim – os chamados nós sensores, as características de protocolos de comunicação – dentre eles o ZigBee – além de, ao detalhar algumas experimentações para o cenário industrial, explora as métricas que se faz uso para gerenciamento da comunicação destas redes e expõe trabalhos que tratam de testes; e na seção 4 então a conclusão do trabalho com o resumo das oportunidades e desafios apontados.

2. A AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E AS REDES DE SENSORES SEM FIO

A seguir é avaliada a convergência entre a automação industrial com as redes de sensores sem fio.

2.1. Automação Industrial

Para descrever de uma maneira breve, automação é qualquer sistema que vise a soluções rápidas e econômicas para atingir complexos objetivos da indústria ou de serviços, apoiado em computadores e substituindo o trabalho humano (MORAES e CASTRUCCI, 2005). Desta forma, seria um termo usado para enfatizar a participação do computador no controle automático industrial. Sob contexto econômico industrial, a automação consiste na implantação de sistemas interligados através de redes de comunicação, compreendendo assim sistemas de supervisão e interfaces com o usuário, para auxiliá-los em tomadas de decisão (MORAES e CASTRUCCI, 2005).

Aliada a esta definição, diz-se que um sistema de controle tem essencialmente três componentes básicos: o sensor e transmissor (elemento primário e secundário); o controlador (cérebro do sistema); e o elemento final de controle ou atuador (válvulas, motores, etc) (SMITH e CORRIPIO, 2004). As ações sempre presentes são de medição, decisão e atuação. Desta forma, além de um bom sistema de controle, a transmissão tanto dos sinais medidos quanto para comandar elementos de atuação deve ser confiável, a se ter um sistema de comunicação bem constituído.

Ainda na mesma direção, a inteligência de dispositivos sensores e atuadores tem tido progresso, sobretudo, pelo desenvolvimento e integração de micro-controladores embarcados nos dispositivos, e isso deu poder computacional para processamento e maior confiabilidade na medição (NEVES et. al., 2005). Desta forma, a outra grande capacidade de inteligência dos sensores e atuadores é de comunicação em rede. Desta forma, a comunicação entre os tantos dispositivos heterogêneos presentes no ambiente industrial é um dos desafios modernos da automação industrial (NEVES et. al., 2005).

Ou seja, o desenvolvimento da automação industrial passa pelo desenvolvimento de suas partes integrantes. Uma vez que a comunicação entre dispositivos é parte deste sistema, então seu desenvolvimento se mostra como uma das linhas de avanço da automação industrial.

2.2. Redes de sensores sem fio

Para formar um ambiente inteligente, além de aspectos computacionais e de controle, outro crucial é o de comunicação (KARL e WILLIG, 2005) e, desta forma, toda informação que necessita ser trafegada a atuadores ou a usuários deve retratar a realidade. Para isso, os sensores são empregados com padrões de comunicação existentes de tecnologia com fio. No entanto, para outros contextos, a necessidade de se usar cabos constitui obstáculos como os custos com o emprego de cabos (principalmente quando os sensores são usados em larga escala), problemas de manutenção diversos (como falha ou desgaste de conectores, rompimento de cabos entre outros) e não possibilita mobilidade. E desta forma, emprego de tecnologia sem fio torna-se necessária para essas situações. Um sensor inteligente que faça uso de tecnologia sem fio deve ser composto de: elemento analógico sensor; fonte de alimentação; conversor analógico-digital; CPU e memória; rádio (ADELSTEIN, 2005).

Desta forma, as redes de sensores sem fio combinam simples comunicações sem fio, mínimas capacidades computacionais e alguma variedade de sensores do ambiente físico (KARL e WILLIG, 2003). Essas redes, então, formam uma infra-estrutura fortemente inserida no ambiente físico devido ao baixo custo e possibilidade de comunicação sem fios. Assim, possibilita diversas aplicações em diferentes cenários, que serão explorados ainda nesta seção, e a figura 1 mostra um exemplo, de monitoramento de sala limpa.

