

**PROPOSTA PARA MONITORAMENTO SEGURO E CONTÍNUO
DE VARIÁVEIS LIGADAS À QUALIDADE DE AMBIENTES INTERNOS
POR MEIO DE REDES DE SENSORES SEM FIO**

OSVALDO GOGLIANO SOBRINHO¹, RENATA M. MARÈ²,
CARLOS E. CUGNASCA³, BRENDA C. C. LEITE⁴, RENATO M. HONDA⁵

¹Engº Civil, Laboratório de Automação Agrícola – Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, Fone: 11 3094-5366, ogogli@usp.br

²Engª Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP

³Engº Eletricista, Prof. Associado, Laboratório de Automação Agrícola, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP

⁴Engª Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP

⁵Engº Eletricista, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP

Apresentado no
XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2011
24 a 28 de julho de 2011 - Cuiabá-MT, Brasil

RESUMO: É reconhecida a influência que a qualidade do ambiente interno tem sobre o desempenho em casas de vegetação e criatórios de animais. Conforto térmico, acústico, lumínico e qualidade do ar interior podem ser retratados pelo monitoramento contínuo de variáveis como temperatura, umidade relativa do ar, teores de CO₂ e amônia, intensidade luminosa, dentre outras, usando-se sensores estrategicamente posicionados no ambiente e interligados em rede. Apresenta-se um sistema de monitoramento com a integração de sensores analógicos a uma rede sem fio de tecnologia ZigBee[®]. Trata-se de uma solução ótima do ponto de vista de facilidade de instalação nos ambientes a serem monitorados, baixo consumo de energia e expressiva diminuição no cabeamento empregado. O protótipo é dotado de conversores analógicos/ZigBee[®], que enviam os dados de até quatro sensores por conversor a uma estação base que os retransmite a um servidor *web* remoto por meio da internet. Visando-se a maior confiabilidade no histórico dos dados, contemplam-se no sistema importantes aspectos de segurança como integridade, confidencialidade, autenticação e autorização. Este histórico permite a tomada de ações preventivas e ou corretivas, levando à melhoria da qualidade do ambiente interno, e, portanto, à melhor produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: Zigbee, ambiência, produtividade no agronegócio.

**PROPOSAL OF A SECURE AND CONTINUOUS MONITORING SYSTEM
FOR INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY VARIABLES
USING WIRELESS SENSOR NETWORKS**

ABSTRACT: The influence of the indoor environmental quality over the performance of green houses and livestock facilities is well known. Thermal, lighting and acoustic comfort, besides indoor air quality can be inspected by the continuous monitoring of variables such as air temperature, relative air humidity, CO₂ e ammonia levels, light intensity, among others, through the use of a sensor network strategically disposed in the ambient. A monitoring system is presented, integrating analog sensors in a wireless ZigBee[®] network. It represents a good solution regarding the simplicity of installation in the monitored ambient, low energy consumption, and expressive reduction of cabling. The prototype employs analog/ZigBee[®] converters that collect data from up to four analog sensors each to a base station, which retransmits them to a remote web server through the internet. Intending to get the best reliability of the data collection, important security aspects are

taken into account such as integrity, confidentiality, authentication and authorization. This data set allows taking corrective or preventive actions, resulting in better indoor environmental quality besides better productivity.

KEYWORDS: Zigbee, ambience, agribusiness productivity.

INTRODUÇÃO

A qualidade do ambiente interno abrange diversos aspectos como conforto térmico, acústico e lumínico, qualidade do ar interior e ergonomia. Alguns destes aspectos podem ser retratados por meio do monitoramento contínuo de variáveis correlatas, tais como, temperatura e umidade relativa do ar, níveis de ruído e luminosidade, bem como, teores de CO₂ e amônia. Este trabalho tem por objetivo apresentar um sistema que permita este monitoramento, utilizando-se sensores analógicos estrategicamente posicionados no ambiente, conectados a uma rede sem fio da tecnologia ZigBee® (ZIGBEE ALLIANCE, 2010).

