

SISTEMA PARA MONITORAMENTO REMOTO SEGURO DE VARIÁVEIS LIGADAS À QUALIDADE DE AMBIENTES INTERNOS CLIMATIZADOS

Oswaldo Gogliano Sobrinho¹; Renata Maria Marè²;
Carlos Eduardo Cugnasca³; Brenda Chaves Coelho Leite⁴

Resumo: O objetivo do trabalho é relatar projeto de pesquisa em andamento, destinado ao desenvolvimento de um sistema para o monitoramento remoto contínuo e seguro da qualidade do ambiente interno em ambientes climatizados, por meio de redes de sensores conectados a um servidor remoto, utilizando-se da Internet. A inovação do sistema está na ênfase dada à segurança na transmissão dos dados, uma vez que esta ocorre por meio de uma rede pública. Faz-se necessária a utilização de mecanismos de transporte que contemplem a segurança dos dados, particularmente nos aspectos de autenticação (acesso ao sistema somente por pessoas autorizadas), confidencialidade (acesso aos dados somente por pessoas autorizadas), integridade (não alteração dos dados durante o tráfego pela rede), autorização (usuários acessam somente dados a eles disponibilizados, segundo uma administração central) e não repudição (não negação dos dados por quem os gerou). Estes aspectos precisam ser levados em consideração, sob pena de invalidação dos dados coletados. Garantida a segurança, este sistema pode proporcionar um recurso inestimável aos administradores de edifícios, não apenas como complemento aos sistemas de automação e gerenciamento predial, como também em eventuais demandas judiciais envolvendo características dos ambientes internos, notadamente os climatizados, com reconhecida influência sobre a saúde e produtividade de seus ocupantes. Inicialmente serão monitorados alguns parâmetros que retratam a qualidade do ar interno em um ambiente, tema de crescente relevância nos meios corporativo e acadêmico. São eles temperatura do ar, umidade relativa do ar, CO₂, CO, e Total de Compostos Orgânicos Voláteis.

Palavras-chave: qualidade do ar interno, sistemas de climatização, monitoramento remoto, redes de sensores, *web services*.

1 INTRODUÇÃO

A possibilidade de coleta de dados relativos à qualidade do ambiente interno, obtidos remotamente, via Internet, é uma interessante possibilidade já praticada na forma de serviços comerciais em países como os Estados Unidos. Mesmo nestes

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

países, ainda não se deu a devida atenção à questão da segurança dos dados. Do ponto de vista de quem contrata este serviço, é importante que se possa garantir que os dados não tenham sido corrompidos acidental ou propositadamente. Estas possibilidades existem já que o tráfego dos dados ocorre em uma rede pública. Do ponto de vista legal, também é importante garantir a origem dos dados (não repudição), ou seja, o contratante do serviço ou seu litigante não poderão alegar que os dados registrados não tenham tido origem em seu ambiente. Além da questão legal, a existência de dados contínuos seguros sobre a qualidade do ambiente interno poderá servir de base para estratégias visando sua melhoria. Este trabalho, dadas as características de segurança apresentadas, apresenta um sistema inovador no mercado brasileiro.

2 RELEVÂNCIA DA QUALIDADE DO AR INTERNO

Diversas iniciativas, discriminadas a seguir, denotam a crescente preocupação com a qualidade dos ambientes internos, especialmente os climatizados. A qualidade dos ambientes internos envolve questões ligadas ao conforto térmico, qualidade do ar, conforto lumínico, conforto acústico e ergonomia. Para o desenvolvimento deste sistema foram enfocadas as questões relacionadas à qualidade do ar interno, mas é importante ressaltar que o sistema aqui proposto, pode ser utilizado para monitoramento remoto seguro de outros parâmetros ligados à qualidade do ambiente interno, fornecendo subsídios confiáveis para ações que visem a sua melhoria.

A baixa qualidade do ar interno em edifícios climatizados pode levar ao mal estar geral e agravamento de certas doenças, como as relacionadas ao trato respiratório de seus ocupantes, causando queda de produtividade, absenteísmo e até ações trabalhistas (SUNDELL, 2004).

