

Home automation: experiment with a water monitoring device.

Fernanda Werlich dos Passos¹, Eduarda Bitencourt¹, Marcos Marciel Sansão¹, Pedro Oscar Pizzetti Mariano¹, Carlos Eduardo Verzola Vaz¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Brazil
werlich.passos@posgrad.ufsc.br
eduarda.bitencourt@grad.ufsc.br
m.sansao@posgrad.ufsc.br
pedro.pm@hotmail.com
carlos.vaz@ufsc.br

Abstract. This paper presents the results of research that aims to integrate environmental sensors and BIM authoring platforms to monitor and predict water consumption in a residential environment. It also aims to establish strategies to promote sustainable and conscious consumption to the user, in addition to facilitating the operation and maintenance process. Thus, it contributes to an intelligent building, which has this name due to the monitoring of parameters and the collection of data from the internal environment. Therefore, this study presents a prototype for monitoring residential water consumption, being an exploratory and experimental research. The method is based on the association of different digital tools, prototyping boards and sensors to provide the integration of the real building with a digital replica. The prototype was tested in a residential toilet to collect data and evaluate the integration between the tools, indicating through the consumption indication with visual responses based on colors.

Keywords: Internet of things, Computational tools, Automated environment, Interoperability, Digital Twin

1 Introdução

A redução do impacto ambiental com o auxílio de tecnologias na construção civil, atualmente, é importante para a eficiência dos recursos e para o desempenho das construções durante o ciclo de vida (Aste et al., 2016).

Na edificação, além da qualidade construída e da ambiental, a condição das instalações também influencia no bem-estar dos usuários (Lai & Yik, 2011). Visto que atua diretamente em relação à operação e à gestão, em

serviços, tais como: limpeza, reparação e manutenção, característica da fase do pós-obra.

Visando à previsão de possíveis problemas de projeto e corrigi-los ainda na fase de simulação, um Gêmeo Digital é construído com base em dados da realidade, espelhando a edificação, sendo necessário desenvolver uma estrutura bem definida e organizada. Esse sistema deve adquirir, integrar, analisar, simular e sincronizar informações, continuamente, durante os estágios do ciclo de vida da edificação (Lee et al., 2020).

Para isso, esta pesquisa envolve diferentes sistemas e tipos de dados, os quais geram uma base heterogênea, originados e mantidos por sensores, onde a comunicação é efetuada por rede *wireless* (Lu et al., 2019). Espera-se que as estratégias resultem em um protótipo de dispositivo para o monitoramento do consumo de água, que permita a replicabilidade na residência, colocando parte do processo nas mãos dos usuários, como uma maneira de apoiar o consumo consciente dos equipamentos sanitários.

1.1 Gêmeo Digital no contexto da construção civil

O ciclo de vida das edificações envolve as fases: de produção, construção, uso e o fim da vida (EN 15978:2011 — *Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method*., 2011). Sendo assim, o *Facility Management* contribui para a gestão na construção civil influente no desempenho da edificação.

Este termo, relacionado à sétima dimensão da metodologia BIM (Modelagem da Informação da Construção), é uma representação virtual tridimensional da edificação física com o compartilhamento de informações e eficiência na colaboração entre os profissionais da Arquitetura e Construção (AEC) (IFMA, 2013). Envolve diversas disciplinas, visando à melhoria na funcionalidade do ambiente construído, àquele que integre pessoas, lugares, processos e tecnologia (Aziz et al., 2016).

Porém, os modelos BIM podem ser considerados estáticos e, atualmente, há uma oportunidade de sincronizá-los com outras fontes de informação, tais como sensores sem fio e sistemas de automação predial, tornando-se capaz de aprender e atualizar em tempo real ativos físicos da AEC (Lu et al., 2019). Essas réplicas digitais de edificações chamam-se Gêmeos Digitais (*Digital Twins*), o conceito teve origem na NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e tem: uma simulação do modelo físico, a qual integra e armazena informações por meio da mineração de dados - processo para encontrar padrões em dados -. Com essas informações, é possível recomendar mudanças para aumentar a probabilidade de sucesso na missão espacial (Shafto et al., 2012).