Encontram-se no Brasil grande variedade de sensores analógicos que, tradicionalmente, interligam-se a redes computacionais por meio de cabeamento. O desenvolvimento de novas tecnologias na área de redes sem fio, particularmente dos padrões IEEE 802.15.4 e ZigBee®, permite a sua integração a estes tipos de redes, alternativa atraente por diversos fatores: minimização do cabeamento, item expressivo no orçamento global da rede; maior liberdade no posicionamento dos sensores, minimizando intervenções no ambiente; baixo consumo de energia.

Enviam-se os dados captados a uma estação base, que os retransmite por meio do Sistema Seguro para Monitoramento Remoto da Qualidade do Ambiente Interno a um servidor *web* remoto por meio da internet. Este sistema de monitoramento contempla importantes aspectos de segurança como integridade, confidencialidade, autenticação e autorização, que conferem maior confiabilidade ao banco de dados gerado e, portanto, aos seus usuários. Isso permite a tomada de ações corretivas e/ou preventivas que levem a uma melhor qualidade do ambiente interior e à melhor produtividade, possibilitando ainda o atendimento de requisitos mais rígidos como os envolvidos em contratos de exportações.

A baixa qualidade ambiental tem se tornado objeto recorrente de pesquisa, pois é a causa de problemas relacionados à saúde e produtividade dos ocupantes, considerando-se tanto o trabalhador como animais (em criatórios) e vegetais (em casas de vegetação). Os trabalhadores em ambientes de confinamento animal são submetidos a diversos fatores de risco à saúde, que vão das condições de iluminação e sonora, passando pela presença de gases tóxicos e partículas em suspensão, às posturas inadequadas (GUSTAFSSON, 1997). No que diz respeito aos animais, sabe-se que as ambiências aérea, térmica e acústica têm influência direta no seu desempenho. Em relação às casas de vegetação, o controle ambiental, no que concerne à luminosidade, temperatura, teor de CO₂ e umidade relativa do ar, assume papel de vital importância para que as plantas operem eficientemente.

Diante do aqui exposto, justifica-se o aprimoramento de um sistema que possibilite o monitoramento da qualidade de ambientes internos no meio rural, visando, em última instância, à melhor produtividade de seus ocupantes.

MATERIAL E MÉTODOS

Pretende-se aprimorar o Sistema Seguro para Monitoramento Remoto (SSMR), cujo protótipo encontra-se instalado em duas salas de aula da Escola Politécnica da USP, e que utiliza uma rede cabeada de sensores analógicos do padrão Modbus (THE MODBUS ORGANIZATION, 2009), com a possibilidade de sua substituição por uma rede sem fio do padrão ZigBee®.

Esta substituição pode ser interessante em determinadas instalações, pelos motivos apresentados a seguir, adicionando novas possibilidades ao uso do SSMR.

O uso de redes de sensores sem fio (RSSF) permite expressiva redução de custo de cabeamento, maior facilidade de instalação, maior flexibilidade no posicionamento dos sensores e menor consumo de energia. É crescente o uso de RSSF ZigBee® em ambientes internos do domínio agrícola, seja no monitoramento de *casas de vegetação* ou em criatórios de animais.

Uma das dificuldades encontradas para o uso de RSSF é a oferta relativamente restrita de nós sensores sem fio integrados. Tipicamente, os módulos oferecidos incluem apenas sensores de temperatura e umidade relativa do ar. Alguns incluem sensores de luminosidade. Módulos mais complexos, integrando uma maior variedade de sensores, começam a ser introduzidos no mercado. Porém, é comum não se encontrar um módulo que possua todos os sensores necessários para as variáveis a serem monitoradas em um determinado estudo.

O uso de redes cabeadas de sensores permite uma maior gama de opções, já que esta alternativa permite a integração à rede de sensores analógicos. Normalmente dotados de saídas analógicas com saída em corrente (4 a 20 mA) ou tensão (0 – 5V ou 0 – 10 V), a conexão destes componentes a uma rede computacional pode ser feita por meio de conversores analógico/digitais, produzidos por um grande número de fabricantes a custos relativamente baixos, e disponíveis para integração a redes de vários padrões tecnológicos (Modbus, BACNet, LonWorks e outros). A grande disponibilidade de sensores analógicos, destinados a medições de uma ampla gama de variáveis, torna esta opção bastante atraente.