O problema vem ganhando tamanho vulto no Brasil que até mesmo a revisão da Norma NBR 6401 (1980), teve sua proposta de estrutura em três capítulos aprovada, resultando na Norma NBR 16401 (2008), Instalações de Ar Condicionado - Sistemas Centrais e Unitários. São eles Projeto das Instalações, Parâmetros de Conforto Térmico e um totalmente dedicado à Qualidade do Ar Interno, sendo este o seu nome.

A qualidade do ar interno é um dos itens a serem verificados nos programas de certificação que conferem o “selo verde” a empreendimentos que seguem certos critérios de sustentabilidade sócio-ambiental como LEED - Liderança em Energia e Design Ambiental (Estados Unidos) (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2009), HQE - Alta Qualidade Ambiental (França) (ASSOCIATION POUR LA HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE, 2009) e sua versão nacional o Aqua – Alta Qualidade Ambiental (Brasil) (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2009), além do Green Star (Austrália) (GREEN BUILDING COUNCIL AUSTRALIA, 2009) dentre outros. No Brasil, cresce o número de empresas interessadas em obter tal certificação.

No meio acadêmico, observam-se movimentos como o curso de difusão tecnológica que vem sendo ministrado desde 2007 pelo Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da USP – PECE e Faculdade de Medicina da USP. Intitulado “Qualidade do Ar e Poluição em Ambientes Interiores: Aspectos Técnicos e Efeitos

na Saúde” aborda de forma multidisciplinar, questões da qualidade do ar interno (PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA, 2009).

2.1 SÍNDROME DO EDIFÍCIO DOENTE E DOENÇAS RELACIONADAS À EDIFICAÇÃO

A expressão “Síndrome do Edifício Doente” foi criada para caracterizar um estado doentio observado nos ocupantes de edifícios, que possuem manutenção deficiente e uso inadequado de suas instalações. Trata-se de um estado transitório de mal estar, caracterizado por dores de cabeça, irritação no trato respiratório e olhos, dentre outros sintomas, que normalmente cessa quando o indivíduo deixa o edifício. Já as doenças relacionadas à edificação correspondem a uma infecção verdadeira e não temporária dos usuários, sendo provocadas pelas condições em que se apresenta a edificação (CARMO; PRADO, 1999).

2.2 PRODUTIVIDADE

Nos Estados Unidos, estima-se que o incremento anual de produtividade devido à redução de infecções respiratórias corresponda a valores entre US\$ 7 a 23 bilhões, e devido à redução de Síndrome do Edifício Doente, de US\$10 a 20 bilhões. Mais significativo ainda é o fato do aumento da produtividade no trabalho estar associado a ganhos de US\$ 12 a 125 bilhões (FISK; ROSENFELD, 1997, 1998). Investimentos visando a melhoria da qualidade do ar interno em escritórios apontaram, segundo Wargocki, Wyon e Fanger (2000), um aumento na produtividade dos ocupantes da ordem de 1,5% para a redução de 10% de pessoas insatisfeitas com a qualidade do ar interno

2.3 ABSENTEÍSMO

Diversos estudos ressaltam a importância de fatores subjetivos na percepção do ambiente interno pelos ocupantes de edifícios. Nos edifícios ventilados artificialmente ou climatizados, observa-se um índice de desconforto maior que nos ventilados naturalmente, inclusive maior absenteísmo, ainda que comprovado que os parâmetros básicos de qualidade do ar e conforto estejam tecnicamente aceitáveis (MUHIC; BUTALA, 2004). Indivíduos com alergia respiratória, são ainda mais sensíveis à percepção das características do ambiente interior em locais climatizados (GRAUDENZ et al., 2006), e como cerca de 30% da população mundial apresenta tais problemas, pode-se inferir a magnitude das conseqüências do absenteísmo no desempenho das empresas.