Estas redes podem ser caracterizadas segundo vários pontos de vista. O artigo de Ruiz et. al. (2004) explora diferentes classificações, assim como Chong e Kumar (2006). Seus projetos são fundamentados sobre diversos aspectos, que posteriormente poderão em conjunto caracterizar a rede segundo os pontos de vista expostos por Ruiz et.al. Estes aspectos (KARL e WILLIG, 2003) podem ser resumidos em:

- Ambiente: o projeto deve ser voltado a escolhas dos elementos que se queiram monitorar para a aplicação em específico, graças à diversidade de elementos sensores, processadores e elementos para comunicação. Além disso, a interação da rede com o ambiente implica seriamente no projeto de comunicação, a contar que o tráfego de informações deva ser bastante variável e influenciável pela ocorrência de eventos. Técnicas diversas de tratamento das informações, configurações da rede e confiabilidade da informação, portanto, são importantes campos de trabalho;
- Escala: aspecto que também faz parte da dependência por parte do ambiente, mas é aqui evidenciado por ser uma característica das redes de sensores – a possibilidade do emprego destes elementos em larga escala (devido, inclusive, à não necessidade de cabeamento). Isso impacta também no projeto de rota das informações, bem como da configuração como um todo da rede e da energia, assim como dos recursos de hardware em si, que estarão multiplicados em todo o cenário;
- Energia: devido à possibilidade de emprego em larga escala, o gerenciamento de energia de cada elemento é custoso, além da operacionalização de uma troca de baterias, dependendo do contexto. Aplicações remotas, de difícil acesso ou emprego em larga escala são algumas das situações que implicam em um projeto dos elementos de forma a considerar e muito os recursos de energia do nó sensor, assim como da forma de tráfego das informações.

O uso das redes de sensores sem fio pode monitorar uma enorme variedade de condições de ambiente (AKYILDIZ, 2002), dentre elas temperatura, umidade, luminosidade, pressão, ruído sonoro e tantas outras. Várias aplicações podem advir do uso das redes de sensores. Chong e Kumar (2006) apresentam um bom histórico das pesquisas com redes de sensores, que inicialmente eram usadas para aplicações militares. No entanto, diversas outras aplicações passaram a aparecer, presentes nos trabalhos de Chong e Kumar(2006), de Akyildiz et. al. (2002), de Hernández et. al. (2007) e de Arampatzis et. al. (2002), sendo algumas: aplicações militares (percepção de atividade em campo de batalha); monitoramento ambiental (detecção de incêndios em

florestas); aplicações (SVEDA ET. AL., 2005; WHEELER, 2007) residenciais e prediais (sistemas de aquecimento e condicionamento da temperatura do ar); aplicações (KONG e HWANG, 2006) na saúde (rastreamento de equipamentos e medicamentos em unidades de saúde) assim como controles diversos (rastreamento de carros, de bagagens, monitoramento de pressão em pneus de automóveis).

3. APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DAS REDES DE SENSORES SEM FIO

Conforme já exposto, devido a tecnologia dos sensores poder coletar informações diversas (AKYILDIZ, 2002), dentre elas temperatura, umidade, luminosidade, pressão, ruído sonoro, vazão, vibração e velocidade, tem grande aplicabilidade na indústria a fim de obter os benefícios já citados de economia de recursos que esta tecnologia proporciona. A figura 1 ilustra um ambiente industrial com sensores coletando dados e enviando-os a estações base. Elas comunicam-se, via cabos, com os controladores e os mesmos com os atuadores.

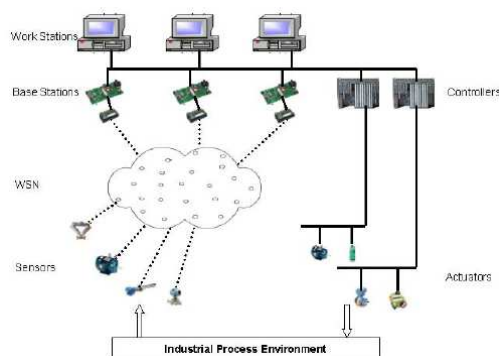


Figura 1 – Rede de sensores integrada em sistema de controle de processo (JIANG et. al., 2006)

Para aplicações na indústria, por exemplo, o trabalho de Shen et. al. (2004) evidencia que as aplicações visam principalmente os benefícios de economia com o não-uso de cabos, tanto para instalação como para manutenção, assim como mostra alguns cenários industriais de possíveis implementações e das considerações de projeto. Desta forma, outros cenários industriais que necessitem de flexibilidade, mobilidade, que tenham condições hostis para o emprego de cabos ou ainda que precisem de larga escala de pontos a monitorar, podem justificar o emprego de tecnologias do tipo sem fio.