Para esta situação, apresenta-se, na Figura 1, uma arquitetura típica destinada a uma rede do padrão Modbus. Conectam-se as saídas analógicas dos sensores digitais aos conversores analógico/digitais. As saídas D e \bar{D} destes conversores são interligadas em paralelo por um cabo blindado de três vias. Normalmente, empregam-se nas extremidades resistores de terminação para eliminar reflexões do sinal elétrico. Este modelo de arquitetura foi empregada no protótipo do SSMR.

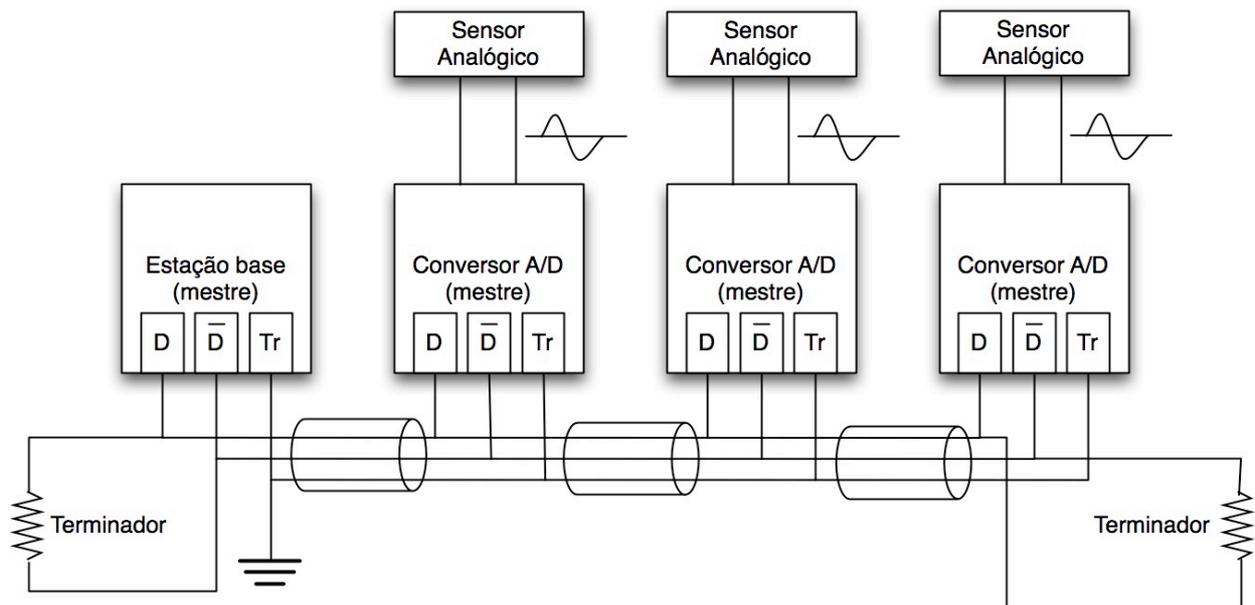


Figura 1. Arquitetura típica de uma rede Modbus de sensores analógicos.

Com o recente lançamento no mercado de conversores analógico/digitais para integração em redes sem fio, viabiliza-se a integração de sensores analógicos a estas.

Utilizando-se esta estratégia, a título de protótipo, pretende-se implantar, na sede da empresa desenvolvedora do SSMR aqui empregado, uma rede formada por sensores analógicos, integrados a dispositivos de comunicação sem fio ZigBee®.

Em uma rede ZigBee® os nós podem exercer três papéis distintos : *nó final*, capaz apenas de transmitir dados, não podendo exercer funções de roteamento; *roteador*, habilitado a exercer tais

funções; *coordenador*, este papel deve ser destinado a um, e somente um, nó da rede, que exerce a função de gerenciamento e controle da mesma. Normalmente, a atribuição destes papéis a cada nó é feita por programação.

