



ENTAC 2024

XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024



Aplicativo de análise automatizada de IFC para estudos orçamentários

Application for automated IFC analysis for budgetary studies

Lucas Melchiori Pereira

Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | lucasmp@usp.br

João Alberto da Motta Gaspar

Sondotécnica | São Paulo | Brasil | joao.gaspar@sondotecnica.com.br

Stefania Dimitrov

Sondotécnica | São Paulo | Brasil | stefania.dimitrov@sondotecnica.com.br

Thaís Bernardo dos Santos

Sondotécnica | São Paulo | Brasil | thais.santos@sondotecnica.com.br

Alcione Dolavale

Sondotécnica | São Paulo | Brasil | alcione.dolavale@sondotecnica.com.br

Resumo

A Operação Urbana Consorciada Água Espriada (OUCAE) é uma iniciativa da Prefeitura Municipal de São Paulo para reestruturar uma extensão da Marginal Pinheiros até o Jabaquara. Entre as ações previstas na fase 1, está a construção de 894 unidades habitacionais. Uma das funções da Secretaria Municipal de Habitação de São Paulo (SEHAB) é auditar os modelos BIM dos projetos para garantir a qualidade das informações usadas nos estudos orçamentários. São 11 conjuntos, com 20 disciplinas cada, o que resultou em 16.736 modelos IFC. Frente os limites de uma análise manual ou semiautomática, a equipe de gerenciamento desenvolveu três rotinas que automatizam a extração de quantidades, a geração de relatórios e a elaboração dos estudos orçamentários. O artigo analisa as condições de automatização aplicadas em um dos projetos de HIS da OUCAE. Foram verificados o tempo de entrega e a qualidade das informações, apresentando assim a validação interna da solução. A economia de tempo e a rastreabilidade das informações geradas apontam uma maior agilidade e confiabilidade da aplicação, e indicam uma vantagem potencial em desenvolver aplicativos orientados à melhoria dos processos de uma organização.

Palavras-chave: Auditoria de projeto. Gerenciamento de custo. IFC. Programação em Python. Avaliação de projeto.

Abstract

The 'Operação Urbana Consorciada Água Espriada' (OUC-AE) is an initiative by the São Paulo Municipal Government aimed at restructuring a segment of the Marginal Pinheiros extending to the Jabaquara neighborhood. Among the actions planned for Phase 1 is the construction of 894 housing units. The São Paulo Municipal Housing Secretariat (Secretaria Municipal de Habitação de São Paulo: SEHAB) is responsible to audit the BIM models of the projects to ensure the accuracy of information used in budget studies. There are 11 housing complexes, each with



Como citar:

PEREIRA, L., et al. Aplicativo de análise automatizada de IFC para estudos orçamentários. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

20 disciplines, resulting in the analysis of 16,736 IFC models. Given the limitations of manual or semi-automatic analysis, the management team developed three routines to automate quantity takeoff, report generation, and preparation of budget studies. This paper analyzes the automation conditions by applying these routines to one of the low-income housing projects within the OUC-AE. The study evaluated the delivery time and quality of information, providing internal validation of the solution. Time savings and the traceability of generated information suggest increased efficiency and reliability in the pilot application, indicating a potential advantage in developing applications aimed at improving organizational processes.

Keywords: Design audit. Cost management. IFC. Python programming. Design evaluation.

INTRODUÇÃO

A modelagem de informações de construção (*Building Information Modeling*: BIM) compreende um sistema de tecnologias, práticas, processos e políticas que operam uma organização de projeto [1] que desvelou um horizonte de muitas possibilidades de uso para a indústria da construção. Todavia, a maioria de suas aplicações ainda se concentra na fase de desenvolvimento do projeto e com repercussões pouco exploradas para as atividades de gerenciamento e controle. É certo que algumas iniciativas relativas a estas aplicações a planejamento já são observadas na prática profissional, principalmente com o uso de softwares proprietários.

Especificamente sobre a quantificação de suprimentos para estimativas de custo e orçamentação, diferentes *softwares* oferecem algumas ferramentas de extração de quantidades como recurso para este trabalho. Estudos baseados em soluções comerciais mostram ganhos de desempenho ao analisarem ferramentas tais como *Autodesk Revit*, *Quantify Takeoff* e *Naviswork*, *Orçafascio*, *Solibri*, entre outros [2]–[6]. A adoção do orçamento como uma estratégia de projeto, todavia, demandam de um controle maior sobre as regras de quantificação [7], [8] e os programas comerciais são opacos neste sentido quando comparados a programas de código aberto.

A determinação pela adoção preferencial de BIM ou tecnologias e processos integrados similares, conforme a lei de licitação nº 14.133 de 1º de abril de 2021, estabelece condições e desafios adicionais aos serviços relacionados a quantificação de serviços e insumos, a estimativa de custos e a orçamentação de obras públicas. Um dos desdobramentos desta preferência governamental é a necessidade de tornar os dados acessíveis independente da posse de licenças de softwares proprietários. Uma das estratégias setoriais adotadas é a publicação nacional de uma norma de classificação de informações ISO da construção para a documentação e um formato aberto para garantir o acesso persistente e a interoperabilidade, chamado *Industry Foundation Classes* (IFC) [9].