2.4 CONSUMO DE ENERGIA

Desde a crise energética da década de 1970, uma das grandes preocupações mundiais passou a ser a economia de energia.

Nos edifícios climatizados, nos quais um dos grandes consumidores de energia é o sistema de climatização, diversos estudos demonstraram que, a fim de se manter um ambiente interno saudável e confortável, o correto é se adotar uma combinação de fatores, dentre eles redução das fontes poluentes internas, com taxas de renovação de ar adequadas ao uso da edificação. Estes estudos provaram que o benefício anual devido à melhoria da qualidade do ar interno, é dez vezes maior que

os gastos com energia e manutenção. O tempo de retorno dos custos com o sistema de climatização mantido e operado adequadamente, sempre foi menor que quatro meses (DJUKANOVIC; WARGOCKI; FANGER, 2002).

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental – EPA lançou recentemente seu programa Energy Star Indoor Air Package (ENERGY STAR, 2009), voltado à certificação das novas residências norte-americanas, eficientes do ponto de vista energético e com elevada qualidade do ar interno, exigências crescentes do consumidor americano.

3 ASPECTOS LIGADOS À TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Do ponto de vista da tecnologia da informação, o monitoramento remoto seguro de dados envolve a instalação de uma rede de sensores no ambiente controlado e sua interligação a um servidor remoto, por meio da Internet. Os problemas envolvendo a configuração da rede local de sensores, dos protocolos seguros envolvidos na transmissão dos dados e no tratamento dos dados no servidor remoto precisam ser considerados.

Esquemáticamente, a arquitetura simplificada do sistema proposto pode ser vista na Figura 1. Nela se observa o ambiente monitorado, a rede de sensores, e um computador local encarregado da comunicação entre a rede de sensores e o servidor remoto. O tráfego de dados, por meio da Internet, entre o local monitorado e o servidor e entre este e o cliente também estão esquematizados.