No entanto, as considerações feitas por Shen (2004) não seriam totalmente aplicáveis a todos os cenários, pois dependeriam de características específicas de cada aplicação (KARL e WILLIG, 2003) (RUIZ et. al., 2004). Por exemplo, é colocado que um dos limitantes da utilização de redes de sensores sem fio é o consumo de energia dos nós sensores. Esta é uma característica genérica das redes, mas no caso do uso em máquinas, com pontos de energia disponíveis próximos ao local do sensor, esta questão pode ser descartada, principalmente se não houver outro requisito que impeça o uso deste ponto de alimentação disponível.

3.1. Elementos nós sensores

Como já exposto, para a formação destas redes de sensores temos elementos distribuídos ao longo do ambiente em questão, os chamados nós sensores. De uma maneira geral, eles são constituídos pelos seguintes blocos (AKYILDIZ, 2002):

- Microcontrolador: Função de processamento local da informação coletada ou a atuar. Reúne uma pequena capacidade de processamento e funcionalidades de economia de recursos de energia e de rede. A escolha deste componente no projeto do nó sensor deve considerar aspectos como consumo de energia, arquitetura de memória interna; configurações das entradas e saídas e características de software (LYNCH e O'REILLY, 2005);
- Elemento Sensor / Atuador: é o elemento que irá coletar a informação de interesse ou efetuar uma ação no ambiente de aplicação em questão. Pode trazer consigo um conversor analógico-digital;
- Rádio: bloco responsável pela comunicação de um nó com os outros da rede. Rádios que já implementem pilhas de protocolos padronizados são mais utilizados e abstraem muitas tarefas;

- Bateria: Através da mesma é que os componentes dos nós sensores têm energia. O gerenciamento da mesma é uma das linhas com maior foco na área de redes de sensores e influencia em praticamente todo o projeto, sobretudo para aplicações onde a troca ou recarga de baterias seja um problema.

Conforme já citado, o projeto do nó vai depender das características da própria aplicação em questão, e uma idéia de projeto de nó com especificações dos blocos pode ser vista através do projeto que tem a orientação do professor Chakrabarti (2006) (no entanto sem explicitar justificativas pelas escolhas, tão pouco detalhamento do cenário a ser empregado). Já os trabalhos de Silva et.al. (2004) (que mostra vários nós sensores comerciais em detalhes e possibilidade de aplicações), Baronti et.al (2006) (que no início traz um comparativo entre diversos nós sensores comerciais) e de Corrêa Jr. (2006) (que trata de um projeto completo de uma arquitetura de nó sensor reconfigurável).

3.2. Protocolos de comunicação sem fio

Há tempos se tem o desenvolvimento de protocolos para a comunicação de dispositivos através de fios, diminuindo a quantidade deste material. Utilizar barramentos com cabos, sobretudo para aplicações com fortes requisitos de tempo real, já se tornou tradicional. No entanto, as aplicações que não requerem requisitos tão apertados de tempo real (como as de monitoramento, por exemplo) podem gozar dos benefícios que a comunicação sem fio proporciona.

Vários protocolos de comunicação sem fio já são desenvolvidos e padronizados pelo IEEE, e seu uso possibilita a facilidade de interconexão com dispositivos que tenham como interface estes padrões. Há muitos estudos nesta área de convergência digital entre dispositivos, sendo uma boa oportunidade. Além disso, outra oportunidade existente é de customizar padrões com a finalidade de um melhor desempenho da comunicação, no entanto perdendo a portabilidade e interface com dispositivos já comerciais.

