

IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÃO BIM/IoT PARA SUPORTE À GESTÃO DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO

Implementation of a BIM/IoT solution for the building energy management support

Fernanda Almeida Machado
Unicamp | Campinas, SP | fernanda.machado@nucleobim.com

Regina Coeli Ruschel
Unicamp | Campinas, SP | regina.ruschel@fec.unicamp.br

RESUMO

Este artigo apresenta a implementação de uma solução que alinha a Modelagem da Informação da Construção (BIM) ao paradigma da Internet das Coisas (IoT) como uma resposta à lacuna de conhecimento sobre uso do BIM para a gestão de energia. A integração de um modelo de registro da edificação com suas informações de consumo de energia em tempo real requer uma interface BIM/IoT para permitir a conexão entre os ambientes real e virtual. Considerando os gerentes de *facilities* como usuários desta integração, propôs-se uma estratégia de *feedback* coerente. Assim, objetivou-se a entrega de informações para atividades de manutenção preditiva e tomadas de decisão acerca da gestão de energia. A solução proposta seguiu os procedimentos iterativos de Projeto, Desenvolvimento e Avaliação (PDA) da *Design Science*. Sua implementação piloto em um edifício institucional, restrito a um laboratório de pesquisa, permitiu uma prova de conceito e uma avaliação analítica das capacidades da solução BIM/IoT. O modelo de registro exigiu mudanças, incluindo questões de modelagem geométrica e não geométrica (por exemplo, registros de ativos) para receber dados baseados em sensores, garantir sua visualização em 2D/3D, bem como seu contexto semântico. Observa-se que a solução BIM/IoT é viável para dar suporte a estratégias operacionais, contribuindo para a manutenção preditiva e permitindo o conhecimento do desempenho dos sistemas que constituem a edificação. Portanto, a solução atua como uma opção acessível e interativa para o monitoramento do consumo de energia.

Palavras-chave: BIM; Internet das Coisas; *Digital Twins*; Gestão de Energia; Gerentes de *Facilities*; Indústria 4.0.

ABSTRACT

This paper presents the implementation of a solution that aligns the Building Information Modeling (BIM) with the Internet of Things (IoT) paradigm as a response to the knowledge gap regarding the use of BIM for energy management. The integration of a building record model with its energy consumption information in real-time requires a BIM/IoT Interfacing to enable the connection between the real-world and virtual environments. We proposed a feedback strategy considering the user of this integration as facility managers. Thus, the objective was to provide information for predictive maintenance activities and to make decisions about energy management. The proposed solution followed the Design Science' iterative procedures of Design, Development, and Evaluation (DDE). A pilot implementation at an institutional building restricted to a research laboratory enabled a proof of concept and an analytical evaluation of the BIM/IoT solution's capabilities. The record model required changes including geometric and non-geometric modeling matters (e.g., assets registers) to receive sensor-based data, ensure its 2D/3D visualization as well as its semantic context. We observe that the BIM/IoT solution is feasible to support operational strategies, contributing to predictive maintenance and enabling knowledge of building systems' performance. Therefore, it acts as an accessible and interactive option for energy consumption monitoring.

Keywords: BIM; Internet of Things; Digital Twins; Energy Management; Facility Managers; Industry 4.0.

1 INTRODUÇÃO

A gestão de energia é reconhecida na literatura como um dos tipos mais recorrentes de Gerenciamento de *Facilities* (FM) (MOTA, 2017), caracterizada por seus procedimentos de análise da eficiência energética de edifícios e verificações que relacionam desempenho à sua competitividade econômica. Este processo é amparado pela ISO 50001 (ABNT, 2011) e praticado por meio de monitoramento – cujas atividades consistem em produzir resultados mensuráveis relativos ao uso e consumo de energia (FERREIRA, 2004). Os Sistemas de Gestão Predial (BMS) convencionais que possuem módulos de gestão de energia, são capazes de medir o consumo real periodicamente, entretanto, a exibição destes dados usualmente é realizada em tabelas, gráficos ou textos, em plantas 2D e isolados de ambientes 3D (ATTAR et al., 2011; HAILEMARIAM et al., 2010). A maioria destes sistemas carece de interconectividade entre as representações gráficas, o que conduz à segregação de objetos do contexto da edificação sem o nível apropriado de detalhe (BECERICK-GERBER et al., 2012).

MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C. Implementação de solução BIM/IoT para suporte à gestão de energia da edificação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. **Anais[...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/214

Esse cenário tende a ser aprimorado pelo emprego da Modelagem da Informação da Construção (BIM), cujos modelos apresentam uma interface natural com redes de sensores e operações remotas de FM, e evidenciam sua capacidade de dar suporte a atividades de monitoramento e controle (EASTMAN et al., 2011). Essa capacidade compreende a integração de BIM à Internet das Coisas (IoT). IoT é definida como uma infraestrutura de rede global que abarca um conjunto de tecnologias responsável por atribuir inteligência a ambientes reais e interconectar objetos físicos e virtuais, explorando dados coletados e suas dimensões de comunicação (CASAGRAS, 2009). A integração de BIM e IoT encontra-se em pleno desenvolvimento (MACHADO; RUSCHEL, 2018; TANG et al., 2019), e seu uso para gestão de energia deve otimizar análises e previsões, mediante: (i) provisão de *feedback* centrado nos diferentes tipos de usuários; (ii) aprimoramento de relatórios com histórico de uso da edificação; e (iii) relação alinhada de custos e atividades, para acelerar a economia de energia (BECERICK-GERBER et al., 2012). Soluções nesse âmbito apontam modelos BIM como recursos virtuais persistentes para a preservação do contexto de informações baseadas em sensores, abarcando tanto relações semânticas como representações gráficas. Ainda, indicam o potencial de suporte à manutenção de ativos, uma vez que a integração de BIM e IoT pode subsidiar análises preditivas e ampliar o conhecimento das partes interessadas sobre o ambiente real (MACHADO; RUSCHEL, 2017).

Dessa forma, entende-se a relevância de explanar como os proprietários de edifícios podem se beneficiar da contextualização semântica proporcionada por modelos BIM e seu potencial vínculo ou integração com informações baseadas em sensores, BMS e operações remotas de FM.

O presente artigo apresenta a implementação de uma solução BIM/IoT, cuja interface visa explorar o potencial de suporte ao monitoramento do consumo de energia e à manutenção preditiva – por meio da integração em tempo real de modelos BIM às informações de eficiência energética de sistemas e subsistemas que constituem a edificação. Alinhado a este uso, há a ênfase no emprego de uma estratégia de *feedback* concebida para subsidiar as tomadas de decisão de gerentes de *facilities* em relação à gestão de energia. Essa abordagem é parte de uma pesquisa de mestrado finalizada que adotou a *Design Science* – um método prescritivo focado na construção de artefatos para solucionar problemas do mundo real (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015).