O paradigma de Gêmeos Digitais expandiu-se para além do setor aeroespacial, em outras indústrias como o da manufatura e, recentemente, o da AEC, aplicado em contextos de cidades e edificações mais inteligentes (Lu et al., 2019). Estas têm essa denominação pela coleta de dados do ambiente interno por meio de IoT (*Internet of Things*), *Wi-fi*, WSN (*Wireless Sensor*

Network), 5G, LP-WAN (Low-power wide-area network) e câmeras de vigilância (Deng et al., 2021). Promove uma conexão bidirecional à construção digital e à real, atualizando, instantaneamente, o status da edificação no modelo simulado (Lu et al., 2019).

A partir deles, é possível realizar monitoramento em tempo real, previsão de desempenho e melhorias estratégicas (Deng et al., 2021). Porém, o controle do desempenho da edificação ainda está em expansão na indústria da construção, visto que edifícios convencionais, muitas vezes, não foram projetados pensando no impacto que poderiam incorrer no meio ambiente. Somado a questões globais, há o aumento da demanda de consumo e do desperdício pelo usuário.

1.2 Demanda da água e perspectivas para o uso sustentável

Conforme a ONU, o consumo de água recomendado é de 110 litros por habitante/dia, enquanto o consumo médio do brasileiro é de 154 litros por habitante/dia (Breda, 2019).

Atualmente, o monitoramento hidrológico residencial indicado pela companhia de água e saneamento do Estado de Santa Catarina (CASAN), sugere a leitura periódica do hidrômetro e cálculos para a compreensão do consumo médio diário (Casan, 2022). Além dos programas de conscientização no Brasil, aconselhando algumas atitudes como a diminuição do tempo de banho, escovar os dentes com a torneira fechada e a reutilização de água da máquina de lavar roupa para limpezas gerais, maneiras de controlar o desperdício e de incentivar um consumo consciente de água.

Tais medidas, não proporcionam uma relação de causa-efeito para o consumo dos equipamentos hidrossanitários, não havendo um retorno do processo de uso e o usuário não tem consciência do seu consumo pessoal na residência, visto que apenas 5% dos consumidores brasileiros são designados como conscientes (Akatu, 2007).

Com isso, a fim de reduzir o desperdício de água, em Botsuana, por exemplo, foi desenvolvido um estudo sobre o monitoramento da qualidade da água fornecendo resultados em tempo real de maneira proativa sobre a contaminação deste recurso. Na China, foi desenvolvido um mecanismo de monitoramento de água online baseado em ZigBee e GPRS - sistemas de comunicação de redes sem fio (Ramya et al., 2011) - possibilitando uma infraestrutura de baixo custo e fácil de construir. Há, também, estudos que abordam a inteligência computacional para prever o consumo doméstico de água, por meio de redes neurais artificiais (RNAs), as quais estimam em função de fatores econômicos e climáticos (Cutore et al., 2008).

2 Metodologia

O estudo pode ser considerado aplicado com caráter exploratório e empírico, baseando-se em diferentes estratégias computacionais coletar e analisar dados de modo a estimular a criação de modelos que podem ser atualizados e modificados em tempo real.

Durante este processo, uma base de dados sobre consumo de água foi obtida a partir de sensoriamento remoto para compor aspectos que viabilizem a avaliação de questões relacionadas ao ambiente construído residencial. O processo de pesquisa baseou-se na associação de diferentes ferramentas digitais, placa de prototipagem digital e sensor para proporcionar a integração da edificação real por meio de um Gêmeo Digital.