Algumas referências aprofundam mais o tema, e os protocolos padronizados comerciais em maior evidência seriam (FERNANDES, 2008) o Wi-Fi, o Bluetooth e o ZigBee, e a tabela 1 os compara.

Tabela 1 – Comparativo de padrões de comunicação sem fio – adaptado de Fernandes (2008)

Feature(s)	IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
Power Profile	Hours	Days	Years
Complexity	Very Complex	Complex	Simple
Nodes / Master	32	7	64000
Latency	Enumeration up to 3 seconds	Enumeration up to 10 seconds	Enumeration 30ms
Range	100 m	10 m	70 m – 300 m
Extendibility	Roaming Possible	No	Yes
Data Rate	11Mbps	64 bit, 128 bit	128 bit AES and Application Layer user defined
Security	Authentication Service Set ID (SSID), WEP		

Em resumo, Fernandes (2008) descreve estas tecnologias da seguinte forma:

- Wi-Fi (802.11): tecnologia classificada, conforme a tabela 1, como de comunicação local e que suporta a grande quantidade fluxo de dados. Divide-se em três diferentes sistemas, 802.11a, 802.11b e 802.11g, que diferem em modulação utilizada e na velocidade e distância de alcance. Esta tecnologia poderia ser utilizada sim para aplicações industriais, mas, conforme Santos (2007), devido ao custo dos equipamentos e de não haver a necessidade de grandes taxas de dados, este padrão seria mais interessante nas necessidades de transferência de dados de imagem, por exemplo;
- Bluetooth (802.15.1): padrão que define protocolo referente à camada física e de enlace, podendo ser desenvolvidas aplicações nas camadas superiores. Fornece uma facilidade para conexão com interface Ethernet (802.3), e tem como principais características: baixa potência, baixo custo, curto

alcance e utilização da faixa de frequência de 2.4GHz (não licenciada). Utiliza uma tecnologia de saltos de frequência para evitar interferência (SANTOS, 2007) e a ligação entre os dispositivos pode ser feita na configuração de piconets (pequenas estrelas contendo um elemento mestre e até sete escravos). Para comunicação entre grandes distâncias ou mesmo entre muitos dispositivos passa a ser dificultosa, devido a interferências entre as próprias piconets (SANTOS, 2007).

- ZigBee (802.15.4): segundo o slogan da ZigBee Alliance (2007) – “Comunicação sem fio que simplesmente funciona”, é um protocolo que tem como base o padrão IEEE 802.15.4 que define as camadas física e de enlace, semelhante ao Bluetooth, mas com o objetivo de atuar em redes pessoais e domésticas através de sensores com alimentação por baterias (BARONTI et. al., 2006) . O ZigBee complementa o padrão 802.15.4 com as camadas de rede e aplicação, fornecendo suporte ao desenvolvedor inclusive em roteamento e segurança.

Os trabalhos de Monsignore (2005) e Santos (2007), e mais a tabela 1 apontam então para o protocolo ZigBee, apoiado no padrão IEEE 802.15.4, para as aplicações industriais, devido tanto ao tamanho reduzido de hardware, flexibilidade em rede e elevada autonomia da bateria (MONSIGNORE, 2005) como por conta dos requisitos impostos pela maioria das aplicações destes cenários (baixo consumo, baixo custo, baixa latência, pacotes pequenos e baixa razão de dados) (SANTOS, 2007).

Detalhando mais, o protocolo ZigBee é um padrão que foi constituído pela ZigBee Alliance, um grupo formado por mais de 250 empresas do mundo, com o propósito da formação de uma cadeia completa de suprimentos para atender às necessidades de um padrão de comunicação com baixa taxa de dados, limitações de energia, auto-configuração entre outras características (ZIGBEE ALLIANCE, 2007). Baronti et. al. (2006) explica com detalhes a pilha deste protocolo, que tem nas duas primeiras camadas (física e acesso ao meio) o padrão 802.15.4, enquanto a pilha ZigBee provê funcionalidades de rede, de segurança e aplicação. Além deste trabalho, a ZigBee Alliance (2007) provê também toda informação a respeito do padrão, e Ricardo (2008), assim como Monsignore (2005) e Santos (2007) também detalham a tecnologia.

