



MONITORAMENTO REMOTO SEGURO E CONTÍNUO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS INTERNAS COM O USO DE REDES MODBUS DE SENSORES E DA INTERNET

**Osvaldo Gogliano Sobrinho (1); Renata Maria Marè (2);
Carlos Eduardo Cugnasca (3); Brenda Chaves Coelho Leite (4)**

- (1) Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: ogogli@abili.com.br
- (2) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: rmare@abili.com.br
- (3) Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: carlos.cugnasca@poli.usp.br
- (4) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: brenda.leite@poli.usp.br

RESUMO

O trabalho apresenta o resultado de uma pesquisa realizada com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Fapesp, por meio do programa PIPE. O projeto resultou em um sistema de monitoramento remoto contínuo, via Internet, de variáveis ligadas à qualidade do ambiente interior. A utilização de sensores integrados a uma rede computacional do padrão Modbus permite a coleta contínua de dados e sua transmissão, por meio de um *gateway*, a um servidor *web* remoto para seu armazenamento e apresentação ao público. A consulta aos dados armazenados é possível por meio de um navegador típico para a Internet. Estão disponíveis para consulta gráficos e tabelas das variações dos parâmetros medidos em períodos definidos pelo usuário, bem como o valor mais recente (instantâneo) da leitura de cada sensor. Apresentam-se detalhes da arquitetura computacional adotada, dos sensores e demais equipamentos utilizados, bem como características do software desenvolvido para a transmissão remota das informações e de sua apresentação ao público. A pesquisa foi realizada em ambiente construído urbano – duas salas de aula climatizadas do edifício de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP, com o monitoramento contínuo da temperatura ambiente, umidade relativa do ar e teor de CO₂. A solução permite, com a utilização de sensores adequados, o monitoramento de outras variáveis físicas de interesse, tais como teores de CO, compostos orgânicos voláteis (COV). Tal flexibilidade permite sua utilização em outros domínios, como o da Engenharia Agrícola. Este monitoramento vem ao encontro da crescente exigência de órgãos fiscalizadores sobre a manutenção do registro de tais informações por parte dos proprietários de ambientes públicos climatizados. Finalmente, apresentam-se considerações sobre segurança, privacidade e não-reputação dos dados, tópico que se justifica dada a utilização da Internet para tráfego dos dados e o possível aproveitamento das informações coletadas como prova em eventuais demandas judiciais.

Palavras-chave: monitoramento seguro, qualidade do ambiente interior, redes de sensores, internet.

1 INTRODUÇÃO

Apresentam-se neste trabalho os resultados de um projeto para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto, seguro e contínuo de variáveis relacionadas à qualidade de ambientes interiores climatizados, desenvolvido com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Fapesp, por meio do programa de apoio à pesquisa para inovação tecnológica em pequena e micro empresa denominado Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas – PIPE.

A coleta de dados relativos à qualidade do ambiente interior (conforto térmico, lumínico, sonoro, qualidade do ar interior, dentre outros) obtidos remotamente, por meio da Internet, é uma interessante possibilidade já praticada na forma de serviço comercial em países como os Estados Unidos, em consequência da crescente importância da qualidade do ambiente interior. A disponibilidade destes registros poderá proporcionar informações que possam nortear ações no que diz respeito ao tratamento do ar interior, ao conforto térmico, etc.

Do ponto de vista legal, tais registros poderão servir como prova no caso de eventuais ações judiciais envolvendo funcionários que alegam terem sofrido danos à sua saúde devido à qualidade inadequada do ambiente de trabalho. Para tanto, é essencial o tratamento adequado aos aspectos relativos à segurança na transmissão dos dados, particularmente no que diz respeito à sua não-repudiação, ou seja, garantir que os dados armazenados tenham origem no ambiente monitorado, sem qualquer adulteração.

1.1 Qualidade do ambiente interior

Problemas de saúde associados às edificações, conhecidos como Síndrome do Edifício Doente e Doenças Relacionadas à Edificação, comprometem sobremaneira o bem estar e a produtividade dos usuários de uma edificação, tanto por problemas de saúde temporários como por infecções reais (CARMO; PRADO, 1999; MENDELL et al., 2006; MITCHELL et al., 2007; REYNOLDS et al., 2001).

Somente nos Estados Unidos estima-se que cerca de 10 milhões de trabalhadores são afetados por estes problemas, resultando em prejuízos da ordem de bilhões de dólares em absenteísmo (ausências no trabalho), queda na produtividade, ações trabalhistas e propaganda negativa (REYNOLDS et al., 2001). Os pontos mais claros de benefícios econômicos obtidos com o incremento da qualidade do ambiente interior são a melhora do desempenho dos ocupantes, redução do absenteísmo e redução nos custos com tratamentos de saúde (FISK e SEPPANEN, 2007).