A metodologia estrutura-se em cinco estágios: (1) compreensão da problemática do desperdício de água na residência e como a implantação de Gêmeos Digitais contribui para o aspecto de desempenho da edificação; (2) realização da primeira medição por uma placa de prototipagem eletrônica, para a obtenção de dados vindos do ambiente; (3) uso da plataforma *Blynk.io* para armazenamento dos dados em nuvem e disponibilização via URLs (4) uso do ambiente de desenvolvimento *Processing* para processamento dos dados brutos e disponibilização em tempo real via arquivo CSV; (5) uso dos softwares BIM *Autodesk Revit Architecture* e *VisualARQ* para a modelagem e recepção dos dados; do *Rhinoceros/Grasshopper* com programação visual e realização de processos de computação automatizados, extraíndo informações do sensor para alimentar o protótipo digital. O sistema foi testado em um ponto de água de um banheiro residencial, visando coletar dados preliminares e avaliar a integração entre as diferentes ferramentas (figura 1).

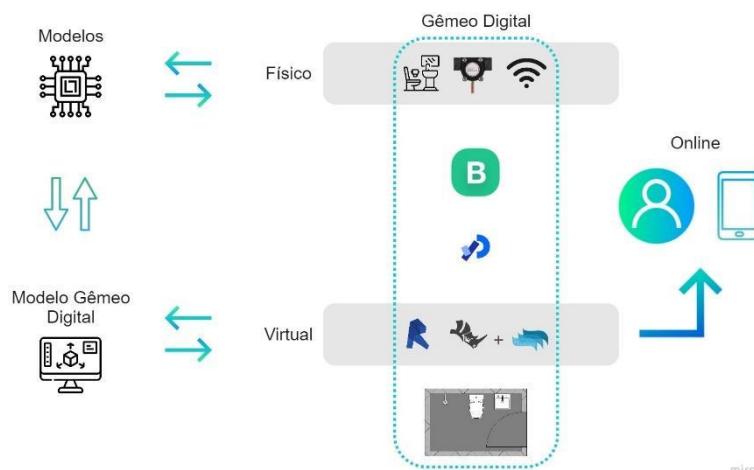


Figura 1. Diagrama da implantação do Gêmeo Digital. Fonte: Autores, 2022.

2.1 Etapa 01: Desenvolvimento do protótipo e a disponibilização dos dados brutos

A fim de proporcionar a interoperabilidade de informações entre os dispositivos físicos hidrossanitários e o modelo da construção, constituindo um gêmeo digital, foi necessário, primeiramente, desenvolver um protótipo de monitoramento de água para coletar os dados brutos de consumo e enviá-los em tempo real para o modelo digital da construção. Dessa forma, foram utilizados como *hardware* para constituir o protótipo uma plataforma de *Internet das coisas* com módulo *Wi-fi* (*NodeMCU*), a qual recebe e envia dados a partir de um *chip* *ESP8266*, é um sensor de fluxo de água de 1/2 polegada.

A placa da plataforma de IoT foi programada a partir do ambiente de desenvolvimento *Arduino*. Os dados coletados pelo sensor foram salvos de modo que cada registro apresenta-se: um identificador, data e hora de consumo, volume e tempo de consumo. A partir destes, é possível calcular a vazão média da peça monitorada (torneira) e inferir outros padrões de uso (figura 2). Para evitar a necessidade de manter a placa de prototipagem eletrônica ligada ao computador, esta foi conectada à rede de energia e à rede local de *Internet* da residência, permitindo enviar a coleta para uma plataforma em nuvem voltada à criação de soluções para a Internet das coisas (*Blynk.io*).

Inicialmente, o *Blynk.io* foi selecionado pela possibilidade de transmitir os dados em tempo real para um arquivo CSV (*comma separated values*), porém houve dificuldade de realizar esta operação. Como resultado, optou-se por utilizar os *links* de URL disponibilizados pelo próprio ambiente (figura 3). Neles, os valores coletados são atualizados automaticamente, o que possibilita a interoperabilidade com outra plataforma (*Processing ide*).