A rede pode ser formada nas configurações em estrela, malha ou árvore. Nela estão presentes nós sensores com diferentes funcionalidades. São eles os coordenadores, roteadores e elementos finais. Sendo então uma rede heterogênea (RUIZ et. al., 2004), os FFD's (Full-Function Devices) são os ditos de função completa, e que pode atuar tanto como coordenador como elemento final da rede, enquanto os RFD's (Reduced-Function Devices) ou componentes de funções reduzidas funcionam apenas como elementos finais, e são dotados dos elementos sensores (ou atuadores) propriamente ditos a interagir com o ambiente (BARONTI et. al., 2006). Através destas topologias, as redes de sensores através deste padrão, mesmo não podendo atingir individualmente grandes distâncias, através de recursos multi-saltos podem cobrir uma extensa área (RICARDO, 2008).

Desta forma, fazer sistemas de automação sem fio requer conhecer com maior propriedade este protocolo de comunicação. Baronti et. al. (2006) finaliza apontando para o protocolo ZigBee apontando em três aspectos importantes: roteamento, eficiência de energia e segurança, diferenciais do protocolo ZigBee. Assim contextualiza que o que estaria mais emergente seria uma abordagem entre camadas, (também chamada de cross layer), por otimizar recursos para se ter interfaceamento entre as camadas.

Já Correal e Patwari (2001) enumeram oportunidades para diversas camadas. Para as camadas iniciais, a limitação é o compromisso entre energia e latência já que para diminuir a latência da rede se faz necessário, por exemplo, aumentar a potência do rádio, e por sua vez diminuir a autonomia de energia. Para a camada de rede, aponta para a viabilidade de algoritmos para emprego de nós em larga escala. Para a camada de transporte, é apontado o compromisso entre melhorar a taxa de erros de pacotes, a presença de retransmissões de sinal contra as limitações de energia (aumentado quando o emprego é em larga escala). Para as aplicações, sinaliza para o uso industrial, devido à redução do custo com sensores com fio.

3.3. Aplicações práticas e experimentação

Nesta seção são destacadas as métricas de avaliação e trabalhos de experimentação prática de redes de sensores para ambientes industriais.

3.3.1. Métricas de avaliação

Métricas que viriam de encontro aos propósitos tanto das aplicações industriais quanto do protocolo proposto seriam aquelas referente a confiabilidade dos dados, energia (BEUTEL, 2006) e custos. Aqui serão abordadas

as principais métricas de avaliação a serem observadas em um ambiente industrial, sob o ponto de vista da comunicação dos dados.

Nesse ponto de vista, a literatura é farta em referências sobre o assunto, relativa a análise de métricas de comunicação de dados visando melhorar o desempenho e por consequência impactar também em energia e custos.

Em face disso, Chen e Varsney (2006) abordam diversos aspectos sobre qualidade de serviço para comunicação destas redes, e apontam para desafios em áreas diversas (limitação severa de recursos, tráfego desbalanceado; redundância de dados; dinâmica da rede; balanceamento de energia; escalabilidade; múltiplos coordenadores; múltiplos tipos de tráfego; pacotes críticos, e evidencia que as bibliografias consultadas não tratam do problema em nível de camada de rede, mas sim de maneira fim a fim, e que esta maneira não é a mais adequada em redes com requisitos apertados e capacidades limitadas. Assim, aponta como visão de trabalhos a divisa entre diminuir redundância para economizar energia e, no entanto, aumentar a latência, através de fusões de dados.

Para o gerenciamento destas métricas, alguns sinais são medidos como forma de avaliação e gerenciamento da informação, podendo ser utilizadas pelas camadas superiores do protocolo ZigBee. Por exemplo, os trabalhos de Srinivasan et. al. (2006) e de Srinivasan e Levis (2006) tratam exatamente da medição de alguns destes sinais, dentre eles o RSSI (Received Signal Strength Indicator) e LQI (Link Quality Indicator), e é contextualizado que, devido à maioria das publicações utilizarem circuitos de rádio que hoje tiveram evolução (do CC1000, da Chipcon para CC2420), o uso destes parâmetros aliados com conhecimentos estatísticos se mostra interessantes para trabalhar a confiabilidade.