Estudos recentes apresentam a associação de sintomas respiratórios com ambientes climatizados, sugerindo especial atenção àqueles situados em locais de clima tropical (GRAUDENZ et al., 2005). Em edifícios climatizados, observa-se um número elevado de ocupantes insatisfeitos com a qualidade do ambiente interior, ainda que os parâmetros observados para temperatura, umidade do ar, carga de poluentes, dentre outros, sejam adequados segundo as recomendações usuais, o que leva a crer que a revisão destes critérios seja necessária.

1.1.1 Qualidade do ar interior

Estima-se que o nível de alguns poluentes internos seja de 25 a 100 vezes superior ao nível observado no ar externo (YANG et al., 2004) o que mostra a importância do tema.

Visto que mais de um terço do consumo global de energia é gasto na manutenção dos ambientes internos, Olesen (2005) e Wyon (2000) fizeram importantes correlações entre a quantidade de energia necessária às condições de conforto ambiental (temperatura, umidade relativa e qualidade do ar interior), de forma sustentável, mantendo-se o bom desempenho dos ocupantes de escritórios e escolas, ou proporcionando aumento da ordem de 5 a 10% na produtividade.

1.1.2 Produtividade

Os benefícios econômicos obtidos com o incremento da qualidade do ambiente interior resultam da melhora do desempenho dos ocupantes (tanto em qualidade como em velocidade das ações), redução do absenteísmo e dos custos com tratamentos de saúde (FISK e SEPPANEN, 2007). A correlação entre a produtividade do indivíduo e o conforto ambiental, com ênfase na qualidade do ar interior, tem

sido tema de estudos sob vários enfoques. Wargocki, Wyon e Fanger (2000) e Djukanovic, Wargocki e Fanger (2002) relataram um aumento da produtividade ao redor de 1,1%, para cada 10% de redução de indivíduos insatisfeitos com a qualidade do ar interior em escritórios.

1.1.3 *Absenteísmo*

Diversos estudos ressaltam a importância de fatores subjetivos na percepção do ambiente interno pelos ocupantes de edifícios. Em edifícios ventilados artificialmente ou climatizados, observa-se um índice de desconforto maior que nos ventilados naturalmente, incluindo maior absenteísmo, ainda que com parâmetros básicos de qualidade do ar e conforto tecnicamente aceitáveis (MUHIC et al., 2004).

Indivíduos com alergia respiratória são ainda mais sensíveis à percepção das características do ambiente interior em locais climatizados (GRAUDENZ et al., 2005). Como cerca de 30% da população mundial apresenta tais problemas, pode-se inferir a magnitude das consequências do absenteísmo no desempenho das empresas.

1.1.4 *Consumo de energia*

Djukanovic, Wargocki e Fanger (2002) avaliando a relação anual custo/benefício da melhora da qualidade do ar interior, observaram que os benefícios atingidos junto aos ocupantes podem ser 10 vezes superiores ao aumento de custo com energia e manutenção predial correspondente. O tempo de retorno dos custos com o sistema de climatização mantido e operado adequadamente, foi sempre menor que quatro meses

2 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa foi o desenvolvimento de um sistema para monitoramento seguro, remoto e contínuo de variáveis ligadas à qualidade do ambiente interior. Para tanto, instalou-se uma rede de sensores destinados à medição da temperatura do ar, umidade relativa do ar e teor de CO₂, em duas salas de aula situadas no edifício de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, nomeadas Laboratórios de Ensino de CAD (Figura 1), cedidas para a realização dos testes.

Com este sistema pretende-se obter e armazenar dados relativos à qualidade do ar interior nos ambientes monitorados, transmitir os dados coletados do local monitorado a um servidor *web* remoto, observadas as necessidades de segurança e, finalmente, disponibilizar sua consulta remota a usuários autorizados, por meio de navegadores típicos da Internet.

De características físicas praticamente idênticas, foram utilizadas a Sala 17, que possui sistema de climatização com insuflamento pelo piso, e a Sala 23, com sistema de climatização utilizando tecnologia de teto frio. Isso permite a comparação das variáveis monitoradas entre as duas salas, o que enriquece a pesquisa tanto do ponto de vista técnico como acadêmico, pelo potencial de geração de trabalhos científicos futuros.