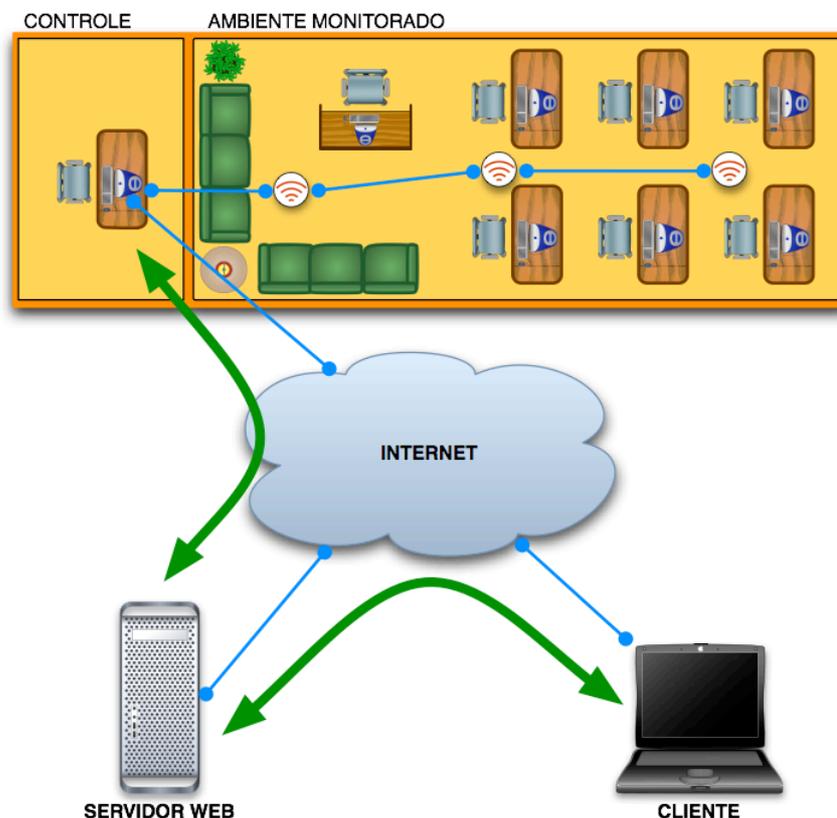


Figura 1. Arquitetura simplificada

3.1 A IMPORTÂNCIA DA SEGURANÇA DOS DADOS COLETADOS

A utilização de uma rede pública como a Internet para a transmissão de dados levanta questões sobre segurança. Se a autenticidade dos dados coletados for posta em cheque, a prestação do serviço será inviável. Observam-se na literatura inúmeros estudos sobre redes de sensores e monitoramento remoto de dados. Em muitos destes trabalhos, bem como em implementações comerciais desta tecnologia, a segurança dos dados não é levada em conta ou é considerada apenas superficialmente. A possibilidade da utilização dos dados monitorados em eventuais demandas legais torna esta questão ainda mais importante.

Cinco conceitos básicos de segurança de dados deverão ser observados (XU et al., 2005; LEIWO; GAMAGE; ZHENG, 1999):

Autenticação

É necessário garantir a identidade dos usuários legítimos do sistema de modo a impedir o acesso de terceiros ao sistema. A autenticação dos usuários no sistema deverá empregar técnicas comprovadas que garantam que o acesso ao sistema seja permitido somente aos usuários designados.

Confidencialidade

É necessário garantir que os dados coletados e armazenados não sejam acessados por terceiros, estranhos ao processo. A criptografia dos dados transmitidos será parte do processo de confidencialidade a ser empregado. É freqüente que se pense apenas neste aspecto ao se tratar de segurança de dados via Internet, o que não é adequado, por serem os demais aspectos aqui citados igualmente importantes.

Integridade

É necessário garantir que os dados não sejam perdidos ou modificados durante o tráfego pela rede ou durante o armazenamento. Esta garantia envolve questões ligadas à qualidade de serviço (QoS) e é extremamente importante para o proprietário do ambiente monitorado. Não são aceitáveis a ocorrência de perda de dados ou, o que seria ainda pior, a sua modificação, seja ela intencional ou não. Dentro do contexto da segurança de dados, há que se considerar a possibilidade de tentativa de corrupção dos dados durante o tráfego.

Autorização

É necessário garantir que os usuários possam acessar somente a parcela dos dados a eles disponibilizados, segundo critérios estabelecidos por uma administração central do sistema. A possibilidade da existência de uma hierarquia de usuários do sistema com acesso seletivo aos dados deverá fazer parte do desenvolvimento do sistema e de sua implementação.

Não repudição

É necessário garantir que os dados coletados e armazenados não possam ser negados por sua fonte geradora ou por terceiros. Ou seja, a tecnologia utilizada não deve permitir sua negação dos dados e sua origem. Este tópico é particularmente importante na eventualidade da ocorrência de questionamentos legais. A negação pode ocorrer tanto por parte do proprietário do ambiente monitorado como de seus

usuários. O uso de tecnologias que permitam a utilização de assinaturas digitais certificadas deve ser empregado. Assim, tanto a integridade dos dados como sua origem ficam garantidos.

3.2 TRANSMISSÃO SEGURA DOS DADOS

A transmissão segura de dados em uma rede pública é o foco desta pesquisa. Assim, aspectos de tecnologia da informação como tecnologia *web*, modelagem e desenvolvimento de software são pontos de primordial importância. O esquema de monitoramento remoto pressupõe a existência de um software sendo executado localmente no ambiente monitorado, encarregado de colher os dados da rede de sensores, codificá-los com segurança, assiná-los digitalmente e enviá-los ao servidor *web* remoto, no qual um software lá instalado estará encarregado de armazenar e gerenciar os dados recebidos e apresentá-los de forma adequada aos clientes credenciados. A comunicação entre o microcomputador local e o servidor remoto será efetuada por meio de *web services* a serem implementados pelos softwares desenvolvidos. A utilização de protocolos de segurança destinados à utilização de *web services* vem sendo o principal tópico pesquisado.

