

13ª Conferência Internacional da LARES

Centro Brasileiro Britânico, São Paulo - Brasil
11, 12 e 13 de Setembro de 2013



Business Intelligence e Data Warehouse como Ferramentas de Suporte à Operação Sustentável de Edificações

Renata M. Marè¹, Osvaldo Gogliano Sobrinho², Carlos E. Cugnasca³, Brenda C. C. Leite⁴

¹ Escola Politécnica da USP, R. Santa Madalena, 220 – 54B – 01322-020, São Paulo – SP, Brasil, renata.mare@usp.br

² Escola Politécnica da USP, ogogli@usp.br

^{3,4} Escola Politécnica da USP, carlos.cugnasca@poli.usp.br, brenda.leite@poli.usp.br

RESUMO

A operação sustentável de edificações exige um contínuo acompanhamento de vários aspectos, durante o seu ciclo de vida. Uma vez que sistemas de iluminação e ar condicionado consomem uma quantidade significativa de energia em edifícios, manter a eficiência energética, além de uma aceitável qualidade do ambiente interior, é um grande desafio. Informação é essencial para que se identifiquem falhas de sistemas, variáveis não compatíveis com normas e legislação e padrões de consumo indesejados, permitindo a definição de estratégias adequadas de operação de sistemas. O uso de redes de sensores permite monitorar, de forma contínua, diferentes parâmetros relacionados à qualidade do ar interior, conforto térmico e lumínico, além do consumo de energia, fornecendo uma quantidade considerável de dados. Esses dados precisam ser transformados, analisados e disponibilizados por meio de interfaces amigáveis, a fim de fornecer informações úteis aos gestores da edificação. Neste cenário, as ferramentas de *Data Warehouse* e *Business Intelligence* podem ser importantes aliadas no processo de decisão, atendendo às necessidades destes usuários na tomada de ações corretivas ou preventivas, visando à operação sustentável da edificação. O objetivo deste trabalho foi aplicar uma ferramenta de *Business Intelligence* a um banco de dados, contendo histórico de informações sobre as concentrações de CO₂ em duas salas de aula com sistemas de ar condicionado central distintos, situadas na Escola Politécnica da USP. A análise dos dados permitiu que se identificassem o número de registros e as concentrações conformes com as normas pertinentes, para cada ambiente, ao longo de todo o período avaliado. Os resultados mostraram as diferenças de desempenho entre os dois sistemas de ar condicionado, frente à variável CO₂, fornecendo importantes subsídios aos diversos interessados em suas necessidades e decisões específicas, mas todos com um objetivo comum: a operação adequada dos sistemas de ar condicionado, proporcionando melhores condições ambientais aos seus usuários.

Palavras-chave: *business intelligence*, *data warehouse*, rede de sensores, sistema de monitoramento baseado em Internet, operação sustentável da edificação.

13ª Conferência Internacional da LARES

Centro Brasileiro Britânico, São Paulo - Brasil
11, 12 e 13 de Setembro de 2013



Business Intelligence and Data Warehouse as Supporting Tools to Sustainable Building Operation

ABSTRACT

A sustainable operation of buildings requires a continuous monitoring of various aspects, during its life cycle. Since lighting and air-conditioning systems consume a significant amount of energy in buildings, maintain energy efficiency, as well as an acceptable indoor environmental quality, is a major challenge. Information is essential for the identification of systems failures, variables that are not compatible with standards and legislation and unwanted consumption patterns, allowing the definition of appropriate strategies of system operation. The use of sensor networks allows you to monitor, continuously, different parameters related to indoor air quality, thermal and visual comfort, and energy consumption, providing a considerable amount of data. These data need to be processed, analyzed and made available through friendly interfaces in order to provide useful information to the managers of the building. In this scenario, the Data Warehouse and Business Intelligence can be significant allies in the decision-making process to meet the needs of these users in the taking of preventive or corrective actions, aiming at sustainable building operation. The aim of this study was to apply a Business Intelligence tool to a database, containing information on the history of CO₂ concentrations in two classrooms with separate central air conditioning systems, located in the Polytechnic School of USP. Data analysis allowed identifying the number of records and concentrations in accordance with the relevant standards for each environment, throughout the period evaluated. The results show the performance differences between the two systems of air conditioning against CO₂ concentrations, providing important benefits to several people interested in your needs and specific decisions, but all with a common goal: the proper operation of air conditioning systems, thus providing better environmental conditions to its users.