(a)



(b)

Figura 1 - Laboratórios de Ensino de CAD. Sala 17 (a) e Sala 23 (b)

3 MÉTODO

Durante a implantação da rede de sensores, cogitou-se inicialmente a utilização de uma rede LonWorks® (CANOVAS et al., 2005) ou uma rede sem fios (AKYILDIZ et al., 2002). Custos elevados e a baixa disponibilidade de componentes levaram à busca de alternativas.

Optou-se por uma rede Modbus, usual em instalações industriais (THE MODBUS ORGANIZATION, 2009), dada sua instalação simples e a grande oferta de componentes a custos competitivos. Para a realização de testes iniciais, construiu-se um protótipo da rede (Figura 2). O sucesso dos testes iniciais levou à instalação da rede nas duas salas de aula (Figura 3).

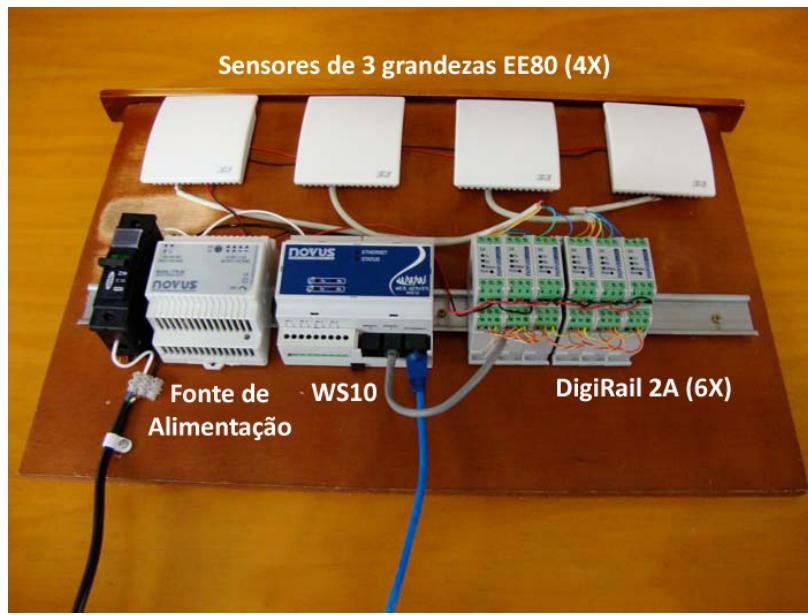


Figura 2 – Protótipo experimental da rede

Na implantação da rede Modbus empregaram-se os seguintes componentes:

- quatro conjuntos de sensores de três grandezas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e teor de CO₂) E+E Elektronik, modelo EE80; instalaram-se dois conjuntos de sensores em cada sala, em suas laterais esquerda e direita;
- seis conversores analógicos/Modbus Novus, modelo Digrail 2A, para a conversão dos sinais analógicos (4 a 20 mA) dos sensores em sinais digitais do padrão Modbus; instalaram-se três conversores em cada sala;
- um *gateway* Modbus/Ethernet Novus, modelo WS10, para a leitura dos dados da rede e envio ao computador local. Coletam-se os dados em uma porta padrão RS-485. Uma porta Ethernet permite a conexão a uma rede da família IEEE 802.3, com tráfego de dados pelo protocolo *ftp* ou conexão TCP/IP, por meio de soquetes (opção utilizada na rede instalada); um único *gateway* é suficiente para a transmissão dos dados coletados;
- duas fontes de alimentação Novus, modelo RTS-60, (24V, 60W), para o fornecimento de energia elétrica aos sensores e aos conversores analógicos/Modbus; cada fonte de alimentação foi instalada em uma sala;
- um microcomputador local para criptografia e transmissão dos dados ao servidor remoto. Se não houver preocupação com a segurança dos dados, este computador pode ser omitido e o *gateway* pode enviar os dados diretamente ao servidor remoto.