Desta forma, para as redes industriais, os requisitos não são de altas taxas de dados, mas de confiabilidade e baixa latência (SANTOS, 2007), além do conhecimento das fontes de interferência do ambiente (JIANG et. al., 2006) e distância de comunicação (ZHENG, 2006).

3.3.2. Estudos de caso

Já foi contextualizada a automação industrial e as redes de sensores sem fio, características e cenários diversos de aplicações, inclusive industrial.

Referente a situações do emprego da tecnologia em situação de teste em chão de fábrica ou situação similar, Shen (2004) coloca diversas aplicações de ambientes industriais para as redes de sensores. Dentre suas considerações, estabelece que o sensor deva estar a dezenas de metros de alguma fonte de ruído eletromagnético. Testes práticos seriam bem vindos para se comprovar ou não a afirmação, já que há diversas situações em que o sensor deva ser colocado próximo a um motor elétrico, por exemplo.

Já o trabalho de Jian et. al. (2006), mais recente, traz questões referentes às aplicações viáveis de redes de sensores sem fio para o ambiente industrial. São colocados alguns desafios e requisitos, como o conhecimento de fontes de interferência. Assim, redes de sensores de diferentes protocolos operando na mesma banda pode ser uma fonte de interferência para a comunicação (PETROVA ET. AL., 2005), assim como fontes de RF do próprio processo produtivo, principalmente (JIANG et. al., 2006) arcos de solda, motores elétricos de indução e a presença de circuitos eletrônicos chaveadores, prejudicando então a performance do sistema. No entanto, é apresentada como problema uma distância de um metro ou menos das fontes de ruído, mais adequada do que os dez metros propostos por Shen (2004). São discutidos também protocolos existentes bem como solução alternativa para atender alguns requisitos de tempo real apertados.

Desta forma, para o cenário industrial, dependendo dos requisitos necessários a viabilidade da rede de sensores pode recair na possibilidade de comunicação sem fio ou não. Segundo Zheng (2006), as aplicações esperadas relativas a operações industriais seriam tipicamente de monitoramento. Os principais problemas para aplicações industriais então são colocados como sendo: confiabilidade; latência; distância de comunicação e consumo de energia.

Como se podem observar várias são as aplicações para o uso de redes de sensores sem fio. Em especial, para aplicações industriais, diversos trabalhos têm surgido em um curto espaço de tempo, sobretudo relativo à viabilidade de sua utilização. No entanto, grande parte dos trabalhos discute tecnologias apenas, ou colocam resultados provenientes de simulações. Zheng (2006) apresenta resultado prático, mas sem detalhamento de como foram realizados os testes, quais cenários e quais equipamentos utilizados. Ferrari et. al. (2007), apresenta resultados para duas tecnologias diferentes de comunicação, no entanto apenas em comparativo de ambiente aberto ou fechado, mas sem fontes de ruídos (como máquinas em operação ou coexistência de

protocolos). No estudo de Zheng (2006), a coexistência de protocolos é inserida, mas não a existência de equipamentos que impõem ruídos eletromagnéticos, como motores elétricos ou arcos de solda. Ainda nesta temática, Kofuji et. al. (2005) apresenta um trabalho interessante, detalhado do ponto de vista de procedimentos e resultados, mas sem análise real quanto à presença das interferências (não foram feitos testes, por exemplo, comparativos entre a interferência com as máquinas ligadas ou desligadas).

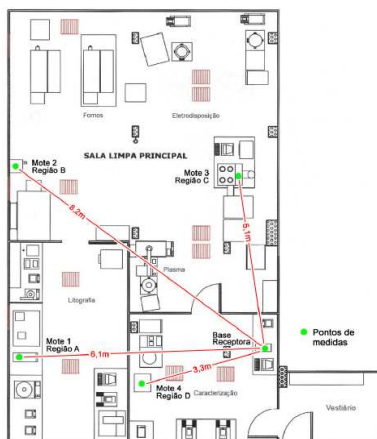


Figura 2 – Esquema da sala limpa com sensores (KOFUJI et. al., 2006)

Baronti et. al. (2006) ainda contextualiza no final de seu trabalho que testes referentes a esta tecnologia estão sendo aguardados pela comunidade industrial, para atestar a capacidade idealizada na prática.