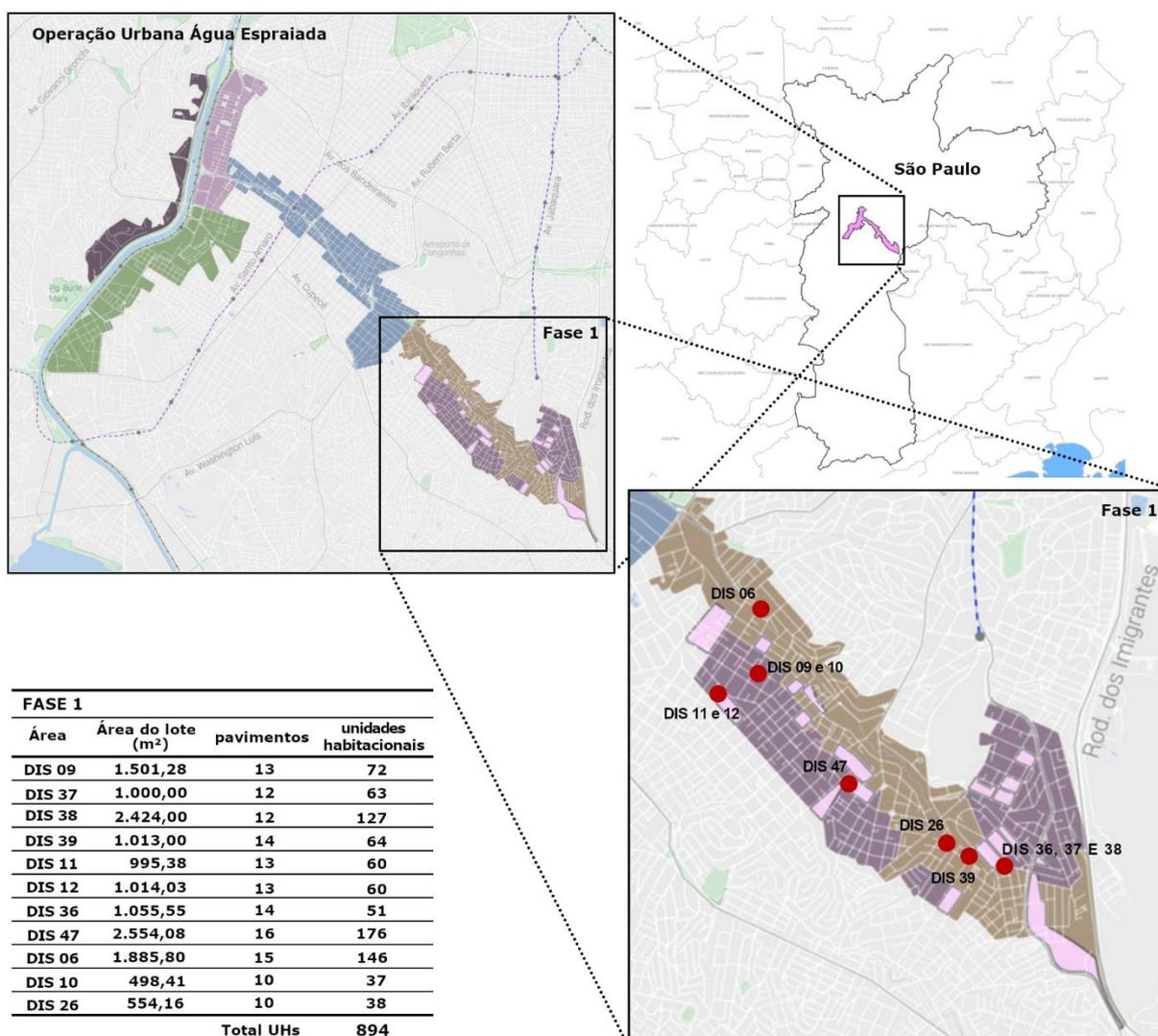
As restrições observadas em *softwares* proprietários para a extração de quantificação, aliadas à necessidade legal de publicidade, persistência e transparência das informações, estabelecem um contexto propício para a pesquisa e o desenvolvimento de soluções tecnológicas localizadas. Isso é, respostas que reconheçam e incorporem o conhecimento técnico existente e sejam compatíveis com os processos existentes nas organizações envolvidas em um projeto.

O presente artigo apresenta um caso de desenvolvimento tecnológico realizado por uma das empresas responsáveis pelo gerenciamento do projeto de Habitação de Interesse Social (HIS) da Secretaria Municipal de Habitação de São Paulo (SEHAB) e que integra a fase 1 da Operação Urbana Consorciada Água Espreada (OUC-AE).

CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO ESPECIALIZADA

A OUC-AE é a primeira operação urbana consorciada de iniciativa da prefeitura de São Paulo. Firmada pela Lei Municipal 13.260/01, abrange uma região entre a Marginal Pinheiros, a Avenida dos Bandeirantes, a Avenida João Dias e a Avenida Roberto Marinho, estendendo-se por setores de Americanópolis, Berrini, Brooklin, Chucri Zaidan, até o distrito do Jabaquara (mapa geral da Figura 1). A operação foi concebida para reestruturar essa região, promovendo o aumento da densidade construtiva, diversificação econômica e provimento de moradias a famílias com baixa renda.

Figura 1: Localização da Operação Urbana Consorciada Água Espreada (OUCAE) – fase 1, consorcio ‘grupo 2’, setores Jabaquara e Americanópolis.



Fonte: adaptado da prefeitura [18].