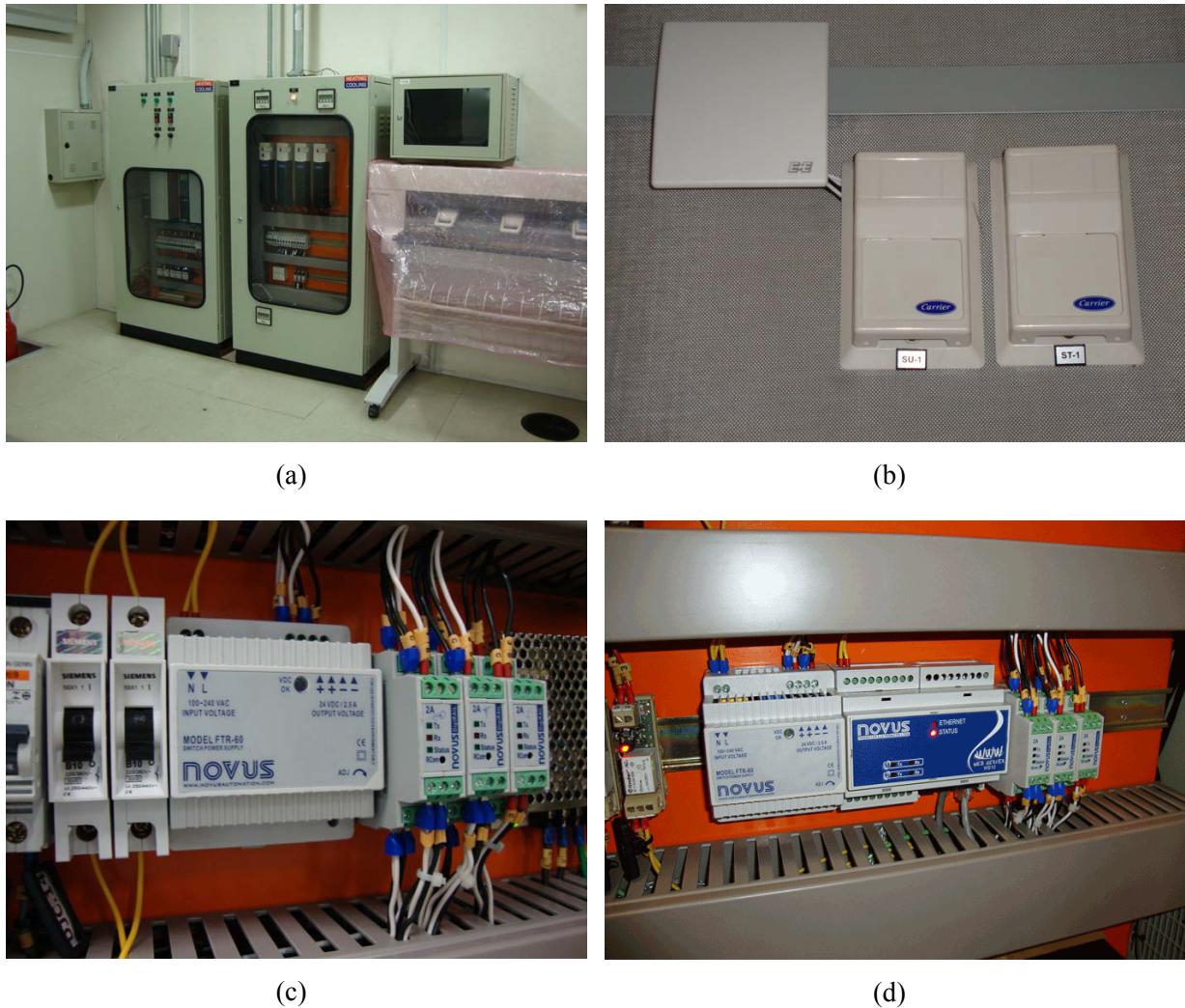


Figura 3 - Armário dos controladores da Sala 17 (a). Sensor de três grandezas instalado na Sala 23 (acima, à esquerda) (b). Fonte de alimentação e três conversores analógicos/Modbus instalados na Sala 23 (c). Fonte de alimentação, *gateway* e três conversores analógicos/Modbus instalados na Sala 17 (d).

O *gateway* coleta os dados da rede de sensores a cada 30 segundos e os transmite a um computador local, usando a rede do Departamento de Engenharia Civil, por meio de comunicação TCP/IP. Para recepção dos dados, o software instalado neste computador executa as seguintes tarefas:

- disponibiliza um soquete TCP/IP no endereço de IP e porta solicitados pelo *gateway*;
- reconhece a tentativa de conexão do *gateway* e abre um canal para comunicação;
- recebe os dados enviados pelo *gateway* e sinaliza se a recepção foi correta;
- armazena os dados em um banco local e aguarda novo ciclo de transmissão (em 30s).