Adicionalmente, as redes ZigBee® apresentam funcionalidades que incluem roteamento multi-salto, descobrimento e manutenção de rotas, segurança e capacidade de conexão dinâmica de novos módulos à rede.

Desta forma, podem-se configurar arquiteturas do tipo estrela, árvore ou *mesh* em função dos papéis exercidos pelos nós (Figura 2).

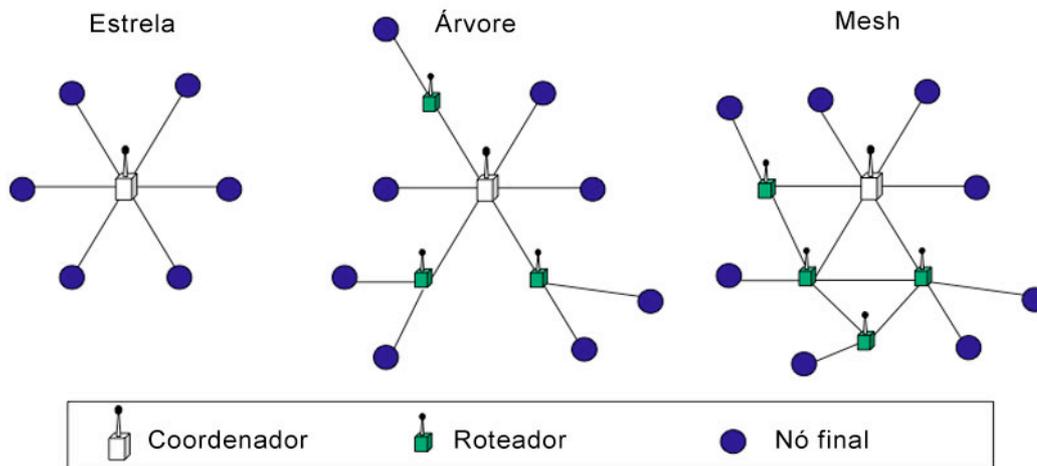


Figura 2. Possíveis arquiteturas para redes ZigBee® - Adaptado de BARONTI (2007)

Na implementação da rede a ser instalada, serão utilizados dois sensores do tipo IAQ Point da Honeywell, de três variáveis cada, para medir temperatura do ar, umidade relativa do ar e teor de CO₂ (HONEYWELL, 2010). Cada conjunto de sensores será conectado a um módulo adaptador analógico/digital ZigBee® produzido pela Digi International. (DIGI INTERNATIONAL, 2010) Cada módulo possui quatro canais analógicos e pode se integrar a uma rede sem fio da tecnologia ZigBee®. Apresentam-se estes componentes na Figura 3.



Figura 3. Sensor IAPoint da Honeywell (à esquerda) e Módulo adaptador Digi (à direita). Sem escala.

Para a configuração considerada, apresenta-se na Figura 4, a arquitetura a ser empregada. Conectam-se as saídas analógicas dos sensores às entradas dos conversores analógico/digitais ZigBee[®]. Em operação, os conversores integram-se à rede sem fio, exercendo o papel de nós finais.

O dispositivo encarregado de exercer o papel de coordenador e sorvedouro da rede sem fio será um *gateway* ZigBee[®]/Ethernet, modelo Connectport X2 produzido pela Digi International. Com este dispositivo será possível ter acesso aos dados pela rede local cabeada da empresa. Um dos computadores integrantes desta rede fará a coleta e tratamento de segurança dos dados e os enviará a um servidor *web* remoto, utilizando para isso, os *web services* disponibilizados pelo Sistema SSMR.