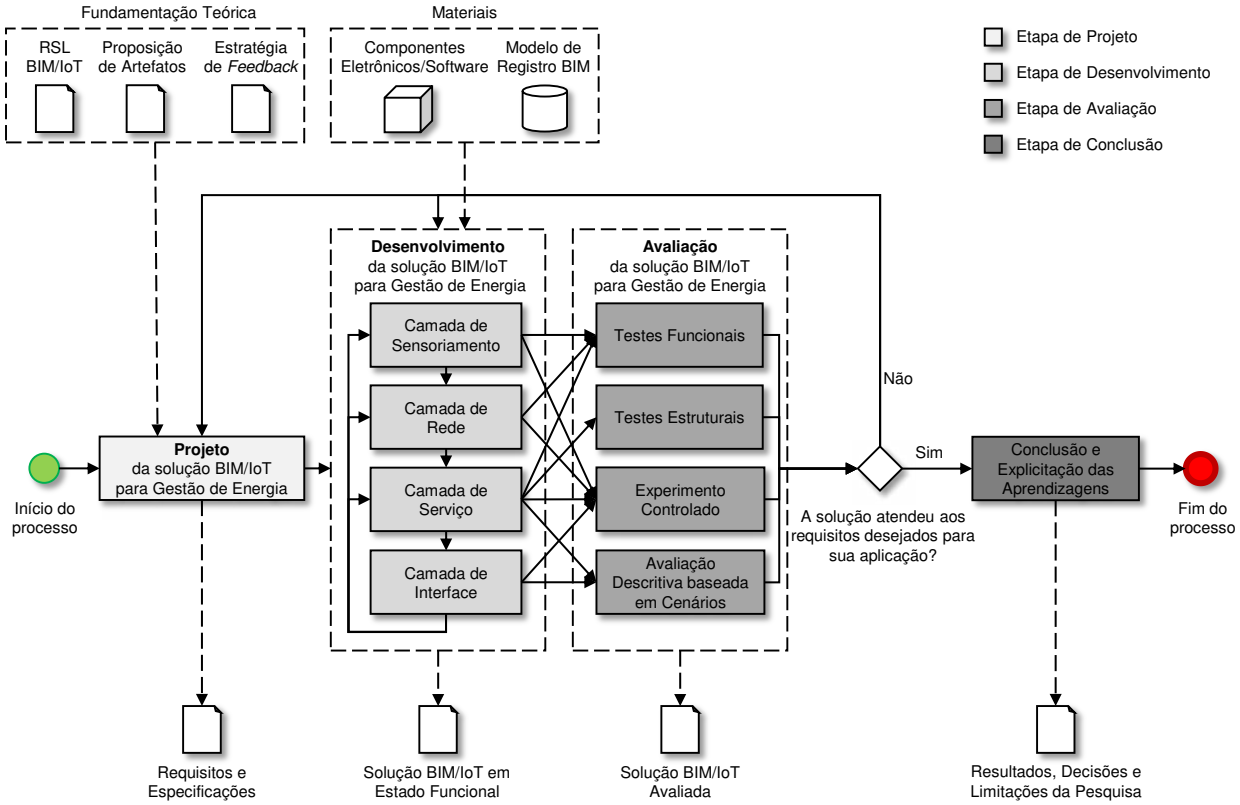
2 METODOLOGIA

A solução BIM/IoT passou por etapas de Projeto, Desenvolvimento e Avaliação (PDA), conforme procedimentos delineados na Figura 1. Sua implementação piloto foi realizada no laboratório de uma instituição de ensino, que se enquadra no contexto de proprietários que constroem para própria Operação & Manutenção (O&M). Devido à inexistência de um BMS na edificação objeto deste estudo, foi desenvolvido um protótipo para inserir recursos de monitoramento e controle no ambiente. Buscando-se uma prova de conceito, a solução BIM/IoT restringiu-se ao sistema de iluminação do laboratório, por este ser caracterizado como uma das principais fontes de consumo de energia em edificações comerciais e institucionais (CBCS et al., 2014). Já o modelo de registro da edificação foi adequado e explorado como meio central de comunicação entre as informações baseadas em sensores e os gerentes de *facilities*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estratégia de *feedback* foi definida de acordo com o ambiente de aplicação institucional, as responsabilidades dos gerentes de *facilities* (GOKÇE; GOKÇE, 2014) e suas motivações associadas à gestão de energia. A inexistência de BMS no edifício reflete nas atividades do departamento de FM da instituição de ensino, que consistem somente em manutenção corretiva por ordem de serviço e manutenção preventiva. A implementação da solução BIM/IoT permitiria ao departamento incorporar a manutenção preditiva em suas práticas diárias, suportada pelo monitoramento e análise de informações de desempenho, como o consumo de energia de um departamento, ambiente, sistema, usuário ou intervalo de tempo. Logo, essa estratégia compreendeu: (i) a entrega de informações baseadas em sensores, disponível em interface local e *web*; (ii) a exibição de múltiplas unidades de informação (Watts, kWh, R$, kgCO2e/kWh), para ampliar o conhecimento do público-alvo; (iii) a frequência de atualização em tempo real; (iv) a exibição de histórico dessas informações; (v) a desagregação e associação destas a objetos BIM do sistema de iluminação (ambiente, circuitos e luminárias), visando níveis de granularidade; e (vi) a emissão de relatórios de monitoramento de condição, para auxiliar nas tomadas de decisão operacionais.