Armazenam-se temporariamente os dados recebidos da rede de sensores em um banco local. Criptografam-se os pacotes de dados a serem transmitidos com o uso de uma chave compartilhada com o servidor remoto. Na continuidade da pesquisa, o uso de certificados digitais permitirá a garantia de não-repudião dos dados, garantindo a origem dos dados no ambiente monitorado. Na transmissão, o software instalado no computador local executa as seguintes tarefas:

- a cada minuto ele lê o banco de dados local em busca de informações ainda não transmitidas;
- para cada bloco de dados pendente, criptografa o pacote utilizando o algoritmo Twofish (SCHNEIER et al., 1998) com uma chave de 256 bits (compartilhada com o servidor remoto);

- calcula uma chave de envelope (*hash*) dos dados originais, utilizando o algoritmo sha-1 (INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, 2001);
- envia os dados criptografados e a chave de envelope ao servidor remoto por meio de um *web service* disponibilizado remotamente;
- ao receber a confirmação do recebimento do pacote pelo servidor remoto, apaga os dados no banco temporário local e aguarda novo ciclo de transmissão (em um minuto).

Um *web service* no servidor remoto recebe os dados transmitidos, executando as seguintes tarefas:

- recebe os dados e executa sua descriptação por meio da chave compartilhada;
- calcula o valor da chave de envelope dos dados recebidos e a compara com o valor transmitido – se os valores não coincidirem, descarta-se o pacote, pois há a suspeita de manipulação indevida dos dados durante o tráfego;
- na ausência de anormalidades, grava as informações recebidas no banco de dados do sistema;
- transmite ao cliente do *web service* (microcomputador instalado no ambiente monitorado) a confirmação do recebimento correto (ou não) das informações transmitidas.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Web site para consulta aos dados

Implantou-se no servidor remoto um *web site* para o projeto, com o objetivo de permitir o acesso às informações coletadas.

Nele, duas categorias de visitantes são tratadas: usuários registrados e usuários visitantes.

Os usuários visitantes podem apenas visualizar o gráfico dos valores de temperatura do ar observados no dia da consulta.

Os usuários registrados, identificados por nome de usuário e senha, têm acesso a todos os dados registrados na forma de gráficos, aos valores instantâneos das grandezas medidas, além de poderem efetuar o *download* de planilha, compatível com o Microsoft Excel, contendo os dados do período. Para isto, devem selecionar:

- a data desejada, a hora inicial e a hora final das medições;
- a grandeza desejada (temperatura, umidade relativa ou teor de CO₂);
- o sensor desejado (1 e/ou 2 da sala 17 e/ou 1 e/ou 2 da sala 23).

Apresenta-se no Gráfico 1 a variação da temperatura no dia 21/09/2009 registrada pelos quatro sensores, conforme legenda. Observe-se, a queda na temperatura, devido à entrada em funcionamento do sistema de refrigeração das salas, por volta das 08:00h.

Apresenta-se no Gráfico 2 a variação do teor de CO₂ obtido em 15/09/2009. Note-se o aumento do teor a partir das 11:30h, horário em que se iniciam as atividades de monitoria nas salas. Às 13:00h começa a primeira aula, que se estende até 14:50h. A segunda aula ocorre das 15:00h às 16:50h. Percebe-se que a variação do teor de CO₂, resultante da presença de alunos, acompanha estes horários. Observa-se ainda os menores teores de CO₂ na sala 17, causados, possivelmente, pela maior efetividade em sua remoção pelo sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso.