Figura 2. Instalação do sensor de fluxo de água e placa de prototipagem eletrônica instalado no ponto de água. Fonte: Autores, 2022.

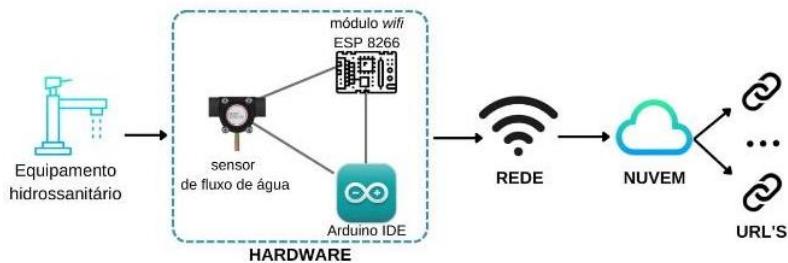


Figura 3. Framework da primeira etapa. Fonte: Autores, 2022.

2.2 Etapa 02: Uso do software *Processing* e a disponibilização em tempo real via arquivo CSV

Visando tratar os dados brutos transmitidos a partir da plataforma *Blynk.io*, estes foram coletados por meio da utilização do ambiente de desenvolvimento *Processing*. Neste, foi calculada a vazão média do ponto de água para cada utilização realizada pelo usuário. Além disso, foram definidos outros parâmetros para identificação de cada acionamento da torneira, tais como: um identificador, dia e hora de acionamento. Estas informações foram transmitidas a um arquivo CSV salvo em um serviço de armazenamento e sincronização de arquivos. A opção, por disponibilizar o arquivo em uma plataforma de computação em nuvem, possibilitou que os diferentes participantes da pesquisa tivessem acesso ao conjunto de informações remotamente. A figura 4 mostra um trecho do arquivo CSV, um exemplo dos dados salvos, e a interface do ambiente de desenvolvimento do *Processing*.

Além de possibilitar a exportação dos dados em CSV, a utilização do ambiente *Processing* trará outros benefícios em etapas futuras da pesquisa. Esta linguagem de programação e plataforma de desenvolvimento integrado tornou-se uma ferramenta difundida e com inúmeras bibliotecas que permitem o tratamento de dados a partir de técnicas estatísticas e estratégias de visualização de dados. Outro aspecto importante é sua integração com o ambiente de modelagem paramétrica *Grasshopper* e seu modo que possibilita a criação de aplicativos para *smartphone*. Este último recurso possibilita a criação de aplicativos que podem retornar informações sobre o consumo de água de uma residência para o próprio usuário.

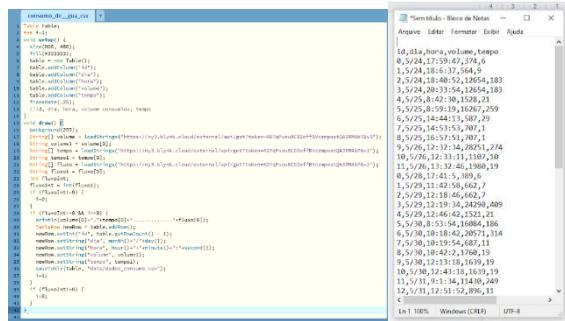


Figura 4. (1) Ambiente de desenvolvimento Processing; (2) Dados coletados em arquivo CSV. Fonte: Autores, 2022.

2.3 Etapa 03: Compatibilização do modelo na interface digital

Para a integração do ambiente real com o digital, dois modelos foram desenvolvidos em ferramentas computacionais distintas com o intuito de se interpretar os possíveis resultados disponibilizados por cada uma das “interfaces”. Assim, um ambiente semelhante ao real foi modelado em dois softwares BIM, *Autodesk Revit* (Autodesk, 2022) e *Rhinoceros 3D* (McNeel, 2022), utilizando o *plug-in VisualARQ* (Asuni, 2022) e testar diferentes aplicações e diálogos que podem ser desenvolvidos entre os dispositivos digitais e o real.