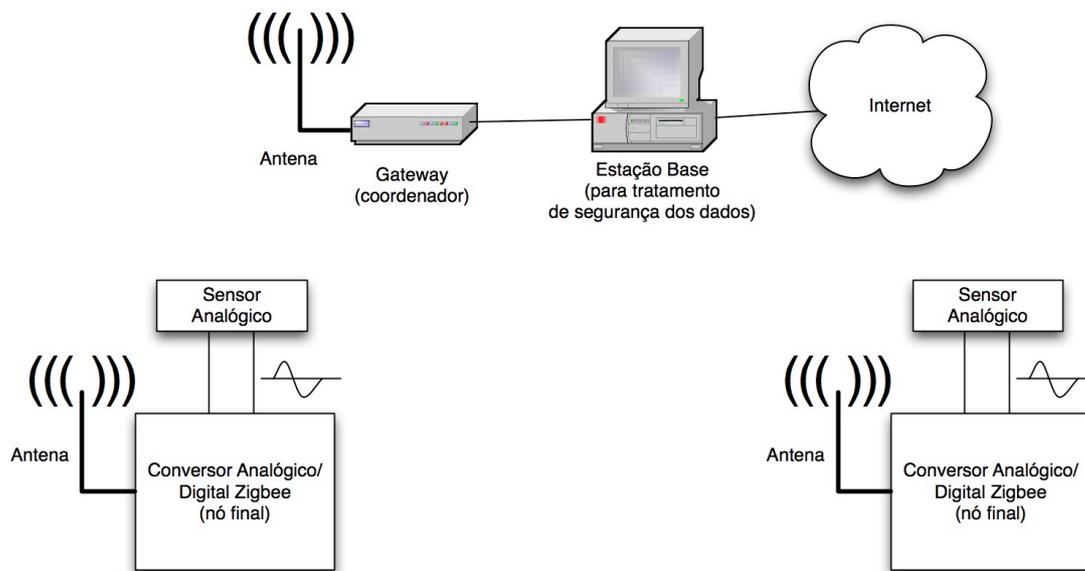


Figura 4. Arquitetura típica de uma rede de sensores sem fio ZigBee[®].

A rede assim estabelecida será do tipo estrela, com dois dispositivos finais (conversores Digi conectados aos sensores IAQ Point) e um coordenador (*gateway* Digi).

Vale destacar que, se por qualquer motivo, a segurança dos dados não seja um aspecto a ser implementado, o *gateway* pode transmitir diretamente os dados ao servidor *web* remoto, prescindindo-se de um microcomputador local. Esta situação pode ser desejável em instalações no ambiente rural.

Uma opção adicional pode ser a utilização, no papel de coordenador da rede, de um dispositivo adaptador ZigBee[®]/USB, diretamente ligado ao microcomputador encarregado do tratamento de dados. Este equipamento é significativamente mais barato que o *gateway*.

Um trabalho exploratório prévio com estes equipamentos foi realizado por HONDA (2010) em seu Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da USP. Neste estudo, utilizaram-se um conversor ZigBee[®]/USB produzido pela Rogercom (ROGERCOM, 2008) no papel de coordenador da rede substituindo o *gateway*, dois conversores analógico/digitais ZigBee[®] e dois conjuntos de sensores analógicos para temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade.

Dada a indisponibilidade dos sensores comerciais no momento do estudo, utilizaram-se dois conjuntos de sensores projetados e montados pelo autor (Figura 5). Cada conjunto possui sensores para temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade.