Para iniciar o desenvolvimento da Fase 1 da OUCAE, a SEHAB contou com um serviço de gerenciamento que apoiou o processo licitatório dos projetos de HIS consolidado no Edital de Concorrência no 008/SEHAB/2020. Neste edital ficou definido que os “serviços técnicos especializados de arquitetura e engenharia para a elaboração de projetos de Habitação de Interesse Social” contratados pela SEHAB seriam desenvolvidos e entregues em BIM.

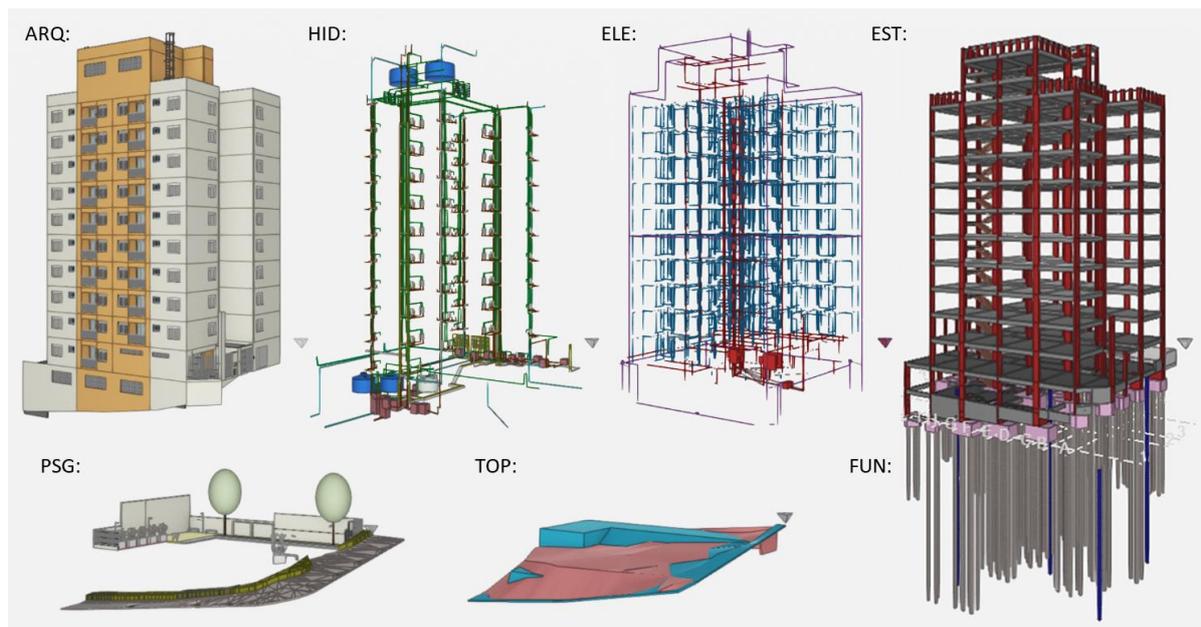
Assim, em meados de 2021, iniciaram-se os projetos da fase 1. Foram desenvolvidos projetos de HIS em 11 áreas designadas por Decreto de Interesse Social (DIS), indicados no quadro e detalhe do mapa da Figura 1. Ao todo, os edifícios que foram projetados para estas áreas ofertarão 894 unidades habitacionais. Estes projetos envolveram 20 disciplinas que, ao longo de todo o processo, entregaram 16.736 modelos IFC e 3.105 modelos proprietários.

Durante a supervisão do processo de projeto, uma das funções atribuídas à gerenciadora da SEHAB (contrato atual 003/2023/SEHAB) foi garantir que a qualidade das informações extraídas dos modelos BIM fosse adequada para subsidiar os estudos orçamentários. Desde o início deste trabalho, a equipe envolvida entendeu que, para atender a uma demanda deste porte, não poderiam depender de uma análise manual para cumprir os prazos estabelecidos pela SEHAB. Parte da resposta a este desafio foi resolvida adotando soluções semiautomatizadas-padrão de programas disponíveis no mercado. Todavia, tais recursos atenderam parcialmente às demandas por maior agilidade e controle das informações obtidas. Diante de tal demanda, o departamento de BIM e inovação da empresa responsável pelo gerenciamento foi chamado para desenvolver uma solução local, que atendesse às condições específicas dos projetos então em curso.

Uma equipe multidisciplinar de pesquisadores e profissionais de arquitetura, engenharia e computação da empresa se envolveram na elaboração de uma solução que consiste em três aplicações. As funções desenvolvidas (1) automatizam a extração de quantidades de modelos IFC, (2) geram relatórios de planilhas destes quantitativos em formato exigido pela contratada e (3) calculam estimativas de custo com base nas regras estabelecidas no setor local.

Tanto a coleta dos dados para subsidiar o desenvolvimento da solução como os testes de uso foram realizados em um estudo piloto, que utilizou os 17 modelos IFC finais e demais documentos técnicos elaborados pelo consórcio de projetistas contratado pela SEHAB (contrato nº 005/2021-SEHAB) para o projeto de HIS localizado no DIS 10. Este projeto ocupa um lote com 498,41m² e é composto por um edifício de 10 pavimentos, com 37 unidades habitacionais, recepção e área de lazer.

Figura 2: exemplo de modelos de HIS utilizados no estudo de caso



Nota: modelos de arquitetura (ARQ), hidráulica (HID), elétrica (ELE), estruturas (EST) e fundação (FUN), paisagismo (PSG) e modelos de topografia e movimentação dos solos (TOP). Fonte: imagem produzida a partir dos modelos cedidos pela SEHAB, desenvolvidos pelo consórcio GCA-GTA.