Dentro de cada software, busca-se facilitar a interação com os dados virtualizados da realidade, empregando recursos informativos e visuais para a representação dos consumos. Tais dados são integrados aos ambientes e interpretados, de modo que possam ser transformados em informações visuais, por números e sinais visuais baseados em cores (verde, azul e vermelho).

2.4 Integração com o Revit

O software BIM Autodesk Revit 2021 foi utilizado como ferramenta para modelagem do espaço, sendo monitorado o controle das características e propriedades que refletem o ambiente doméstico. Utilizou-se também, o Grasshopper como plataforma de “interface” entre os dados registrados e o modelo digital. Os recursos de *scripting* em linguagem Python, nativo da ferramenta, são empregados para importar o banco de dados CSV, sua extração e transformação em informações úteis. Por meio do *plug-in* Rhino.Inside Revit® (McNeel, 2022), as instâncias de famílias existentes no Revit são conectadas ao Grasshopper, onde seus parâmetros podem ser selecionados e os valores originais alterados para corresponder aos dados reais de consumo (figura 5). A interoperabilidade de ferramentas permite a conexão contínua e o *stream* de dados em tempo real, permitindo o uso do modelo como meio de registro, verificação e interação para sensibilização sobre o consumo de água.

A “interface” de informações do modelo ocorre de duas formas: (1) A exibição de valores sobre o consumo por uso, empregando identificadores dos valores atribuídos a esses parâmetros da instância; e (2) a representação desses valores frente às métricas esperadas para consumo, avisando ao usuário por cores no próprio modelo, o valor abaixo do esperado (verde), dentro de uma variação média (azul) e acima do limite (vermelho).

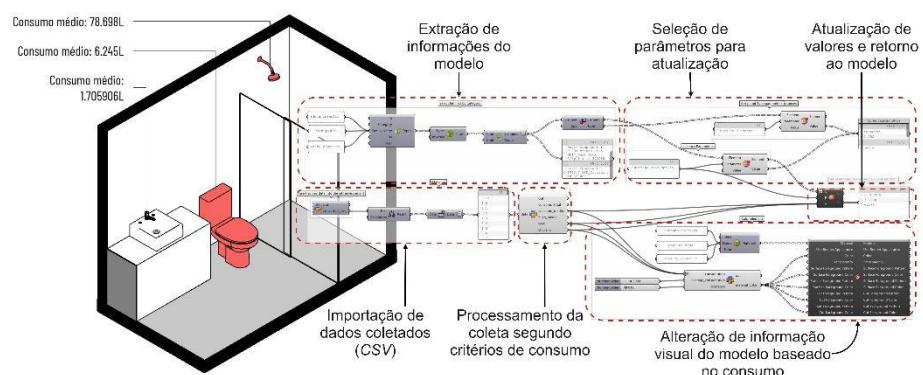


Figura 5. Sinais visuais do modelo digital desenvolvidos com os componentes do Revit integrados ao Grasshopper. Fonte: Autores, 2022.

2.5 Integração com o *VisualArq*

Para a aproximação do ambiente real no programa *Rhinoceros 3D* (Mcneel, 2014), o *plug-in VisualARQ* (Asuni, 2022) foi utilizado em duas interfaces, diretamente como ferramenta de modelagem tridimensional e como programação visual no *Grasshopper*. Sendo que, em um primeiro momento, seu uso permitiu a modelagem digital do ambiente, recriando as divisórias verticais e horizontais e adicionando componentes IFC que representam peças de instalação hidráulica reais, como pia, torneira, vaso sanitário e chuveiro. E, em um segundo momento, através da programação visual dentro do *Grasshopper*, utilizando os componentes do *VisualARQ*, para representar os dados coletados do sensor e armazená-los nas famílias do modelo digital, visualizando no *Rhinoceros 3D 7*.