Keywords: business intelligence, data warehouse, sensor network, Internet-based monitoring system, sustainable building operation.

1. INTRODUÇÃO

A operação sustentável das edificações é um tema de crescente relevância, especialmente nos países desenvolvidos (EICHHOLTZ; KOK; QUIGLEY, 2011). Um dos grandes desafios é compatibilizar consumo de energia e qualidade do ambiente interior (conforto térmico, qualidade do ar interior, conforto lumínico), que impacta diretamente no bem estar, saúde e produtividade dos ocupantes (MITCHELL *et al*, 2007; LAN; WARGOCKI; LIAN, 2011). No Brasil, estima-se que quase metade de toda a energia produzida no país seja consumida pela operação e manutenção de sistemas prediais de iluminação, climatização e aquecimento de água (ELETROBRÁS, 2013). No mercado europeu, o consumo de energia em edifícios devido aos sistemas de ar condicionado vem crescendo há décadas (HITCHIN; POUT; RIVIERE, 2013) e nos Estados Unidos, os edifícios consomem mais de 70% de toda energia gerada, devido aos sistemas de resfriamento, aquecimento e iluminação (GERSHENFELD; SAMOUHOS; NORDMAN, 2010).

Os edifícios necessitam de sistemas de informação que os auxiliem em sua operação, capazes de acompanhar as inúmeras mudanças de uso e ocupação ao longo de sua vida útil (ZHU; RUI; LINGFENG, 2010). Para que se estabeleçam estratégias eficientes, a obtenção contínua de informação sobre o comportamento da edificação é essencial, o que pode ser equacionado pela implantação de redes de sensores que monitorem os parâmetros de interesse. Diante do grande volume de dados gerado, da necessidade e utilidade de histórico de dados, a tecnologia de *Data Warehouse* (DW) apresenta-se como poderosa aliada para estruturar e tratar os dados, permitindo aos usuários acessá-los em diversos formatos (AHMED, 2010). O DW constitui-se na base para ferramentas de *Business Intelligence* (BI), cujo objetivo é transformar estes dados em fundamento para ações bem embasadas, por parte dos gestores da edificação (BALLARD, 2006). Apresenta-se neste trabalho, a aplicação de ferramentas de DW e BI no contexto de operação predial, mais especificamente, em duas salas de aula com sistemas de ar condicionado central.

1.1. *Data Warehouse e Business Intelligence*

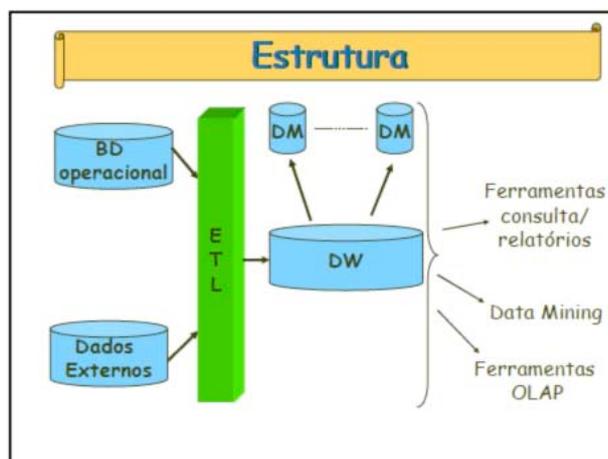
Existem diversas definições de *Data Warehouse*, destacando-se aqui as apresentadas por Inmon e Kimball, autores dos modelos de DW mais adotados no mercado (BRESLIN, 2004). De acordo com Inmon (INMON, 1995), *Data Warehouse* é uma coleção de dados orientados por assuntos, integrados, variáveis com o tempo e não voláteis, para dar suporte ao processo gerencial de tomada de decisões. Segundo Kimball (KIMBALL; ROSS, 2002), DW é um sistema que extrai, limpa, trata e entrega dados de várias fontes em um modelo dimensional e suporta/implementa consultas e análises para o processo de tomada de decisão.