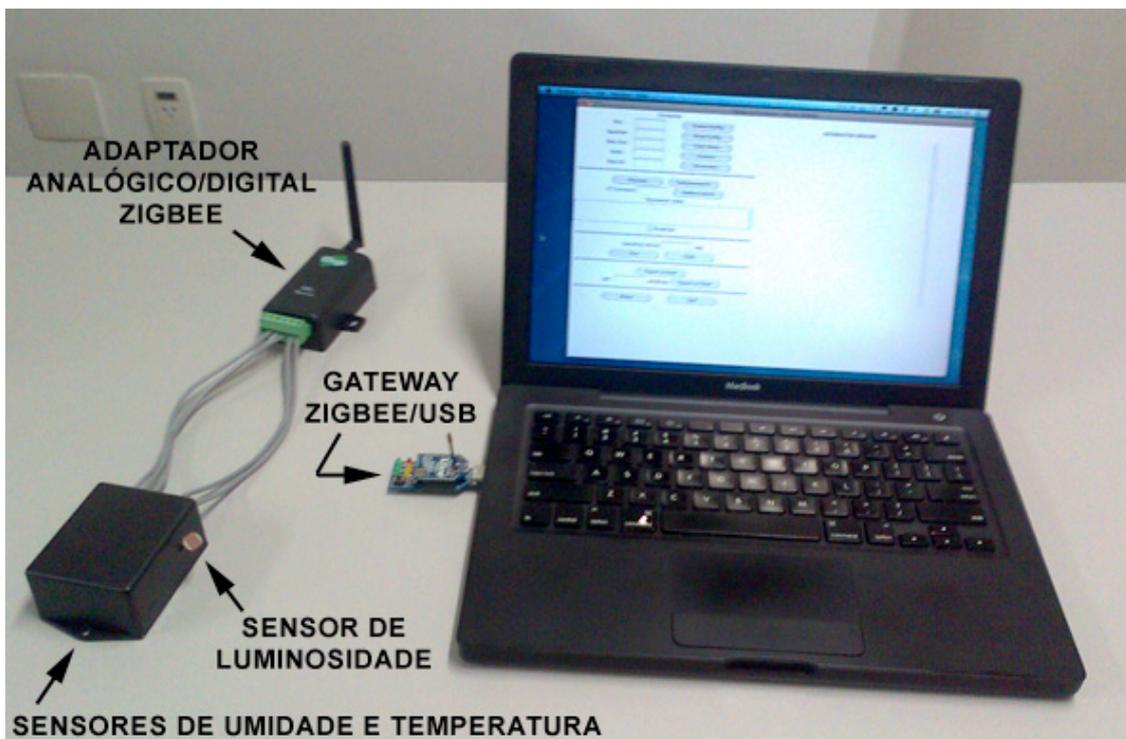


Figura 5. Componentes do estudo de HONDA (2010).

Na instalação completa a ser realizada, os dados coletados serão transmitidos ao computador local (estação base) em intervalos de tempo regulares, e deste a um servidor *web* remoto, utilizando-se o SSMR. Os dados serão previamente tratados, de maneira a garantir sua segurança antes do envio.

Em seu estágio atual, o SSMR contempla os seguintes aspectos de segurança: autenticação (acesso ao sistema somente por pessoas autorizadas), confidencialidade (acesso aos dados somente por pessoas autorizadas), integridade (garantia de não alteração dos dados durante o tráfego pela rede), autorização (usuários acessam somente dados a eles disponibilizados, segundo a administração central do sistema). Encontra-se em desenvolvimento a garantia de não-repudição de origem dos dados, que envolverá o uso de certificados digitais emitidos por Autoridade Certificadora da hierarquia do ICP-Brasil.

Estes aspectos garantirão confiabilidade ao histórico de dados gerado, disponível para consulta dos usuários autorizados, por meio de um *web site* dedicado na internet, no qual o usuário autenticado inicialmente seleciona a data, faixa de horário e variável monitorada de interesse (inclusive com sobreposições) e ainda o(s) sensor(es) de interesse.

Feita esta escolha, os dados estão disponíveis para consulta, sob a forma de gráficos, em planilhas compatíveis com o software Microsoft Excel, ou valores instantâneos (Figura 6), permitindo ao usuário vários tipos de análises e tomadas de decisão.

A partir dos dados coletados, condições ambientais de não conformidade, poderão gerar alarmes destinados aos proprietários e/ou encarregados de manutenção. Estes avisos poderão ser entregues por mensagens SMS ou email.

Finalmente, encontra-se em estágio de pesquisa a definição de um conjunto de mensagens que permita a interação direta do SSMR com os sistemas de climatização dos ambientes monitorados. O objetivo desta integração é a busca por um maior grau de automação destas instalações.