Para a coleta de dados do ambiente físico, o componente *Colibri*, do *TT Toolbox* (Tomasetti, 2017) foi utilizado, possibilitando coletar e ler os dados gerados e armazenados pelo sensor. As informações lidas são organizadas e somadas, possibilitando que a numeração possa ser transformada e encaminhada para o modelo digital desenvolvido no *Rhinoceros*. Assim, é possível observar a mudança de consumo do ambiente real diretamente no virtual, além do que os padrões de cores, desenvolvidos em RGB, ainda podem ser retransmitidos para o ambiente real, apresentando o seu rendimento (figura 6).

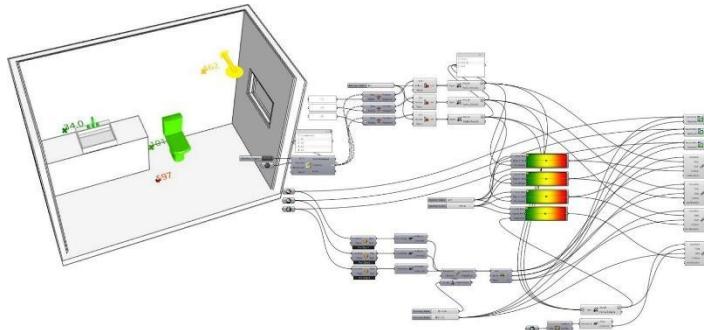


Figura 6. Sinais visuais do modelo digital desenvolvidos com os componentes do VisualARQ na interface do Grasshopper. Fonte: Autores, 2022.

Para potencializar a utilização do leitor e testar mais possibilidades na “interface” do *Grasshopper*, uma equação simplificada foi utilizada, permitindo que o resultado coletado pelo sensor se transforme em outros dois números fictícios. Contudo, a escolha dos padrões de cores e limites numéricos foram fundamentadas na pesquisa Barreto (2008), que atribui um consumo médio de 29 litros de água por dia, para torneira de lavatórios. Esse número foi multiplicado por 31 — representando uma média mensal —, para obter um intervalo numérico de 1 a 899 que organiza as cores da programação. Esses quantitativos foram utilizados para se verificar o funcionamento do padrão de cores proposto, conferindo se, ao aumentar o nível de consumo, as cores iriam alterar, ilustrando assim, o padrão de consumo do ambiente. Com o aumento de resultados, também foi possível fazer uma somatória que pode ser visualizada no centro do cômodo, simulando o consumo total dos equipamentos do ambiente. O desenvolvimento do diálogo entre o ambiente real e o virtual, por uma plataforma de modelagem paramétrica, propiciou uma gama de alterações visuais, como cores, tamanhos e posições. Uma amostra dessa interação entre as informações do sensor do ambiente real que alimentaram protótipo digital, são apresentadas na figura 6, que demonstra o ambiente, os equipamentos de infraestrutura — reais e fictícios-, o consumo de cada, o consumo total, um ponto RGB e uma mensagem de texto que apresenta essa informação.

3 Resultados

Esta pesquisa realizou o gerenciamento de dados, com a integração e sincronização com o modelo, onde foi possível intercambiar informações com os diferentes membros da equipe, as quais proporcionam a interoperabilidade entre sistemas (Vanlande et al., 2008). Assim, durante o processo para conceber um gêmeo digital ao nível do edifício, o estudo teve como dificuldade,

a padronização de processos, visto que o modelo digital foi desenvolvido em softwares distintos.