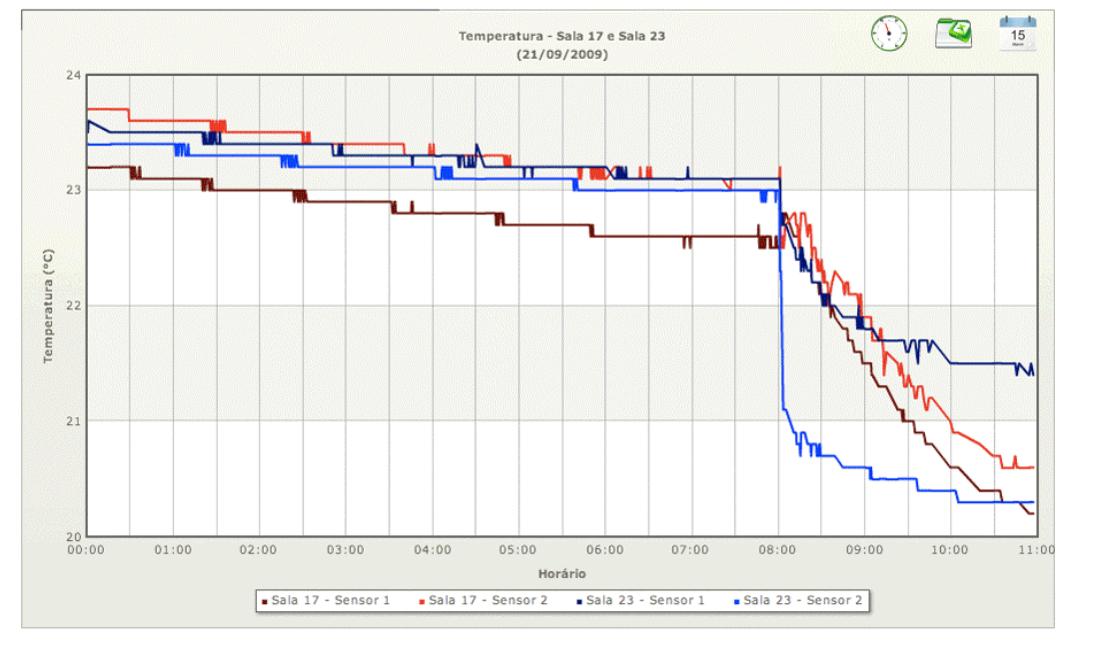
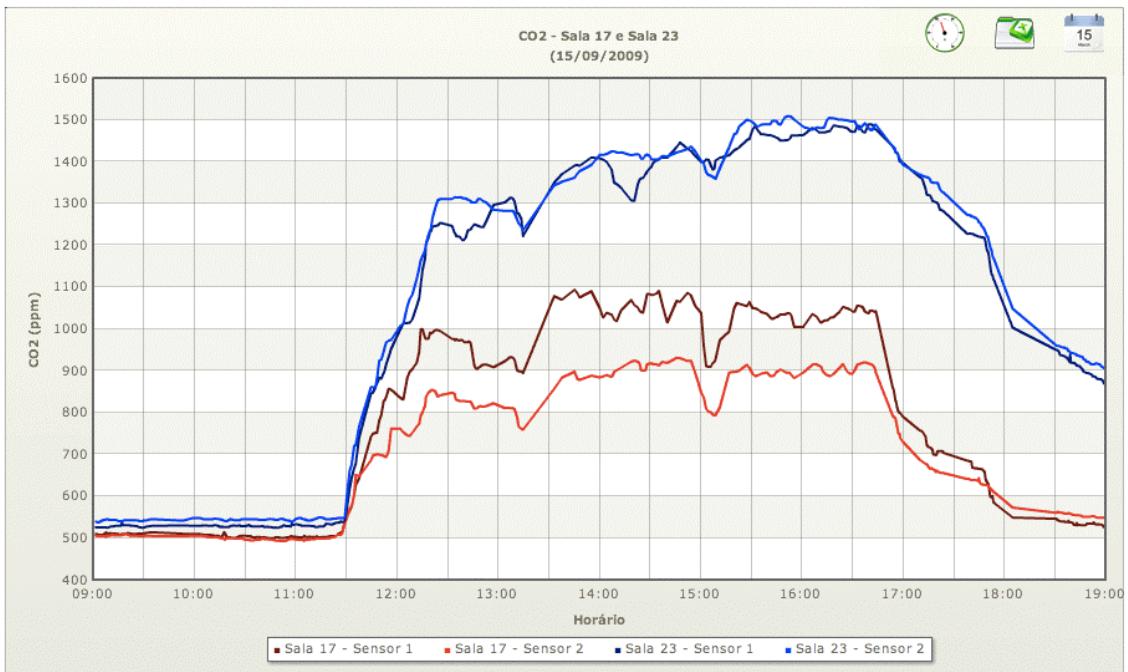
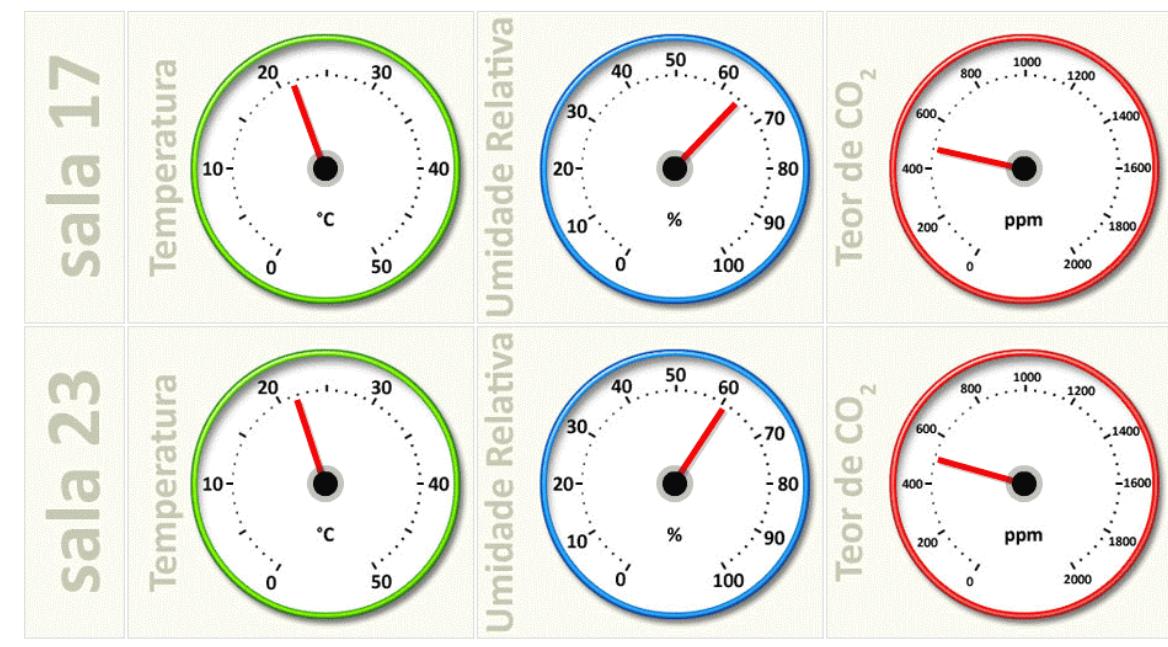