As vantagens da utilização de *web services* para a comunicação de dados entre sistemas de informação têm sido discutidas amplamente na literatura técnica. Especial atenção durante a pesquisa foi dedicada à questão da segurança e a utilização de *web services*. Diversas tecnologias têm sido propostas (NAEDELE, 2003), tais como XML Signatures (XML Dsig), XML Encryption (XML Enc), Security Assertion Markup Language (SAML) e outras. A utilização de arquiteturas baseadas em *web services* junto a redes de sensores sem fio tem sido objeto de pesquisa (DELICATO et al., 2003).

Outro potencial para a prestação comercial do serviço é o possível uso de análises dimensionais dos dados coletados, segundo os conceitos de *data warehouse* (INMON; HACKATHORN, 1994). Desta forma, correlações entre os dados observados e métricas de desempenho no ambiente monitorado poderiam ser tentadas. As eventuais vantagens que poderão ser agregadas ao produto final, fruto deste enfoque, serão pesquisadas ao longo do projeto e sua incorporação ou não será decidida posteriormente.

3.3 REDES DE SENSORES

Ainda que não tenha sido este o foco da pesquisa, a montagem de uma rede de sensores é essencial para sua execução e posterior prestação do serviço. Um dos objetivos do projeto é sua transparência com relação à tecnologia da rede utilizada, pois o serviço que se pretende oferecer futuramente está ligado aos dados obtidos e sua transmissão segura. Observa-se na literatura um crescente interesse pela utilização de redes de sensores sem fio (AKYILDIZ et al., 2002), inclusive em ambientes residenciais (MAINWARING et al., 2002). Trata-se de uma solução ótima do ponto de vista de facilidade de instalação nos ambientes a serem monitorados. No entanto, sua utilização ainda é uma alternativa cara, o que poderá dificultar a aceitação comercial do serviço. Por outro lado, uma grande vantagem das redes sem fio decorre da facilidade de instalação, já que não existem problemas de cabeamento. Do ponto de vista de um prestador de serviços interessado em fornecer um monitoramento remoto contínuo de dados, tendo de operar em

instalações diferentes a cada cliente, esta vantagem não pode ser desconsiderada. É provável que com o passar do tempo a redução do preço dos sensores para redes sem fio torne a escolha desta plataforma como a alternativa tecnológica óbvia.

Já que isto ainda não ocorre, na presente pesquisa optou-se pela utilização de uma rede LonWorks que permite a conexão dos sensores necessários à realização do trabalho. Esta escolha está baseada em sua ampla utilização em redes de sensores (PANG; WEI; WU, 1999), em redes de automação predial (WANG; XIE, 2002), inclusive junto a redes de sensores sem fio (MISKOWICZ; GOLANSKI, 2006).

A rede de sensores experimental em desenvolvimento na presente pesquisa deverá ser instalada em uma das salas de aula do Edifício de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP em São Paulo, destinada ao ensino da disciplina Desenho Técnico. A sala, apresentada na Figura 2, tem uma área de aproximadamente 180 m², abriga 24 estações de trabalho para dois usuários simultâneos, além da estação de trabalho do professor, e conta com um sistema de climatização com distribuição de ar (insuflamento) pelo piso. A rede será conectada a um computador local que receberá os dados coletados pela rede de sensores e os enviará a um servidor remoto com a utilização dos protocolos seguros desenvolvidos durante a pesquisa.



Figura 2. Ambiente monitorado.

Está prevista a utilização de módulos LonWorks (Figura 3) formados por sensores capazes de medir temperatura do ar, umidade relativa do ar, e níveis de CO, CO₂ e compostos orgânicos voláteis. No entanto, outros tipos de sensores para a medição de outras grandezas estão sendo estudados e considerados.

Simultaneamente, alternativas tecnológicas para a montagem da rede são permanentemente consideradas, dada o espaço de tempo cada vez menor para a disponibilização de novidades no setor.