O fluxo de trabalho no *VisualARQ* permitiu conciliar a modelagem tridimensional e a programação visual, facilitando a homogeneidade de comunicação entre os dados na simulação. A operacionalização dentro dos programas integrados ou amigáveis com o *Rhinoceros* permitem que os dados possam ser utilizados em outros *plug-ins*, permitindo um conjunto amplo de simulações e representações geométricas sem a necessidade de migrar de um software para outro. Além de permitir a programação *scripting* para a criação de novos componentes, em linguagem escrita.

O *Revit* possui como principais recursos o projeto tridimensional e a visualização em qualquer fase do projeto (Autodesk, 2022), porém, em relação ao processo de conexão em tempo real, foi necessário integrar um *plug-in* ao *Grasshopper* para a simulação.

Sobre os dados gerados nos softwares, segundo a Sabesp (n.d.), o fluxo médio de água em uma torneira é de 260ml/s na residência e, com a coleta de dados no ambiente físico, foi observado um consumo ultrapassando o limite (figura 7). Sendo assim, conforme a ONU, seria uma solução relacionada ao objetivo 11 (cidades e comunidades sustentáveis) da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Nações Unidas no Brasil, n.d.), auxiliar o usuário a identificar possíveis problemas com o consumo total de água na residência.

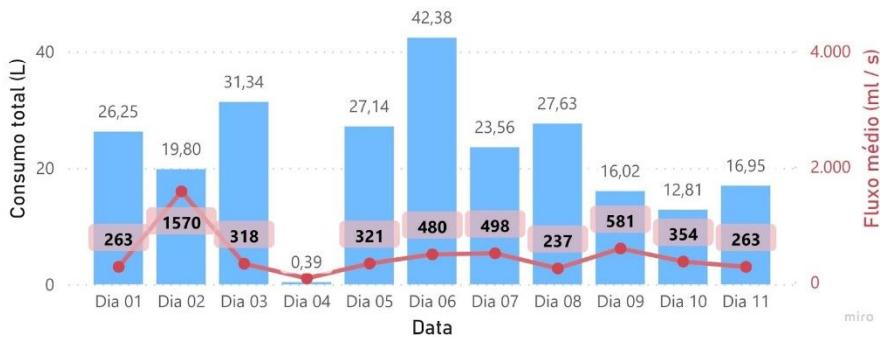


Figura 7. Consumo total (L) e fluxo médio (ml/s) por data. Fonte: Autores, 2022.

4 Discussão

A partir dos dados de consumo, o protótipo tem como potencial, identificar padrões comportamentais, criando regras e sugestões para os usuários otimizarem a utilização da água no ambiente estudado. Em trabalhos futuros, pretende-se criar previsões do consumo em outros cômodos da residência, baseadas em uma rede neural artificial (Cutore et al., 2008), identificando as limitações. A capacidade preditiva pode auxiliar no desempenho da edificação, antecipando o consumo de água diário, semanal, além de armazenar as informações para compará-las.

Em relação à obtenção de um gêmeo digital, tem como potencialidade, a etapa de *feedback* e avaliação pelo usuário (figura 8), sendo uma maneira de visualizar e interagir com as informações obtidas nas etapas anteriores (físico e virtual) e alertar o usuário em relação ao seu consumo. Assim, poderá ser demonstrado o sentido do modelo digital para o real, visto que nesta pesquisa, o enfoque foi dado para a integração de diferentes ferramentas digitais.

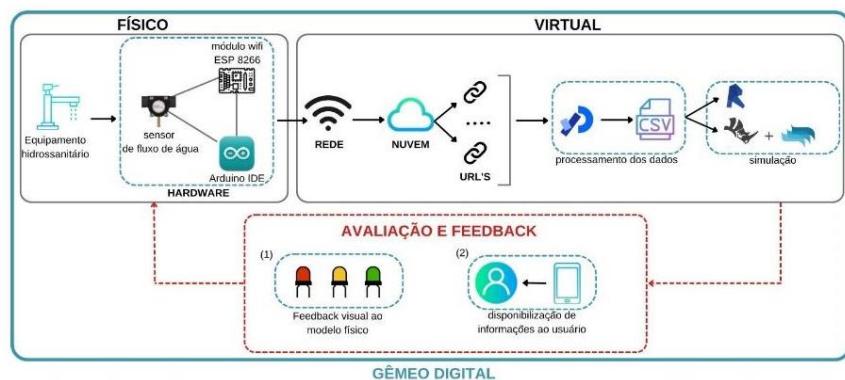


Figura 8. Framework do Gêmeo Digital. Fonte: Autores, 2022.