As três funções foram desenvolvidas no projeto piloto como uma resposta direta às demandas do gerenciamento de projeto, que precisava agilizar e tornar mais confiável e rastreável a análise dos modelos para a extração de quantitativos utilizados na elaboração dos estudos orçamentários. Esses quantitativos deveriam atender às especificações e requisitos do cliente em específico, a SEHAB, o que muitas vezes não era possível com os sistemas comerciais disponíveis.

Os resultados deste trabalho responderam a uma demanda por adequação da tecnologia disponível aos requisitos legais e organizacionais de um cliente do setor público. O caso possui interesse e relevância como um exemplo de diferenciação dos serviços de desenvolvimento, orçamentação e gestão de projeto, o que fomenta uma discussão substancial sobre o papel e caminhos da TIC. Além disso, apresenta um caso de referência para a adequação da tecnologia BIM à orçamentação conforme determinada na redação da nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos [19].

OBJETIVO

O artigo descreve e analisa as condições de automatização do gerenciamento do projeto nas atividades de quantificação e a produção de estudos orçamentários, que foram desenvolvidas a partir de demandas de uma situação real, ocorrida na gestão em andamento da OUC-AE.

MÉTODO

Pesquisas científicas baseadas no desenvolvimento de protótipos com implicações tecnológicas e processuais diretas para a prática profissional são recorrentemente enquadradas como pesquisa operacional [10] e pesquisas de projetos baseadas em

evidência (*Evidence Based-Design*: EBD) [11]. Ambas são abordagens científicas, estruturadas para obter melhores práticas de projeto e de operação de sistemas complexos. Porém, diferente de pesquisa-ação, em que o foco está na resposta dos agentes envolvidos, as pesquisas operacionais e EBD têm como foco um dado sistema [11], [12]. Sendo que, por sistemas, compreende-se qualquer artefato ou processo que possa ser descrito e compreendido por meio de um modelo fechado e funcional [13], [14].

Para essas pesquisas, modelos ou protótipos são artefatos que permitem descrever, compreender, analisar ou simular o funcionamento de um sistema de interesse, para subsidiar o processo decisório quanto sua validação, implementação ou melhoria [13], [14]. Para tanto, tais métodos dividem o problema em componentes básicos, a fim de reduzir a complexidade da realidade por meio de procedimentos que permitam modelar e simular utilização controlada de um sistema [12].

[15] destacam, todavia, que o método de pesquisa operacional é uma abordagem holística e pragmática, que reconhece uma importância nas interações entre os componentes até maior do que os próprios componentes do problema. Assim, o enfoque do método está em analisar as relações e interfaces entre as partes que compõe o sistema observado [16]. Já o EBD estabelece relações causais fortes para justificar uma decisão [17] e para isso, estabelece uma estrutura de procedimentos metodológicos versátil e consistente [11] que permite adequar a pesquisa operacional ao caso estudado. Mais especificamente, os métodos são empregados neste trabalho para descrever, compreender e aprimorar um processo de modelagem [13], [14], a fim de melhorar a integração entre BIM e orçamentação.

Os procedimentos metodológicos foram delineados para responder à pesquisa nas seguintes etapas: (a) identificação dos requisitos de pesquisa/desenvolvimento, (b) organização dos dados de entrada, (c) criação de novos parâmetros em BIM, (d) programação, (e) análise dos resultados preliminares (validade interna), (f) estudo de caso, (g) análise dos resultados aplicados (validade externa), (h) discussão das implicações para tomada de decisão. Sendo que *a* e *b* compreendem o levantamento dos objetivos e critérios de pesquisa e desenvolvimento; *c* e *d*, o desenvolvimento de uma solução; *e*, *f* e *g*, a avaliação dos resultados obtidos; e *h* a publicidade destes achados [12].

FONTES DE DADOS

A definição dos tipos de informações a serem extraídas e a forma de tratamentos a serem aplicadas foi realizada com base em dados primários obtidos de duas fontes principais:

1ª fonte: análise das aplicações possíveis e limitações de ferramentas de quantificação disponíveis no mercado local, com destaque para o Solibri, que já é utilizado pela gerenciadora em outros processos.

2ª fonte: sistematização dos tipos de quantidades e de cálculos realizados em estudos orçamentários típicos, admitidos pela organização cliente.

MODELAGEM DA SOLUÇÃO

A análise dos procedimentos existentes relacionou as necessidades de levantamento e de tratamento de quantidades a serem obtidas com a aferição de recorrência, comprimento, área e volume de elementos modelados, disponíveis em IFC. Tais demandas foram estruturadas em três tipos de funções esperadas, programadas separadamente, em três aplicações distintas:

1ª função: verifica se os elementos da construção estão classificados corretamente no IFC. Trata-se de uma aplicação que automatiza parte da análise de conformidade das informações de projeto com a *Planilha de Elementos da SEHAB*, que as informações segundo registros reconhecidos pela organização da cliente.

2ª função: gera um conjunto de relatórios de quantidades de elementos do projeto conforme indicadas no IFC. Os relatórios são gerados personalizados, em formato Excel, conforme as exigências e padronização definidas pelo cliente.

3ª função: automatiza o levantamento de áreas relacionadas a serviços de alvenaria, reboco e pintura de edificações, seguindo regras de medição de estimativa de custos praticadas no setor e aceitas pela cliente.