Assim, a avaliação de tecnologias de redes de sensores de forma prática cada vez mais vem sendo alvo de pesquisa. A implementação física das mesmas, no entanto acaba não sendo realizada por diversos impedimentos, como tempo ou mesmo recursos. Por isso, é importante que se façam os testes reais, para assim ter comprovações mais concretas da viabilidade das redes de sensores sem fio para quaisquer aplicações, sobretudo no ambiente industrial.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho é encerrado resumindo que as redes de sensores sem fio se caracterizam como uma rede de dispositivos de coleta de informação (e até mesmo de atuação), com as mais diversas variedades de grandezas físicas sendo processadas através de unidades limitadas, mas que em conjunto podem enviar ou receber dados e prover sistemas interessantes para as mais diversas aplicações (e dentre elas na área industrial). De maneira a atingir os requisitos impostos por este cenário, que genericamente são de confiabilidade da informação trafegada, energia e custos (dentre outras específicas de cada aplicação), muitas oportunidades e desafios em diversos segmentos desta área foram apresentados, como o desenvolvimento de plataformas de hardware, melhoras em aspectos de tratamento da informação nas camadas de software do sistema, bem como da experimentação destas redes de maneira real em ambientes industriais ou que os simule, de maneira a comprovar o funcionamento das mesmas.

REFERÊNCIAS

- ADELSTEIN, Frank, et. al. Chapter 8 – Introduction to Ad Hoc and Sensor Networks. Fundamentals of Mobile and Pervasive Computing. McGraw-Hill Companies, Inc. 2005.
- AKYILDIZ, I.F., et. al. Wireless Sensor Networks: a survey. Elsevier. Computer Networks, 38: 393-422. 2002.
- ARAMPATZIS, Th.; LYGEROS, J.; MANESIS, J. A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks. IEEE Proceedings of the 13th Mediterranean Conference on Control and Automation, Limassol, Cyprus. 719-724. June, 2005.

BARONTI, Paolo, et. al. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. Elsevier ScienceDirect. Computer Communications 30, 1655 – 1695. Dezembro de 2006.

BEUTEL, J. Metrics for Sensor Networks Plataforms. In: ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks REALWSN'06, Suécia, 2006.

CHAKRABARTI, S; MAHESWARAN, S. Design of Wireless Sensor Node. B. Tech Project, Interim Report, Indian Institute of Technology Kharagpur, India 2007.

CHEN, D. e VARSNEY P. K., QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey. 2007.

CHONG, Chee-Yee; KUMAR, Srikanta. Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges. Proceedings of the IEEE, Vol. 91, nº 08, 1247-1256, August 2003.

CORREA Jr., F.L. Desenvolvimento de Dispositivo Nó Sensor com Arquitetura Reconfigurável para Redes de Sensores Sem Fio. 2004. 151p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

CORREAL N. e PATWARI N., Wireless Sensor Networks: Challenges and Opportunities. Proceedings of the MPRG/Virgina Tech Wireless Symposium, 2001. <http://citeseer.ist.psu.edu/correal01wireless.html>

FERNANDES, I.O.; Página da internet <http://paginas.fe.up.pt/~ee99207>, links: <http://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/WPAN/Bluetooth.html>; <http://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/WPAN/Zigbee.html>. Acessado em 01 de agosto de 2008.

FERRARI, G., et al. Wireless Sensor Networks: Performance Analysis in Indoor Scenarios. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, volume 2007, article ID 81864, 14 pages. Jan. 2007.

HERNÁNDEZ, Carlos F. García, et. al. Wireless Sensor Networks and Applications: a Survey. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.7, nº.3, 264-273. March 2007.

JIANG, Peng, et al. Reliable Application of Wireless Sensor Networks in Industrial Process Control. IEEE Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian, China, Junho, 2006.