Referências

- Akatu. (n.d.). Instituto Akatu pelo Consumo Consciente. <https://akatu.org.br/>
- Aste, N., Manfren, M., & Marenzi, G. (2016). Building Automation and Control Systems and performance optimization: A framework for analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.072>
- Asuni. (Barcelona) (org.). VisualARQ: flexible bim for rhino. Flexible BIM for Rhino. Asuni Soft. <https://www.visualarq.com/legal/about-us/>
- Autodesk. (2022). Revit: software BIM para projetistas, construtores e desenvolvedores. <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Aziz, N. D., Nawawi, A. H., & Ariff, N. R. M. (2016). Building Information Modelling (BIM) in Facilities Management: Opportunities to be Considered by Facility Managers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.252>
- Barreto, D. (2008). Perfil do consumo residencial e usos finais da água. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 2, n. 8, p. 22-40. ISSN 1678-8621.
- Breda, J. (2019). Dia mundial da água e o desperdício que não se vê. UFSC. <https://ufscsustentavel.ufsc.br/2019/03/22/dia-mundial-da-agua-e-o-desperdicio-que-nao-se-ve/> [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000763](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000763)

Casan. (2022). Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. <https://www.casan.com.br/#0>

Cutore, P., Campisano, A., Kapelan, Z., Modica, C., & Savic, D. (2008). Probabilistic prediction of urban water consumption using the SCEM-UA algorithm. *Urban Water Journal*, 5, 125–132. <https://doi.org/10.1080/15730620701754434>

Deng, M., Menassa, C., & Kamat, V. (2021). From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 58–83. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.005>

EN 15978:2011—Sustainability of construction works—Assessment of environmental performance of buildings—Calculation method. (2011).

IFMA. (2013). BIM for Facility Managers. John Wiley & Sons.

Lai, J. H. K., & Yik, F. W. H. (2011). An analytical method to evaluate facility management services for residential buildings. *Building and Environment*, 46(1), 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.012>

Lee, J., Azamfar, M., Singh, J., & Siahpour, S. (2020). Integration of digital twin and deep learning in cyber-physical systems: Towards smart manufacturing. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 2(1), 34–36.

Lu, Q., Parlikad, A. K., Woodall, P., Xie, X., Liang, Z., Konstantinou, E., Heaton, J., & Schooling, J. (2019). Developing a dynamic digital twin at building and city levels: A case study of the West Cambridge campus. *Journal of Management in Engineering*, 36. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000763](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000763)

Mcneel, R. (2014). Associates. Rhinoceros 3D modeling Software. v. 5.

Nações Unidas no Brasil. (n.d.). *Objetivo de desenvolvimento sustentável*. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>

Ramya, C. M., Shanmugaraj, M., & Prabakaran, R. (2011). Study on ZigBee technology. 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology, 6, 297–301. <https://doi.org/10.1109/ICECTECH.2011.5942102>

Sabesp. (n.d.) Dicas e testes. <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=184>

Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., & Wang, L. (2012). Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. *National Aeronautics and Space Administration*, 32(2012), 1–38.

Tomasetti, T. (2017). TT toolbox for Grasshopper, CORE studio. <http://core.thorntontomasetti.com/colibri-release/>

Vanlande, R., Nicolle, C., & Cruz, C. (2008). IFC and building lifecycle management. *Automation in construction*, 18(1), 70–78.