As informações aferidas diretamente de elementos do IFC e as declaradas pelos projetistas em quadros e tabelas do projeto podem diferir. A identificação e indicação imediata desta diferença pela gerenciadora do projeto é importante para mitigar inconsistências, resguardar o cronograma e garantir a confiança das medições.

DESCRIÇÃO DO ARTEFATO PRODUZIDO

As três funções projetadas para apoiar o gerenciamento de projetos do OUC-AE foram programados em Python e testados pela equipe de pesquisa e desenvolvimento então mobilizada. A Figura 3 apresenta uma pequena parte da programação produzida para a função 3. Em destaque, observa-se um trecho em que é expressa uma condicionante que chama os arquivos IFC selecionados para processar a conferência.

Figura 3: parte do código Python. Destaque de trecho da função 3.

```
if arquivos_ifc:
    for arquivo in arquivos_ifc:
        ifc = ifcopenshell.open(f"{arquivo}")
        produtos.append(ifc.by_type('IfcCovering'))
        for lista in produtos:
            n += len(lista)
            for item in lista:
                i = 0
                if item.HasOpenings:
                    tamDefined = len(item.IsDefinedBy)
                    for m in range(0,tamDefined):
                        info0 = item.get_info()
                        info = item.IsDefinedBy[m].get_info()
                        if (not info['type']=='IfcRelDefinesByType') and ("Texto" in item.IsDefinedBy[m].RelatingPropertyDefinition.Name or "TEXT0" in item.I
                            for o in range(0,len(item.IsDefinedBy[m].RelatingPropertyDefinition.HasProperties)):
                                if item.IsDefinedBy[m].RelatingPropertyDefinition.HasProperties[o].Name== 'SH_NOME_ELEMENTO':
                                    nome = item.IsDefinedBy[m].RelatingPropertyDefinition.HasProperties[o].NominalValue[0]
                                if item.IsDefinedBy[m].RelatingPropertyDefinition.HasProperties[o].Name== 'SH_ID':
                                    id = item.IsDefinedBy[m].RelatingPropertyDefinition.HasProperties[o].NominalValue[0]
                    repre = item.Representation.Representations
                    for r in repre:
                        if r.RepresentationType == 'SweptSolid':
                            items = r.Items
                            for it in items:
                                info_swept =it.SweptArea.get_info()
                                if info_swept['type'] == 'IfcRectangleProfileDef':
                                    r_x = r.Items[0].SweptArea.XDim
                                    r_y = r.Items[0].SweptArea.YDim
                                    r_depth = r.Items[0].Depth
                    openings = item.HasOpenings
                    n_vao = 1
                    dict_vaos= {}
                    for opening in openings:
                        if opening.RelatedOpeningElement.Representation:
                            representations = opening.RelatedOpeningElement.Representation.Representations
                            for representation in representations:
                                items = representation.Items
                                for it in items:
                                    info_swept =it.SweptArea.get_info()
                                    if info_swept['type'] == 'IfcRectangleProfileDef':
                                        x = it.SweptArea.XDim
                                        y = it.SweptArea.YDim
                                        depth = it.Depth
                                        area = x*y
                                        dimensions = {'X':round(x,2),'Y':round(y,2),'AREA': round(area,2), "Opening":opening.RelatedOpeningElement.GlobalId}
                                        dict_vaos[f'VAO {n_vao}'] = dimensions
                                n_vao+=1
                    else:
```

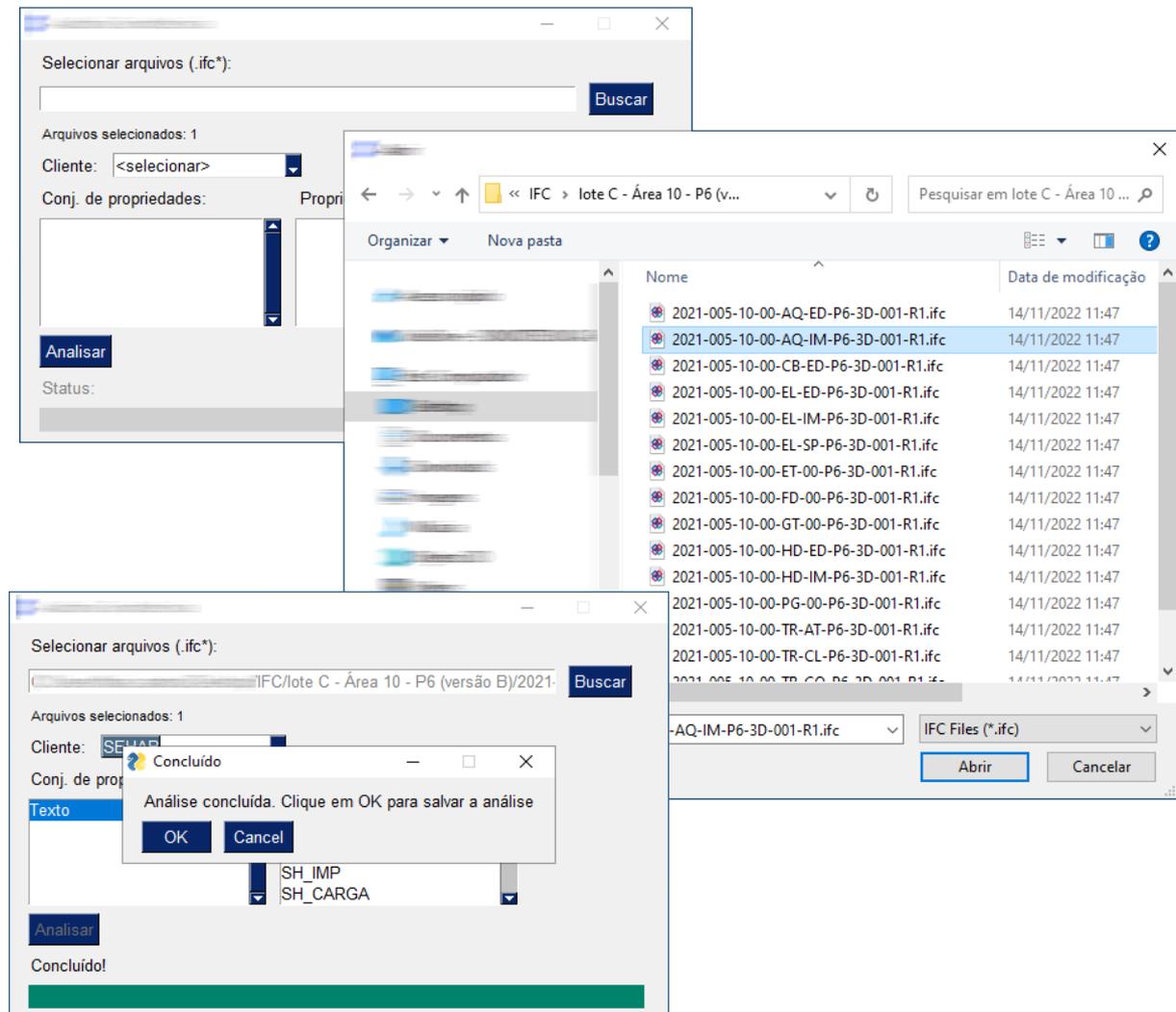
Fonte: autores.