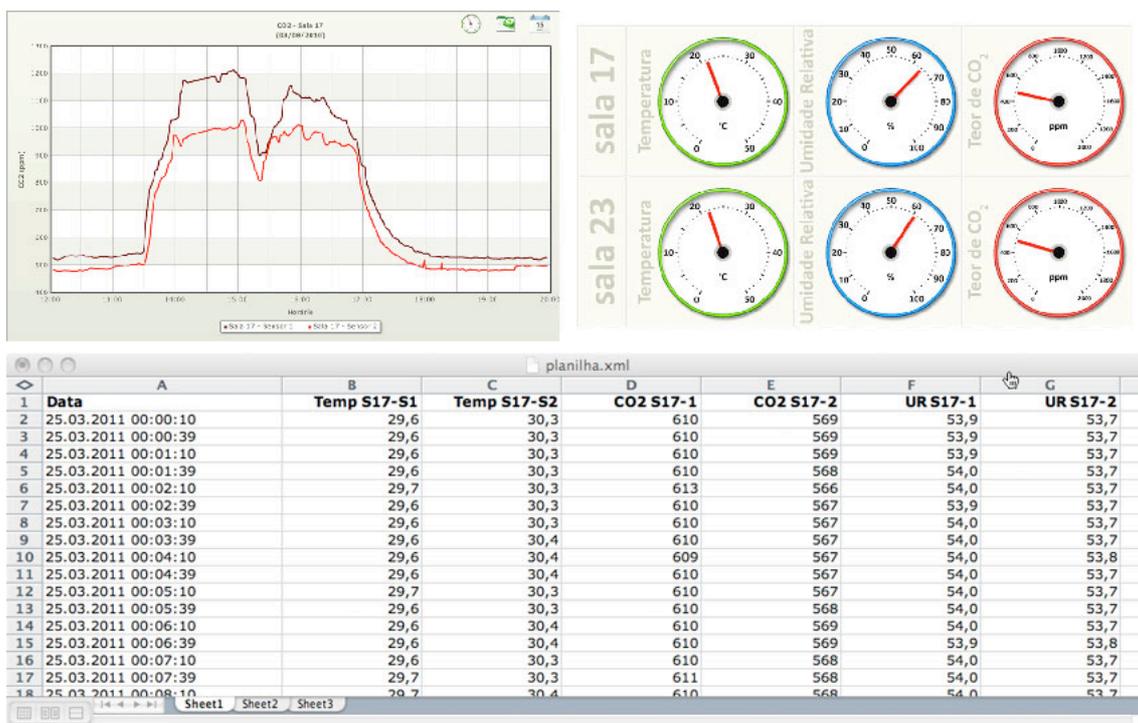


Figura 6. Dados exibidos em forma de gráfico, planilha eletrônica ou de medidores instantâneos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adoção desta solução para o meio rural é perfeitamente factível, particularmente em ambientes internos. Se os aspectos de segurança não forem necessários, o computador local pode ser eliminado, utilizando-se o *gateway* ZigBee[®]/Ethernet como estação base, que transmitirá os dados coletados diretamente ao servidor *web* remoto via TCP/IP.

Como eventual problema a ser superado, existe a necessidade de alimentação elétrica dos sensores analógicos, além dos componentes ZigBee[®]. A possibilidade de alimentação por bateria é possível, embora nem sempre preferida, dado o consumo relativamente elevado, que envolve além dos sensores analógicos, em especial o rádio de comunicação. Por outro lado, em ambientes internos, há disponibilidade de rede elétrica que pode atender a essa necessidade.

CONCLUSÕES

A qualidade dos ambientes interiores tem reconhecido impacto sobre a saúde e produtividade de seus ocupantes. Monitorá-la faz-se mister, para que ações corretivas ou preventivas possam ser tomadas visando a sua elevação.

Dada a grande disponibilidade de sensores analógicos, a sua utilização amplia a gama de variáveis a serem monitoradas em ambientes de interesse. A sua integração a redes sem fio que empreguem a tecnologia ZigBee[®] facilita as instalações em muitos ambientes, permitindo maior versatilidade no posicionamento dos sensores e uso mínimo de cabeamento.