Figura 1: Procedimentos Metodológicos



Fonte: Adaptado de Machado (2018).

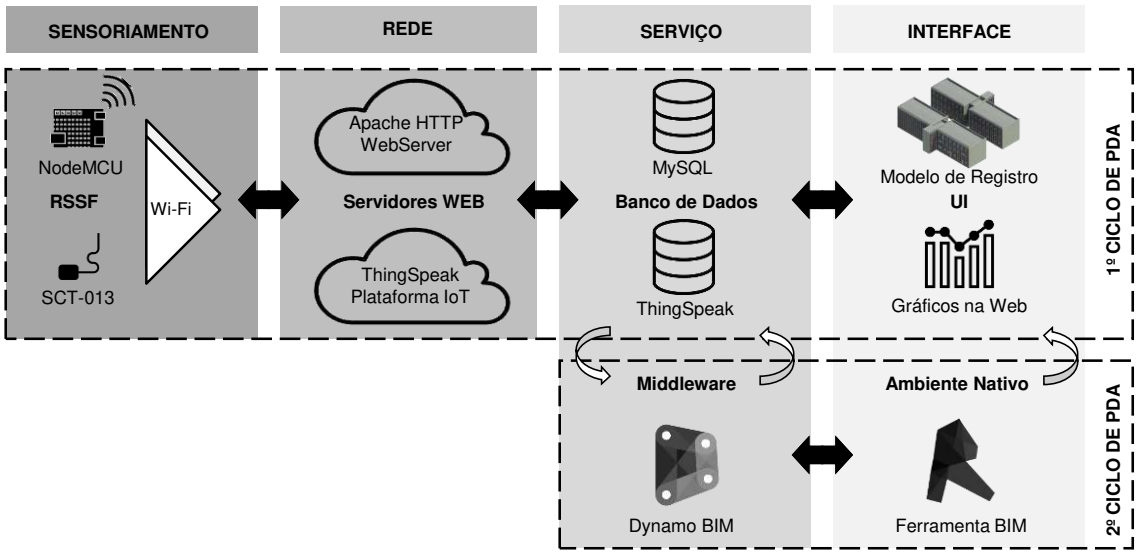
O modelo de registro de partida consistiu em um modelo BIM do prédio administrativo contendo laboratórios e escritórios do corpo docente da instituição. Sua adequação ao propósito da solução BIM/IoT envolveu a inclusão de novos objetos BIM, como ambientes 3D (*rooms*), modelagem de circuitos de iluminação e checagem de posicionamento das luminárias. Criou-se propriedades compartilhadas entre os objetos, armazenadas em instância, para receber as informações dinâmicas baseadas em sensores; e propriedades COBie para inserção de registros de ativos – tendo em vista garantir a contextualização semântica. Por fim, foi necessária a configuração de vistas 3D e tabelas dedicadas para o monitoramento e controle do sistema de iluminação.

3.1 Arquitetura

A arquitetura proposta consistiu em quatro camadas distintas, baseadas em Li, Xu e Zhao (2015), que passaram por dois ciclos iterativos de PDA (Figura 2). O fluxo empregado foi fundamentado em experimentos existentes, a exemplo de Marzouk e Abdelaty (2014), Lee, Cha e Park (2016) e Habibi (2016).

A **camada de sensoriamento** integrou uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) responsável por coletar, agregar e monitorar os dados de consumo de energia do sistema de iluminação do laboratório. A **camada de rede** utilizou o protocolo de comunicação IEEE 802.11 (Wi-Fi), necessário para receber e transmitir dados coletados para servidores web. Esses dados foram processados e armazenados em servidores de banco de dados associados (MySQL e ThingSpeak), hospedados na camada de serviço. A **camada de serviço** permitiu a consulta, o tratamento e a análise dos dados para gerar informações contextualizadas sobre o monitoramento do consumo. Além de MySQL e ThingSpeak, esta camada agregou o ambiente de programação visual do Dynamo, para extrair as informações destes servidores e alimentar o modelo BIM em tempo real em um ambiente nativo. O propósito central do Dynamo foi atuar como *middleware*, viabilizando a integração BIM/IoT e transformando o modelo estático em dinâmico. Esse modelo dinâmico representa a conexão entre informações reais e virtuais propiciadas pela solução, alinhando-se, dessa forma, ao conceito de *Digital Twin* (CEARLEY; BURKE, 2018). Finalmente, a **camada de interface** abarcou ferramentas para hospedar e gerenciar o modelo BIM adquirido (Autodesk Revit) e os gráficos de monitoramento de desempenho, estes últimos disponíveis para visualização em uma página *web*.