Seguindo um requisito não funcional da equipe de gerenciamento e cliente, as aplicações para as três funções foram projetadas para serem utilizada no sistema operacional Windows, da Microsoft. Além do Python, cada uma das programações utiliza algum recurso computacional específico:

- A 1ª função utilizou as bibliotecas *ifcopenshell* e *pysimplegui*.
- A 2ª função utilizou *ifcopenshell* e *Django*, rodando como um serviço Web hospedado na solução AWS.
- A 3ª função usa *ifcopenshell*.

O usuário, contudo, não tem contato com a programação. Todas as ações por ele realizadas, tal como a seleção dos arquivos IFC, ocorre mediada por uma interface amigável, que utiliza padrões gráficos comuns a usuários de sistemas operacionais comerciais, como o Microsoft Windows. A Figura 4 ilustra como é interface para o usuário.

Figura 4: janelas de seleção e de processamento da conferência do IFC como visualizada pelo usuário da função 1. Página inicial (à esquerda acima), seleção do IFC (à direita), aviso de análise concluída (à esquerda abaixo)



Fonte: autores.

RESULTADOS DO PROCESSAMENTO

O sistema desenvolvido não possui ainda uma interface própria que renderize uma visualização dos resultados produzidos pelas três funções. Estes resultados são disponibilizados em formato arquivos com extensão conhecida, que pode ser aberto em softwares de planilhas como o Excel.

A Figura 5 mostra um exemplo de planilha de conferência automatizada dos modelos IFC, obtidas com a função 1. Essa relação é documentada em um “relatório de verificação da atribuição de classes IFC e códigos SEHAB” (Figura 6). O conjunto destes registros é adequado às relações de trabalho firmadas entre cliente, gerenciadora, demais prestadores de serviços de projeto e execução. Outra aplicação desta solução significa uma personalização destas saídas conforme a formatação definida pelo cliente.

Figura 5: planilha com os resultados da conferência automatizada da conformidade de modelos IFC

Arquivo	GUID	Classe	BuildingStorey	Nome	Tem Texto?	Tem SH_ID?	SH_ID preenchido?	SH_ID	Te
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	3c3nmV9a54MuAmpzvVW	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	3c3nmV9a54MuAmpzvVW	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	3c3nmV9a54MuAmpzvVW	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	3c3nmV9a54MuAmpzvVW	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	3c3nmV9a54MuAmpzvVW	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	3c3nmV9a54MuAmpzvVW	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	3c3nmV9a54MuAmpzvVW	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	3c3nmV9a54MuAmpzvVW	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	1A1Y50PbH2phitofQQTBB	IfcBuildingElementProxy	Nivel 1	PT-ORIGEM:PT-ORIGEM:30998	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 5m:Diâmetro de 350 mm x 5m:54:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 5m:Diâmetro de 350 mm x 5m:54:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 11m:Diâmetro de 350 mm x 11m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 11m:Diâmetro de 350 mm x 11m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 11m:Diâmetro de 350 mm x 11m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 5m:Diâmetro de 350 mm x 5m:54:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 5m:Diâmetro de 350 mm x 5m:54:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 18m:Diâmetro de 350 mm x 18m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N
2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1	0NUkMf2nz03ea66JWyfM	IfcPile	Nivel 1	ESTACA CONCRETO - HÉLICE CONTÍNUA - Ø35 - 13m:Diâmetro de 350 mm x 13m:Sim	Sim	Sim	Sim	sh_ed_02_01_82	N

Fonte: autores.