Apresenta-se na Fig. 1 (ALMEIDA JUNIOR, 2013) a estrutura genérica de um DW. Observam-se as diferentes fontes de dados, representadas por Banco de Dados Operacional e Dados Externos. A ferramenta *Extract, Transform, Load* (ETL), extrai os dados de interesse, transforma-os segundo parâmetros pré-estabelecidos e os carrega no DW. Este por sua vez pode suprir bancos de dados destinados a setores específicos do empreendimento, os *Data Marts* (DM). Associados a todos eles, ferramentas genéricas de consulta e emissão de relatórios ou ferramentas *On-line Analytical Processing* (OLAP). As ferramentas OLAP são utilizadas quando já se tem definido o objeto da consulta no banco de dados. Permitem visualizações de informações que refletem a dimensão real do empreendimento. As ferramentas de *Data Mining* têm por objetivo identificar regras, padrões, restrições e distinções (*outliers*). Podem ser aplicadas a qualquer base de dados consistente.

Apresentam-se, a seguir, as principais características de um DW:

- Orientado a assunto: a modelagem do DW tem como foco assuntos específicos ou segmentos particulares do negócio ou empreendimento.
- Integrado: dados provindos de bases distintas raramente estão organizados e com o mesmo padrão de apresentação. No DW, a padronização permite que as diversas bases de dados se relacionem, resultando em uma integração.
- Não volátil: as operações mais usuais em DWs são carga e consulta de dados. Atualizações são raras, ou seja, os dados armazenados são estáveis.
- Variável com o tempo: o DW armazena históricos de dados, normalmente com no mínimo um ano. Estes dados não são passíveis de atualização, permitindo análises comparativas ou de tendências.

Figura 1: Estrutura genérica de Data Warehouse



O DW proporciona acesso a dados consistentes sobre a empresa ou empreendimento, que, uma vez analisados, oferecem subsídios aos diversos usuários para a tomada de decisões e ações relevantes. Constitui-se, portanto, na base para as ferramentas de *Business Intelligence*.

A grande massa de dados coletada por uma rede de sensores implantada em um edifício precisa ser, em última instância, transformada em **conhecimento**, fornecendo suporte aos gestores para a tomada de decisões bem embasadas e, finalmente, em ações visando à melhoria constante da operação da edificação. Afinal, à semelhança de um negócio, o edifício precisa operar com eficiência e de forma sustentável ao longo de sua vida útil. Deve causar um baixo impacto ambiental, dentre outros meios, pelo consumo racional de recursos como energia e água e, concomitantemente, proporcionar condições ambientais internas satisfatórias aos seus ocupantes, visando ao desempenho de suas atividades cotidianas com saúde e produtividade.

1.2. Objetivo

O objetivo da pesquisa aqui apresentada foi a aplicação de ferramenta de *Business Intelligence* a um banco de dados, contendo informações sobre as concentrações de CO₂ em duas salas de aula climatizadas. A partir do tratamento e análise de dados, verificar a conformidade da variável monitorada frente à norma NBR 16401 (ABNT, 2008) e à resolução RE 09 (ANVISA, 2003), fornecendo informações relevantes aos vários usuários possivelmente interessados, atendendo às suas necessidades específicas.

2. METODOLOGIA

As salas objeto de estudo estão situadas no edifício de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Fig. 2). Possuem uso e geometria idênticos, sendo cada uma atendida por um sistema central de ar condicionado distinto: Sala 17, sistema com distribuição de ar pelo piso e Sala 23, sistema misto de insuflação de ar pelo teto e teto radiante frio.