Figura 2: Arquitetura e Ciclos Iterativos de PDA



Fonte: Adaptado de Machado (2018).

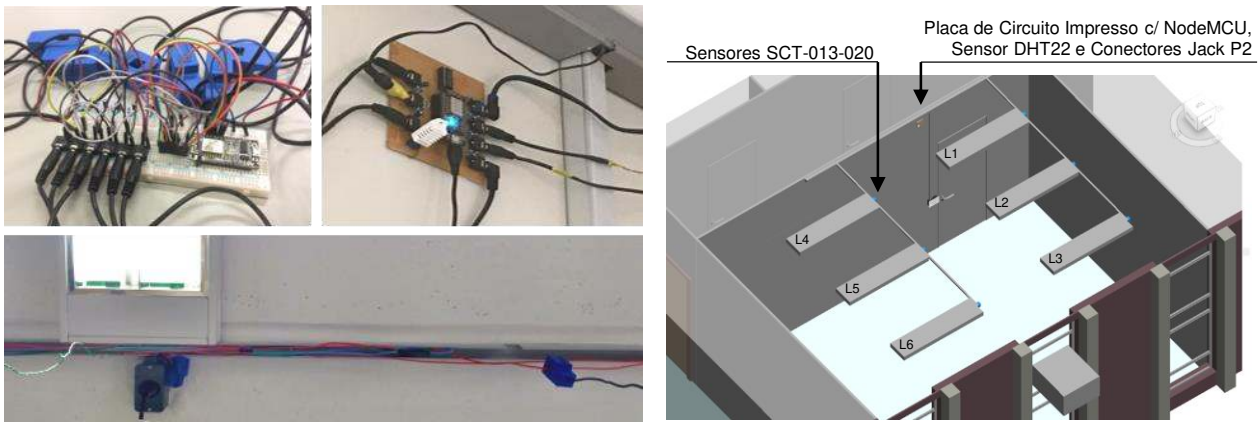
3.2 Integração de BIM e IoT

A atualização dinâmica do modelo BIM foi um requisito que direcionou a lógica de programação e os testes de *scripts* desenvolvidos no Dynamo. Selecionou-se e filtrou-se os objetos BIM relacionados aos objetos reais sob monitoramento de desempenho. Configurou-se a comunicação entre Dynamo e MySQL, via padrão ODBC, ou Dynamo e ThingSpeak, via método HTTP GET, para viabilizar a extração de dados dos servidores, sua organização em sublistas e tratamento por meio de fórmulas matemáticas. O tratamento de dados no Dynamo alinhou-se aos critérios de monitoramento de condição para gerar relatórios de cada ativo. Então, programou-se a inserção das informações nas propriedades dos objetos BIM e a sobreposição gráfica de cores, conforme os resultados dos relatórios. Os relatórios basearam-se nos valores operacionais e médias de consumo de cada luminária, calculados segundo suas especificações. Valores operacionais de consumo entre 49W e 64W classificam as luminárias de acordo com o monitoramento de condição. Valores acima ou abaixo dessa faixa indicam possíveis falhas no sistema de iluminação e demanda por verificar o ativo *in loco*. Por sua vez, as médias foram agrupadas por ambiente e relacionadas a impactos econômicos e ambientais.

3.3 Implementação

O sistema de iluminação do laboratório compreende dois circuitos paralelos (A e B) com três luminárias em série em cada. O protótipo para monitorar o consumo de energia de ambos os circuitos consistiu no uso de uma placa de microcontrolador NodeMCU, seis sensores de corrente não invasivos da família SCT-013 e componentes eletrônicos de suporte. A adição de um adaptador AC-AC garantiu a medição da tensão elétrica do sistema em tempo real. Esses materiais foram interconectados por uma placa de circuito impresso, com instalação também representada no modelo BIM (Figura 3).