Um tópico da pesquisa ao qual se dedica grande importância é o desacoplamento entre a tecnologia da rede local de sensores e o software de transmissão segura dos

dados. Este software deverá ser capaz de operar com diversas soluções, pois a evolução da tecnologia levará seguramente a atualização freqüente da alternativa escolhida na montagem da rede de sensores.



Figura 3. Módulo LonWorks com Sensores

4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

No momento em que este trabalho foi redigido (abril de 2009), a aquisição dos equipamentos e sua instalação se encontravam em andamento.

Questões envolvendo a localização ideal dos sensores vêm sendo examinadas por ser este aspecto de fundamental importância na execução do monitoramento.

Após a instalação física e os testes de funcionamento, a modelagem do sistema e a incorporação de protocolos seguros serão realizadas. Será modelado e desenvolvido um banco de dados para armazenagem dos dados coletados.

O prazo para a obtenção de resultados que demonstrem a viabilidade técnica do projeto é de seis meses, segundo o regulamento do programa PIPE da Fapesp.

Com a obtenção dos resultados desta fase, espera-se a continuidade da pesquisa quando maiores e mais aprofundados detalhes deverão ser levados em conta.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo suporte financeiro à pesquisa através da modalidade Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas – PIPE (Projeto 07/59162-9).

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**. Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do Ar Interior. Brasil, 2008.

ASSOCIATION POUR LA HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE. **Association HQE**. Site internet contendo informações sobre o programa de certificação HQE®. Disponível em: <http://www.assohqe.org/documents_certifications_hqe.php>. Acesso em: 20 mar. 2009.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. **Qualidade do Ar Interno**. Texto Técnico PCC/23.

São Paulo. Escola Politécnica da USP. 1999.

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.

ENERGY STAR. **Indoor Air Package: Energy Star**. Site internet contendo informações sobre o Indoor Air Package da Energy Star. Disponível em: <http://www.energystar.gov/ia/partners/bldrs_lenders_raters/downloads/IAPBuild508.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2009.

FISK, W; ROSENFELD, A. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments, **International Journal of Indoor Air Quality and Climate** 7, p.158-172, 1997.

_____. Potential nationwide improvements in productivity and health from better indoor environments, in: Proceedings of the 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. **Anais**. American Council for an Energy-Efficient Economy, 1998.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. **Alta Qualidade Ambiental**. Site internet contendo informações sobre o processo de certificação Aqua. Disponível em: <http://www.vanzolini.org.br/conteudo.asp?cod_site=0&id_menu=493>. Acesso em: 24 mar. 2009.

GRAUDENZ, G. S., et al. Persistent allergic rhinitis and indoor air quality perception – an experimental approach. **Indoor Air**. v. 16, n. 4, p. 313-319, 2006.

GREEN BUILDING COUNCIL AUSTRALIA. **Green Star**. Site internet contendo informações sobre certificação Green Star. Disponível em: <<http://www.gbcaus.org/gbca.asp?sectionid=49>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

MUHIC, S.; BUTALA, V. The influence of indoor environment in office buildings on their occupants: expected–unexpected. **Building and Environment**. v. 39, n. 3. p. 289-296, 2004.

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA, PECE. São Paulo. Apresenta os cursos de especialização oferecidos pela Escola Politécnica da USP. Disponível em: <<http://www.pece.org.br/index.php?ind=curso&menu=ap&nome=QA-001>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

SUNDELL, J. On the history of indoor air quality and health. **Indoor Air**. n.14 (sup. 7), p. 51–58, 2004.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **USGBC: LEED**. Site internet do U.S. Green Building Council contendo informações sobre certificação LEED. Disponível em: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CategoryID=19>. Acesso em: 20 mar. 2009.

WARGOCKI, P.; WYON, D. P.; FANGER, P. O. Productivity is Affected by the Air Quality in Offices. In: HEALTHY BUILDINGS, Helsinki, Finland, 2000. **Proceedings**... Helsinki, Finland: Healthy Buildings 2000, p. 635-640 - v. 1.