Ambas vêm sendo monitoradas continuamente desde 2009, por uma rede de sensores (um par de sensores por variável, por sala) e um sistema de monitoramento baseado em Internet. Este sistema permite a coleta contínua de dados dos dois ambientes, enviando-os a um servidor *web* remoto onde são armazenados. Usuários autorizados podem acessá-los por meio de um *web site* dedicado, utilizando-se de um navegador padrão para a Internet.

Figura 2: Salas de aula objeto de estudo (Sala 17 e Sala 23)



Visto que as leituras nos sensores são efetuadas a cada 30 s, uma considerável massa de dados está disponível *online*. A partir do tratamento destes dados, podem-se realizar diversas análises a exemplo de: verificação da adequação das condições ambientais frente aos parâmetros vigentes; comparação dos sistemas de ar condicionado do ponto de vista de eficiência na promoção de concentrações de CO₂ conformes; identificação de padrões de variação das grandezas monitoradas em cada ambiente, ao longo do tempo, em função da ocupação e das estratégias de operação adotadas para cada sistema.

Apresentam-se a seguir, as ferramentas empregadas, bem como as atividades desenvolvidas ao longo da pesquisa.

2.1. Ferramenta *Online Transaction Processing* - OLTP

O sistema de monitoramento em questão (ABILI, 2013) é uma ferramenta *Online Transaction Processing* (OLTP), responsável pelo registro de todas as transações contidas em uma determinada operação, no caso, o monitoramento contínuo de variáveis relacionadas à qualidade dos ambientes interiores em duas salas de aula. Por meio do sistema, também é possível estimar-se o teor de CO₂ do ar externo, importante informação para a análise dos dados (ABNT, 2008).

2.2. Banco de Dados Operacional

O banco de dados operacional utilizado é constituído pelos dados coletados por meio da rede de sensores nos ambientes.

O Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) é o MySQL, versão 5 (MYSQL AB, 2007). Previamente à etapa de extração de dados (26/08/2009 às 10:28:36 h, data da primeira leitura do sistema de monitoramento, até 05/05/2013 às 18:26:03 h, data da extração), verificou-se a existência de 2.750.557 registros, cada um com doze dados numéricos (4 correspondentes à temperatura; 4 correspondentes à umidade relativa; 4 correspondentes ao teor de CO₂), ou seja, 11.002.228 de dados correspondentes às concentrações de CO₂ (nesta etapa, não foram analisados os demais parâmetros monitorados). Cada registro tem cerca de 100 *bytes*.

2.3. Ferramenta *Extract, Transform, Load* - ETL

Utilizou-se uma ferramenta proprietária, desenvolvida como complemento ao sistema de monitoramento, para a extração, transformação e carga dos dados no banco de dados objeto de estudo. Esta ferramenta foi desenvolvida em linguagem *Hypertext Preprocessor* – PHP (THE PHP GROUP, 2007), amplamente utilizada e especialmente adequada para o desenvolvimento de aplicativos *web*.

Utilizaram-se os seguintes parâmetros na etapa de extração de dados: período de 01/03/2010 a 30/06/2011, exceto os meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Julho (meses de férias escolares), perfazendo um total de 12 meses úteis; de 2^a à 6^a feira, das 13 às 17:00 h (dias úteis e horário de aulas).

Na etapa de transformação, calculou-se a média dos valores dos dois sensores de CO₂, por leitura.

Como ainda não havia na rede um sensor para a medição do teor de CO₂ do ar externo, parâmetro relevante na análise desta variável (NBR 16401:2008), o mesmo foi inferido a partir da média dos valores lidos nos quatro sensores, às 8:00 h.

Uma vez aplicados estes parâmetros, chegou-se a um total de 188.842 registros por sala, correspondentes a 377.684 dados. Estes dados foram carregados na base de dados final para análise.

2.4. Ferramenta *On-line Analytical Processing* - OLAP

Na base de dados final, aplicou-se a ferramenta OLAP *icCube Open BI Solution* (CRAZY DEVELOPMENT, 2013), *software* de código aberto. A partir da sua capacidade de manipular e analisar um grande volume de dados sob múltiplas perspectivas permite ao usuário final consultas e geração de relatórios.