Figura 6: formulário padronizado da verificação da atribuição de classes IFC e códigos SEHAB

Auditoria de modelos BIM - Verificação da atribuição de classes IFC e códigos SEHAB				
RA	Data	31/10/2023		
Objeto				
Pacote	Disciplina	Versão		
Responsável pela verificação				
Objetivo				
Documentos analisados		2021-005-10-00-FD-00-P6-3D-001-R1		
Informações Gerais				
Requisito	Índice	Valores de referência	Lista de elementos a revisar	
1. Análise de Classificação em IFC				
Porcentagem de elementos classificados em IFC	100%	>=95%		
2. Análise da aplicação dos códigos SEHAB				
Porcentagem de elementos com código SH_ID:	95%	>=95%		
Porcentagem de elementos com código SH_NOME_DO ELEMENTO:	0%	>=95%		
Considerações Finais				
Este relatório não isenta os autores do projeto da responsabilidade técnica sobre o mesmo, não substitui as aprovações legais nos órgãos e entidades competentes e não isenta a contratada da sua responsabilidade pela compatibilização interdisciplinar dos projetos.				

Fonte: autores.

As duas primeiras funções conseguem identificar, verificar a conformidade e documentar automaticamente as informações de quantidades de elementos construtivos contidos nos modelos em formato IFC. Esta auditoria considera quantidades indicadas no modelo pelo projetista e/ou software nativo no qual o modelo foi produzido.

Já a 3ª função realiza uma auditoria parcial, automatizando a medição de quantidades de ocorrências, comprimentos, áreas e volumes que são extraídas diretamente das propriedades de objetos de elementos da construção, conforme representados geometricamente nos modelos IFC auditados. Todas essas propriedades de objetos são relacionadas em uma planilha semelhante a apresentada na Figura 7. Nela observa-se, por exemplo, o registro do GUID de cada ocorrência mapeada, GUID: *Globally Unique Identifier* é um identificador único e persistente associado a cada objeto modelado, que permite atualizar os dados referentes ao modelo mesmo após sua revisão.

Figura 7: exemplo de planilha com a extração de quantidades da geometria de elementos construtivos do IFC

The image shows a detailed spreadsheet with multiple columns. The first few columns are: ID, TYPE, SH, SH.ROTE, SH.ID, SH.FINIMENTO, ALTIURA TOTAL, COMPRIMENTO TOTAL, PROFUNDIDADE, VÃO 1, VÃO 2, VÃO 3, VÃO 4, X, Y, AREA, X, Y, AREA, X, Y, AREA, X, Y, AREA. The rows contain numerical and alphanumeric data, representing various IFC elements and their extracted quantities. A 'REVESTIMENTOS' section is visible at the bottom of the data table.

Fonte: autores.

Atualmente, o recurso de quantificação direta do modelo só se aplica a alguns tipos de medição de serviços. A escolha destes tipos vincula-se a uma série de circunstâncias levantadas na fase inicial da medição. Destacadamente, um destes fatores está ligado a importância da medição dos serviços de alvenaria, reboco e pintura de edificações. Outro fator, relaciona-se a uma limitação observada nos softwares comerciais em se adequar à algumas condições de extração das quantidades condicionadas por convenções de medição e cálculo do setor. Por exemplo, de ignorar determinados vãos e reentrâncias da superfície de uma parede para medir os serviços de reboco, mas não de pintura.

DESEMPENHO

Os testes realizados para avaliar o desempenho interno das aplicações indicam um bom resultado inicial. No caso da aplicação da 1ª função, a medição indicou que, em média, foram processados 100Mb de dados IFC em 20 minutos. E, ao fim desse tempo, gerou de saída, planilhas com cerca de 10380 linhas de reporte de conferências. Por sua vez, os testes da aplicação da 2ª função constataram o processamento médio de 10Mb de dados IFC em 1 minuto. Com a produção de 690 registros documentados em planilha. Já a aplicação da 3ª função conseguiu processar, em média, 540Mb de dados lidos de arquivos IFC em 5 minutos. Como resultado, foram gerados 13500 linhas de planilhas, contendo as indicações de propriedades de elementos e quantidades extraídos do IFC e calculados conforme prática de medição convencional.

Os resultados iniciais mostram um desempenho considerado satisfatório pelos envolvidos. Suficiente para substituição das formas existentes de medição. O estudo de desempenho comparado está atualmente em fase de planejamento. Além disso, foi encomendada a automatização de outros tipos de serviços, e a otimização do processamento existente.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Antes da adoção do BIM, a equipe de gerenciamento realizava o levantamento de quantidades manualmente, por meio da leitura e medição de desenhos e outras informações dispostas em pranchas de projeto. Além de consumir muito tempo, essa prática dificultava a rastreabilidade dos valores achados, perpetuando erros de interpretação e atrasos significativos no cronograma.

Nos registros levantados nas fases iniciais da pesquisa, ficou evidente que os riscos e prejuízos potenciais observados no processo convencional impulsionaram a transição para o BIM. Para os envolvidos, os ganhos com utilização de softwares como Trimble Connect e Solibri foram significativos, percebidos principalmente com a redução de erros e melhoria da produtividade. A consolidação da mudança e seus benefícios, contudo, também evidenciou algumas limitações, ou desafios. Por exemplo, foram observadas discrepância entre quantidades levantadas em diferentes softwares proprietários. Por se tratar de sistemas fechados era impossível identificar a origem das diferenças e propor o tratamento de adequação dos dados.