Gráfico 1 - Variação da temperatura em 21/09/2009

Gráfico 2 - Teor de CO₂ em 15/09/2009

O sistema também possibilita a visualização dos valores instantâneos (média dos dois sensores por sala) das três grandezas nas duas salas. Apresentam-se na Figura 4, a tela do sistema que exibe os valores das médias das grandezas registrados em 11/10/2009 às 12:02 h.

**Figura 4** – Valores instantâneos das variáveis nas duas salas

4.2 Aspectos de segurança

O uso de uma rede pública como a Internet para a transmissão de dados traz preocupação em relação à segurança dos dados transmitidos. Um dos principais aspectos considerados neste projeto e em sua futura seqüência é o tratamento desta questão.

Analisou-se a segurança do sistema segundo os seguintes critérios:

- Autenticação: garantir que somente usuários autorizados tenham acesso ao sistema.
- Confidencialidade: garantir que os dados não sejam acessados indevidamente durante o tráfego entre o local monitorado e o servidor remoto.
- Integridade: garantir que os dados não sejam corrompidos durante o tráfego entre o local monitorado e o servidor remoto.
- Autorização: garantir que mesmo usuários autênticos tenham acesso somente às informações que sejam a eles destinadas.
- Não-repudião: garantir que os dados armazenados tenham origem no ambiente monitorado, o que é essencial para o uso dos dados obtidos como prova em eventuais demandas judiciais.

Na seqüência do projeto, a utilização de certificados digitais no servidor remoto e no computador do ambiente monitorado permitirá a assinatura digital dos pacotes de dados transmitidos.

Desta forma, estará garantida a não-repudião dos dados mantidos pelo sistema. Além disso, a utilização dos pares de chaves de criptografia pública e privada nos certificados digitais permitirá que a criptografia dos dados transmitidos seja efetuada pelo padrão OpenSSL, eliminando o uso da chave de criptografia compartilhada empregada atualmente. Esta modificação aumentará significativamente o nível de segurança obtido na transmissão dos dados.

O tratamento dos aspectos de segurança já implantados bem como dos aspectos a serem implantados na seqüência do trabalho está sumarizado na Tabela 1.

Tabela 1 – Aspectos de segurança implantados no sistema

Aspecto	Implantação na Fase I	Tecnologia atual	A implantar na Fase II
Autenticação	Sim	Par usuário/senha	Par usuário/senha
Confidencialidade	Sim	Criptografia por chave simétrica. Chave de envelope. Comunicação SSL com o cliente sem certificado próprio	Criptografia OpenSSL com chave assimétrica. Comunicação SSL com o cliente utilizando certificado próprio
Integridade	Sim	Criptografia por chave simétrica. Chave de envelope. Comunicação SSL com o cliente sem certificado próprio	Criptografia OpenSSL com chave assimétrica. Comunicação SSL com o cliente utilizando certificado próprio
Autorização	Sim	Definição de atributos de usuário na aplicação	Definição de atributos de usuário na aplicação
Não-repudiação	Não		Assinatura digital dos pacotes de dados

4.3 Conclusões

O sistema se constitui em uma importante ferramenta para a análise do comportamento de variáveis ambientais internas ao longo do tempo.