Considerou-se a disponibilização dos seguintes relatórios para os possíveis usuários finais de Engenharia, Saúde Ocupacional e Pesquisadores da EPUSP: conformidade dos ambientes monitorados com a NBR 16401:2008 e a RE 09 ANVISA:2003; desempenhos dos sistemas de ar condicionado avaliados, em relação à concentração de CO₂ nos ambientes correspondentes.

3. RESULTADOS

A partir da ferramenta OLAP, obtiveram-se os seguintes relatórios: teor médio de CO₂ por Sala, nos doze meses avaliados, por ano (2010 e 2011) e por mês (2010 e 2011); número de registros de CO₂ por sala, conformes e não conformes com a NBR 16401:2008 (Fig. 3); número de registros de CO₂ por sala, conformes e não conformes com a RE 09 ANVISA:2003.

Visto que o *icCube* é um servidor OLAP e não uma ferramenta voltada à apresentação de relatórios, esta tem recursos limitados, o que não possibilita uma visualização muito clara das informações desejadas.

Com base nos relatórios gerados, observou-se que a Sala 17 e, portanto, o sistema de ar condicionado com distribuição de ar pelo piso, proporcionou melhores resultados de concentrações de CO₂ no ambiente ao longo de todo o período analisado. Isso pode ser constatado tanto pelos valores médios de concentrações, como pelo número de registros em conformidade (em alguns meses, 100% de conformidade).

Figura 3: Registros de CO₂ conformes/não conformes por sala, NBR 16401:2008

The screenshot shows the icCube OLAP tool interface. The main content area displays a table titled "Conformidade Teor CO2 NBR16401". The table is organized into two main sections: "Sala 17" and "Sala 23". Each section has two columns: "Conforme" and "Não conforme". The data is grouped by year (2010 and 2011) and then by month (março, abril, maio, junho, agosto, setembro, outubro, novembro).

	Sala 17		Sala 23	
	Conforme	Não conforme	Conforme	Não conforme
All-M	73,931	1,190	53,950	21,171
2010	36,051	331	27,674	8,708
março	5,677		3,117	2,560
abril	4,082		2,950	1,132
maio	4,661	136	3,077	1,720
junho	6,172	8	5,813	367
agosto	3,938		2,348	1,590
setembro	1,996	80	1,376	700
outubro	3,970	107	3,685	392
novembro	5,555		5,308	247
2011	37,880	859	26,276	12,463
março	12,618		7,552	5,066
abril	8,948	102	7,356	1,694
maio	9,798	4	6,066	3,736
junho	6,516	753	5,302	1,967

4. CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS

As ferramentas de DW utilizadas permitem aos diversos usuários interessados, acesso a informações relevantes sobre os ambientes em questão. Os relatórios resultantes fornecem alguns subsídios para a tomada de decisões, visando-se proporcionar elevada qualidade dos ambientes interiores aos seus ocupantes.

Para que se possa definir a necessidade de novas estratégias de operação dos dois sistemas, faz-se necessária uma análise mais apurada dos dados, por meio da geração de outros relatórios. É importante verificar-se o desempenho dos sistemas de ar condicionado em relação a todas as variáveis simultaneamente e em relação aos dois parâmetros vigentes (norma e resolução). A adoção de ferramenta compatível com o icCube, específica para a geração de relatórios, pode permitir uma visualização mais direta dos resultados obtidos, o que é bastante desejável.

A partir disso, abrem-se as seguintes possibilidades por departamento considerado:

- Engenharia: definir estratégias adequadas de manutenção e operação dos sistemas de ar condicionado das salas;
- Saúde ocupacional: verificar a conformidade das condições ambientais com os parâmetros vigentes, podendo reportar-se à fiscalização e/ou sindicato;
- Pesquisadores diversos: avaliar a eficiência dos diferentes sistemas de ar condicionado em relação às variáveis monitoradas; confrontar os dados obtidos com a percepção dos usuários, verificada por meio de pesquisas de satisfação; outros estudos.