Um histórico de dados confiável constitui importante ferramenta de análise para os gestores de edificações, além de atender a requisitos mais severos presentes em contratos de exportação, em especial envolvendo produtos agrícolas de origem animal ou vegetal.

Os equipamentos a serem utilizados nesta proposta se encontram em fase de importação. Um futuro artigo relatará os detalhes e resultados obtidos após a implantação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio ao projeto de desenvolvimento do Sistema Seguro para Monitoramento Remoto, pelo programa PIPE (processo 2007/59162-9).

REFERÊNCIAS

- BARONTI et al. Wireless Sensor Networks: A Survey on the State of the Art and the 802.15.4 and Zigbee Standards. **Computer Communications**, v. 30, n. p. 1655-1695, 2007.
- CUGNASCA, C. E. et al. Ad Hoc Wireless Sensor Networks Applied to Animal Welfare Research. *In: Livestock Environment VIII, 2008, Foz do Iguaçu. Anais.* Foz do Iguaçu: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008.
- DIGI INTERNATIONAL. **Xbee® & Xbee-Pro® Digimesh® Adapters**. *Disponível em:* <<http://www.digi.com/products/wireless-modems-peripherals/wireless-range-extenders-peripherals/xbeedigimeshadapters.jsp#overview>>. *Acesso em:* 01 Set 2010, 2010.
- GOGLIANO SOBRINHO, O. et al. Monitoramento Remoto de Variáveis Ambientais Internas com o Uso de Redes Modbus de Sensores e da Internet. *In: IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010/ XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010, 2010, Vitória. Anais.* Vitória: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010.
- GUSTAFSSON, B. The Health and Safety of Workers in a Confined Animal System. **Livestock Production Science**, v. n. 49, p. 191-202, 1997.
- HONDA, R. M. **Sistema de Sensoriamento de Ambiente com o Uso da Tecnologia de Comunicação sem Fio Zigbee**. São Paulo, 2010. 82f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da USP.
- HONEYWELL. **Iaq Point**. *Disponível em:* <<http://www.honeywellanalytics.com/en-US/products/commercialsolutions/IAQPoint/Pages/default.aspx>>. *Acesso em:* 01 Nov. 2010, 2010.
- IEEE 802.15 WORKING GROUP. **Ieee 802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks**. *Disponível em:* <<http://www.ieee802.org/15/>>. *Acesso em:* 01 Abr 2009, 2009.
- ROGERCOM. **Manual Da Placa Con-Usbbee**. *Disponível em:* <<http://www.rogercom.com/ManualUsbBee.pdf>>. *Acesso em:* 10 set. 2010, 2008.
- SCARANARI, C.; LEAL, P. A. M.; PELLEGRINO, G. Q. Estudo De Simulações de Microclimas em Casas de Vegetação Visando à Aclimação de Mudanças Micropropagadas de Bananeira CV Grande Naine. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1001-1008, 2008.
- THE MODBUS ORGANIZATION. **Modbus Technical Resources**. Hopkinton: The Modbus Organization. *Disponível em:* <<http://www.modbus.org>>. *Acesso em:* 01 Jul. 2009, 2009.
- TOLON, Y. B. et al. Ambientes Térmica, Aérea E Acústica Para Reprodutores Suínos. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2010.
- XIN-HUA, M.; TING-TING, H. The Design of Check and Control System for Temperature Based on the Wireless Communications of Zigbee. *In: 2010 International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT), 2010, Chongqing. Anais.* Chongqing: 2010.
- YIMING, Z. et al. A Design of Greenhouse Monitoring & Control System Based on Zigbee Wireless Sensor Network. *In: International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007, 2007, Shanghai. Anais.* Shanghai: IEEE, 2007.
- ZIGBEE ALLIANCE **Zigbee Alliance**. *Disponível em:* <<http://www.zigbee.org>>. *Acesso em:* jul. 2010, 2010.