Figura 3: Implementação Piloto



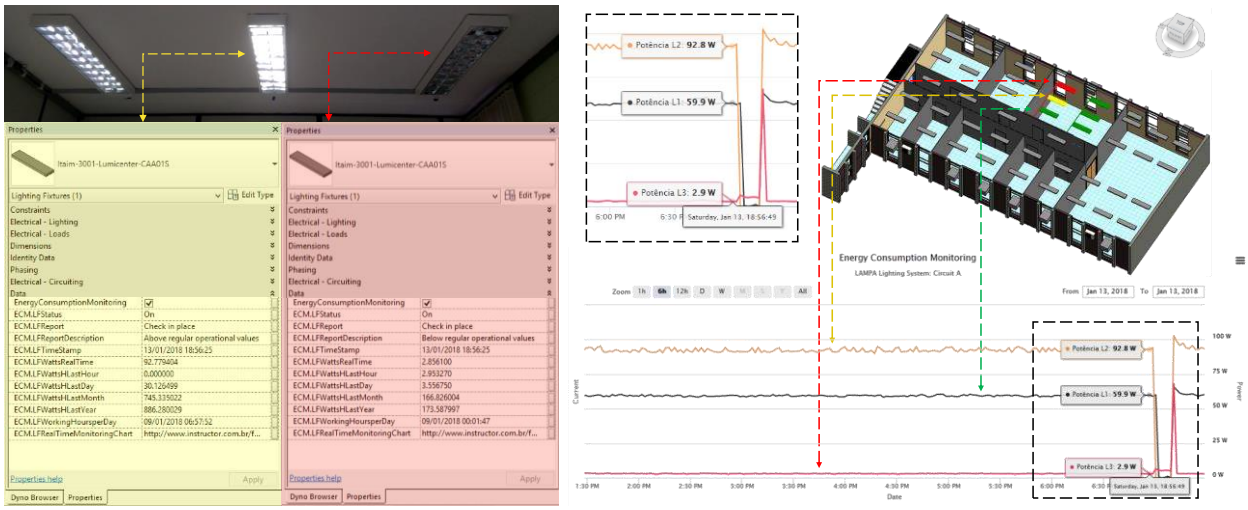
Fonte: Adaptado de Machado (2018).

A solução foi executada por três meses para obtenção de resultados de monitoramento e refinamento dos bancos de dados, *scripts* do Dynamo e modelo BIM. Considerou-se a inserção em tempo real de informações de consumo em Watts; assim como suas médias horárias, diárias, mensais e anuais, para os ambientes, circuitos e luminárias do modelo. No caso dos ambientes, também foram inseridas informações de custo (R$) e emissão de carbono equivalente (kgCO2e/kWh). Já os resultados dos relatórios de monitoramento de condição, além de alimentarem as propriedades dos objetos BIM mencionados, foram exibidos em tabelas e vistas 2D/3D, por meio da sobreposição de cores: vermelho e amarelo para “Verificar no Local” e verde para “De acordo com a Condição de Monitoramento”. Finalmente, criou-se um vínculo entre os objetos BIM e os gráficos hospedados na *web*, sendo estes gerados a partir do banco de dados do ThingSpeak.

3.4 Avaliação da Implementação

Durante o período de implementação piloto e avaliação descritiva baseada em cenários, foi possível verificar situações de monitoramento de condição no laboratório de pesquisa. O circuito A indicou o resultado “Verificar no Local”: (i) na L2, o consumo de energia estava acima dos valores operacionais regulares, o que remete à revisão da instalação dos sistemas de iluminação; e (ii) na L3, estava abaixo dos valores operacionais regulares, o que indica falhas de desempenho e demandas de reposição. Os valores monitorados puderam ser confirmados nos gráficos externos, com o benefício do registro histórico, e em propriedades de objetos e tabelas (Figura 4).

Figura 4: Cenário de Avaliação



Fonte: Adaptado de Machado (2018).