Foram incorporados à mesma rede, em junho de 2013, sensores de outros parâmetros que, a partir da geração de histórico de dados, poderão proporcionar novas análises, inclusive com a correlação de variáveis. Foram instalados sensores de compostos orgânicos voláteis e pressão diferencial (nas salas), teor de CO₂ do ar externo (externamente às salas), qualidade e consumo

de energia (nos dois *fan coils* e no *chiller* que atendem os dois sistemas de ar condicionado). Com a aquisição destes dados e o uso das ferramentas apresentadas, será possível, por exemplo, avaliar-se o consumo de energia de cada sistema de ar condicionado para que se proporcionem condições ambientais adequadas. Com a aplicação de ferramentas complementares de *Data Mining*, poderão ser identificados, por exemplo, padrões de dados que levam a situações de não conformidade.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pelo apoio ao projeto de desenvolvimento do sistema de monitoramento (processos PIPE nº 2012/50461-1, nº 2012/51032-7) e à FINEP - Agência Brasileira de Inovação (processo nº 2013/50085-2).

5. REFERÊNCIAS

ABILI TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO LTDA. Sistema Seguro para Monitoramento Remoto do Ambiente Interno. 2009. Disponível em: <<http://monitor2.abili.com.br>>. Acesso em: 10 Abr. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução - RE no 9. Brasília: 2003. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/re/09_03_1.pdf>. Acesso em: 01 jun 2010.

AHMED, A. et al. Multi-dimensional building performance data management for continuous commissioning. *Advanced Engineering Informatics*, v. 24, n. 4, p. 466-475, 2010.

ALMEIDA JUNIOR, J. R. Data Warehouse: material didático da disciplina de pós-graduação PCS5000 (Depósito de Dados). Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401. Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários. Brasil, 2008.

BALLARD, C. et al. Dimensional Modelling: In a Business Intelligence Environment. 2006. USA: IBM, 2006, 670 p.

BRESLIN, M. Data Warehousing Battle of the Giants: Comparing the Basics of the Kimball and Inmon Models. *Business Intelligence Journal*, v. 9, n. 1, p. 6-20, 2004.

CRAZY DEVELOPMENT. OLAP Server and Business Intelligence Reporting. Disponível em: <<http://www.iccube.com>>. Acesso em: 01 Mai. 2013.

EICHHOLTZ, P.; KOK, N.; QUIGLEY, J. M. The economics of green building. *Review of Economics and Statistics*, 2011.

ELETOBRÁS. Procel - Apresentação. Rio de Janeiro: 2013. Disponível em: <<http://www.eletobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=%7BA8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55%7D>>. Acesso em: 05 Jan. 2013.

GERSHENFELD, N.; SAMOUHOS, S.; NORDMAN, B. Intelligent Infrastructure for Energy Efficiency. *Science*, v. 327, n. 5969, p. 1086-1088, 2010.

HITCHIN, R.; POUT, C.; RIVIERE, P. Assessing the market for air conditioning systems in European buildings. *Energy and Buildings*, v. 58, n. 0, p. 355-362, 2013.

INMON, W. H. *Building Data Warehouses Building Data Warehouses*. 2 ed. New York, USA: John Riley & Sons, 1995, 570 p.

KIMBALL, R.; ROSS, M. *The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling*. 2 ed. New York, USA: John Wiley & Sons, 2002, 446 p.

LAN, L.; WARGOCKI, P.; LIAN, Z. Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 5, p. 1057-1062, 2011.

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.

MYSQL AB. MySQL AB :: The world's most popular open source database. Uppsala: 2007. Disponível em: <<http://www.mysql.com>>. Acesso em: 01 Ago. 2007.

THE PHP GROUP. PHP: Hypertext Preprocessor. 2007. Site oficial da linguagem PHP e sua especificação, mantido pelo The PHP Group. Disponível em: <<http://www.php.net>>. Acesso em: 01 Ago. 2007.

ZHU, W.; RUI, Y.; LINGFENG, W. Multi-agent intelligent controller design for smart and sustainable buildings. In: *Systems Conference, 2010 4th Annual IEEE, 2010, Proceedings...* 2010. p. 277-282.