KARL, Holger; WILLIG, Andreas. A short survey of wireless sensor networks. TKN Technical Report TKN-03-018. Technical University Berlin, October 2003.

KARL, Holger; WILLIG, Andreas. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, England. 2005.

KOFUJI, S. T., et al. Monitoramento ambiental de salas limpas através do uso de Redes de Sensores Sem Fio. In: 5º Congresso Iberoamericano de Sensores, 2006, Montevideo- URUGUAY. Monitoramento ambiental de salas limpas através do uso de Redes de Sensores Sem Fio, 2006.

KONG, In-Yeup; HWANG, Won-Joo. Design and Emulation of Integration Middleware for Ubiquitous Healthcare. IEEE 8th International Conference on [e-Health Networking, Applications and Services, 2006. HEALTHCOM 2006](#). 210-213. August, 2006.

LYNCH, C.; O'REILLY, F. Processor Choice for Wireless Sensor Networks. In: Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks REALWSN'05, Suécia, 2005.

MONSIGNORE, F. Sensoriamento de ambiente usando o padrão ZigBee. 2007. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Univ. de São Paulo, São Carlos, 2007.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. Engenharia de Automação Industrial. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2001.

NEVES, Cleonor, et. al. Os Dez Maiores Desafios da Automação: As perspectivas para o Futuro. In: II CONNEPI 2007 – II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa – PB. 2007.

PETROVA, Marina, et. al. Performance Study of IEEE 802.15.4 Using Measurements and Simulations. IEEE [Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006](#). Vol. 1, 487-492, 2006.

RICARDO, C.A.; Texto do site <http://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour> disponível no link http://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/Download/pub/Mestrado%202006/ZigBee_Claudia.pdf. Acessado em 01 de agosto de 2008.

RUIZ, Linnyer Beatrys, et. al. Arquiteturas para Redes de Sensores Sem Fio. In. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores SBRC, 2004.

SANTOS, S.T.; Redes de sensores sem fio em monitoramento e controle. 2007. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SHEN, Xingfa; WANG, Zhi; SUN, Youxian. Wireless Sensor Networks for Industrial Applications. IEEE Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation. Zangzhou, China, 2004.

SILVA, F.A. Tecnologia de Nós Sensores Sem Fio. Revista Controle e Instrumentação, 05 ago. 2004.

SMITH, Carlos A.; CORRIPIO, Armando B. Principles and Practice of Automatic Process Control. John Wiley & Sons Inc. 2nd. Edition. New York. 1997.

SRINIVASAN, K. e LEVIS, P. RSSI is Under Appreciated. Proceedings of the Third Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNets 2006) 2006.

SRINIVASAN, K. et. al. Understanding the Causes of Packet Delivery Success and Failure in Dense Wireless Sensor Networks. Stanford Information Networks Group, Stanford University, Technical report SING-06-00, 2006; Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems, Boulder, Colorado, USA. Pages 419 – 420, 2006. ISBN: 1-59593-343-3.

SVEDA, Miroslav, et. al. Chapter 10 – Introduction to Industrial Sensor Networking. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems. CRC Press LLC. 2005.

WHEELER, Andrew. Commercial Applications of Wireless Sensor Networks Using ZigBee. Topics In Ad Hoc and Sensor Networks. IEEE Communications Magazine. 70-77. April, 2007.

ZHENG, Li. ZigBee Wireless Sensor Network in Industrial Applications. Tutorial of SICE-ICASE International Joint Conference 2006. Bexco, Busan, Korea, Outubro de 2006.

ZigBee® Alliance. ZigBee Alliance Downloads. Disponível em <http://www.zigbee.org/en/spec_download/zigbee_downloads.asp>. Acesso em: 09 de maio de 2007.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CETELI – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Eletrônica e da Informação –, à UFAM – Universidade Federal do Amazonas – em seu Programa de Pós Graduação (Mestrado) em Engenharia Elétrica, e à FAPEAM (proj. no. 17, edital 009/2007) – Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas - pelos apoios para o desenvolvimento desta pesquisa.