Sua capacidade de monitoramento de outras variáveis, desde que se utilizem sensores adequados, interligados à rede Modbus, permite que ele seja utilizado em outros domínios como, por exemplo, o da Engenharia Agrícola (criatórios de animais, casas de vegetação, etc.).

A seqüência do projeto levará à utilização de certificados digitais na assinatura eletrônica dos pacotes de dados transmitidos. Isto garantirá a autenticidade da origem dos dados associados ao ambiente monitorado, fazendo com que eles se constituam em prova da qualidade do ambiente interno monitorado pelo sistema.

5 REFERÊNCIAS

AKYILDIZ, I. F. et al. Wireless Sensor Networks: A Survey. **Computer Networks**, v. 38, n. p. 393-422, 2002.

CANOVAS, S. R. M. et al. Remote Monitoring Based on LonWorks Technology: A Greenhouse Application. In: Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress, Proceedings of the International Conference, 2005, Lake Buena Vista. **Anais...** Lake Buena Vista: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2005.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. **Qualidade do Ar Interno**. São Paulo: Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1999. 35 p. Texto Técnico/PCC/23. ISSN 1413-0386.

DJUKANOVIC, R.; WARGAOCKI, R.; FANGER, P. O. Cost-Benefit Analysis of Improved Air Quality in an Office Building. In: Proceedings of Indoor Air, 2002, **Anais...** 2002.

FISK, W.; SEPPANEN, O. Providing Better Indoor Environmental Quality Brings Economic Benefits. In: 9th REHVA World Congress Clima: Wellbeing Indoors, 2007, Helsinki. **Anais...** Helsinki: 2007.

GRAUDENZ, G. S. et al. Association of Air-Conditioning With Respiratory Symptoms in Office Workers in Tropical Climate. **Indoor air**, v. 15, n. 1, p. 62-66, 2005.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE Rfc 3174 - Us Secure Hash Algorithm 1 (Sha1). Disponível em: <<http://www.apps.ietf.org/rfc/rfc3174.html>>. Acesso em: 15 Jul. 2009, 2001.

MENDELL, M. J. et al. **Indoor Environmental Risk Factors for Occupant Symptoms in 100 U.S. Office Buildings: Summary of Three Analyses From the Epa Base Study.** Disponível em: <<http://eetd.lbl.gov/ied/pdf/LBNL-59659.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2007, 2006.

MITCHELL, C. S. et al. Current State of the Science: Health Effects and Indoor Environmental Quality. **Environmental Health Perspectives**, v. 115, n. 6, p. 958-964, 2007.

MUHIC, S.; BUTALA, V. The Influence of Indoor Environment in Office Buildings on Their Occupants: Expected–Unexpected. **Building and Environment**, v. 39, n. p. 289-296, 2004.

OLESEN, B. W. Indoor Environment- Health-Comfort and Productivity. In: CLIMA, 2005, Lausanne. **Anais...** Lausanne: 2005.

REYNOLDS, S. J. et al. Indoor Environmental Quality in Six Commercial Office Buildings in the Midwest United States. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**, v. 16, n. 11, p. 1065-1077, 2001.

SCHNEIER, B. et al. **Twofish: A 128-Bit Block Cipher.** Disponível em: <<http://www.schneier.com/twofish.html>>. Acesso em: 11 Jun. 1998.

THE MODBUS ORGANIZATION **Modbus Technical Resources**. Hopkinton: The Modbus Organization. Disponível em: <<http://www.modbus.org>>. Acesso em: 01 Jul. 2009, 2009.

WARGOCKI, P.; WYON, D. P.; FANGER, P. O. Productivity is Affected By the Air Quality in Offices. In: Healthy Buildings 2000, 2000, Helsinki. **Anais...** Helsinki: 2000.

WYON, D. P. **Enhancing Productivity While Reducing Energy Use in Buildings.** Disponível em: <https://www.rand.org/pubs/conf_proceedings/CF170.1-1/CF170.1.wyon.pdf>. Acesso em: 25 Out. 2007, 2000.

YANG, X. et al. Performance of Three Air Distribution Systems in Voc Removal From an Area Source. **Building and Environment**, v. n. 39, p. 1289-1299, 2004.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Fapesp, pelo apoio ao projeto (processo nº 2007/59162-9).