Por conseguinte, a solução BIM/IoT para gestão de energia, ratificando e contribuindo com o estado da arte, indicou os seguintes potenciais de capacidade:

a. aprimorar o monitoramento e controle do consumo de energia por meio de automação predial;
b. associar o modelo BIM às informações de ambientes inteligentes em tempo real para análise e previsão;
c. fornecer *feedback* centrado em usuários para reduzir consumo e favorecer manutenção de ativos;
d. mensurar impactos econômicos e ambientais e relacioná-los a atividades de uso, operação e manutenção do edifício, para facilitar a criação de estratégias operacionais de gestão de energia;
e. enriquecer relatórios de desempenho por nível de granularidade das informações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos BIM tradicionalmente representam o edifício em uma condição estática. O presente artigo apresentou a habilitação de um edifício para representar a si mesmo no modelo BIM dinamicamente, conforme sua condição real; e seus potenciais desdobramentos nas práticas diárias de um departamento de FM. Sua capacidade de auto atualização indica a tendência de uso da comunicação máquina-a-máquina (M2M), envolvendo modelos BIM na contextualização semântica e exibição de informações.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à CAPES, pela bolsa de mestrado, e ao CNPq, pelas bolsas de iniciação científica e produtividade em pesquisa, que apoiaram o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia – Requisitos com orientações para uso. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 24 p.

ATTAR, R et al. Sensor-enabled Cubicles for Occupant-centric Capture of Building Performance Data. **ASHRAE Transactions**, v. 117, n. 2, 2011.

BECERICK-GERBER, B. et al. Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 3, p.431-442, mar. 2012.

CASAGRAS - COORDINATION AND SUPPORT ACTION FOR GLOBAL RFID-RELATED ACTIVITIES AND STANDARDISATION. **RFID and the inclusive model for the Internet of Things**. Halifax: European Commission Framework 7 Project, 2009. 88p (Final Report, EU Project Number 216803).

CEARLEY, D.; BURKE, B. The top 10 strategic technology trends for 2019. 2018. Acesso: 07 fev.2019. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/doc/3891569-top-10-strategic-technology-trends-for-2019>.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS) et al. Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável. 2014.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Ed. Bookman, 2015.

EASTMAN, C. et al. **BIM handbook**: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons, 2011.

FERREIRA, I. Energy Management. In: TEICHOLZ, E. (Ed.). **Facility Design and Management Handbook**. The McGraw-Hill Companies: Digital Engineering Library, 2004, pp. 23.1-23.17

GÖKÇE, H. U.; GÖKÇE, K. U. Multi-dimensional energy monitoring, analysis and optimization system for energy efficient building operations. **Sustainable Cities and Society**, v. 10, p. 161-173, 2014.

HABIBI, S. Smart innovation systems for indoor environmental quality (IEQ). **Journal of Building Engineering**, v. 8, p. 1-13, 2016.

HAILEMARIAM, E. et al. Toward a unified representation system of performance-related data. In: IBPSA CANADA CONFERENCE, 6, 2010. **Proc**... Manitoba: IBPSA, 2010.

LEE, D.; CHA, G.; PARK, S. A study on data visualization of embedded sensors for building energy monitoring using BIM. International Journal of Precision **Engineering and Manufacturing**, v. 17, n. 6, p. 807-814, 2016.

LI, S.; DA XU, L.; ZHAO, S. The internet of things: a survey. **Information Systems Frontiers**, v. 17, n. 2, p. 243-259, 2015.

MACHADO, F. A. **BIM e Internet das Coisas para o Monitoramento do Consumo de Energia da Edificação**. 2018. 210 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C. A integração de BIM e IoT com ênfase em energia na fase de operação e manutenção da edificação. In: 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, SBTIC+ SIBRAGEC, 2017. **Anais**... Fortaleza: ANTAC, 2017.

MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C. Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 3, p. 204-222, 2018.

MARZOUK, M; ABDELATY, A. Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 252-257, 2014.

MOTA, P. P. **Modelo BIM para gestão de ativos**. 2017. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

TANG, S. et al. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. **Automation in Construction**, v. 101, p. 127-139, 2019.