Foi este cenário que impulsionou o desenvolvimento de uma solução personalizada de quantificação, que considerasse as regras convencionadas do cálculo de serviços e permitisse auditorias do método de aferição. Por meio da programação em Python, um conjunto de funções foram ofertadas aos gerentes de projeto. Esta solução não apenas resolveu as discrepâncias e a opacidade de sistemas comerciais, como permitiu que regras de medição oficiais fossem programadas, sem aproximações e adaptações. Isso conferiu maior precisão e transparência a todo processo.

A percepção de ganho obtida com os primeiros resultados apresentados habilitou a equipe de pesquisa e desenvolvimento a continuar a produção da solução. Esses resultados mostraram o aumento na confiabilidade dos dados com a rastreabilidade e transparência dos procedimentos de medição e cálculo das quantidades. Também apresentaram um tempo de processamento reduzido. Como primeiro desdobramento desses achados, foi requerida programação de novos tipos de quantificação de serviços por meio de dados de IFC. Também foi programada a adoção das funções no processo de gerenciamento real, para medir o desempenho em uso.

CONCLUSÃO

A otimização da solução a partir dos resultados da validação interna e sua incorporação ao processo de gerenciamento de projeto para a validação externa compreendem o estágio atual do trabalho. Até o momento, a resposta obtida com o desenvolvimento e testes foi positiva.

Para além dos ganhos específicos experimentados pela organização proponente, cabe observar que existe um campo promissor para o desenvolvimento de aplicativos orientados a processos e conhecimento de uma organização, construídos especificamente para atender as demandas de clientes internos e externos de organizações de desenvolvimento e execução de projetos da construção.

Os achados sugerem que existe perspectivas de ganhos reais em se desenvolver um campo das pesquisas aplicadas em que métodos e procedimentos são informatizados a partir de estudos estruturados cientificamente. Na prática, o potencial de desenvolver aplicativos orientados à organização, em vez de adequar as organizações às estruturas de software generalistas ofertados ao mercado, deve ser reconhecido como um ativo de diferenciação da organização no mercado que precisa ser fomentado e preservado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Sondotécnica Engenharia, por fomentar projetos de desenvolvimento e inovação como este, realizado no âmbito do consórcio Urban SP, aos demais integrantes da equipe do departamento de inovação da Sondotécnica (TechLab) Heloisa Masuda, Bianca Santos Cezar Lima Ferreira Barbalho e Miguel Settimio Righetto. Aos profissionais ligados ao objeto de estudo, destacadamente, Norma Braulio Franzosi, Glauca de Assis Moura Alexandre, Alan Soares de Franca, Denis Fernando Macedo, Gotthard Blum e demais profissionais do consórcio. Agradecemos ao consórcio GCA GTA e a Secretaria Municipal de Habitação de São Paulo (SEHAB-SP) pela autorização na utilização e divulgação dos materiais e pelo incentivo ao desenvolvimento do trabalho reportado.

REFERÊNCIAS

- [1] PEREIRA, Lucas Melchiori; HIROTA, Ercília Hitomi; FABRICIO, Márcio Minto. Implicações organizacionais da colaboração em bim para a integração do processo de projeto. *In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - SBQP 2017*, João Pessoa, PB. **Anais [...]**. João Pessoa, PB: ANTAC, 2017. p. 1–10. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320306076_Implicacoes_organizacionais_da_colaboracao_em_BIM_para_integracao_do_processo_de_projeto
- [2] MENDONÇA, Kelly Roberta Moura; SOUSA, Pablo Gleydson De; GUEDES, Emiliana de Souza Rezende. Orçamentação de obra: análise comparativa entre metodologia tradicional e BIM. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 93096–93119, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-644. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/20647/16505>.
- [3] DE SOUSA CHECCUCCI, Erica; PEREIRA, Ana Paula Carvalho; DE AMORIM, Arivaldo Leão. Uma visão da difusão e apropriação do paradigma BIM no BRASIL – TIC 2011. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 8, n. 1, p. 19–39, 2013. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/viewFile/62201/65029>.
- [4] WITICOVSKI, Lilian Cristine; EMILIA, Luciana; GARCIA, Machado. **A utilização do BIM em projetos de construção civil**. v. 55, n. 48, 2009.
- [5] PEREIRA, Lucas Melchiori; SAFFARO, Fernanda Aranha; HIROTA, Ercília Hitomi; SAITO, Celso. Estudo exploratório comparativo da eficácia entre protótipos físico, analítico 2D e 3D na identificação de inconsistências de projetos.

- Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 10, n. 1, p. 28, 2015. DOI: 10.11606/gtp.v10i1.83373. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/83373>.
- [6] SANTOS, A. P. L.; ANTUNES, C. E.; BALBINOT, G. B. Levantamento de Quantitativos de Obras: Comparação entre o Método Tradicional e Experimentos em Tecnologia BIM. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 6, n. 12, p. 134–155, 2014. DOI: 10.13084/2175-8018/ijie.v6n12p134-155.
- [7] PEREIRA, Lucas Melchiori; FERRARI, Fernanda A. Marino; CAMELO, Gabriela H.; ARAGÃO, Danilton L. Aplicação do TVD assistido por BIM na fase inicial de um projeto colaborativo. *In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE 2018, Anais [...]*. : ANTAC, 2018. p. 2329–2337. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/329326954>
- [8] BUENO, Cristiane; PEREIRA, Lucas Melchiori; FABRICIO, Marcio Minto. Early design BIM-based Target Value Design for public facilities: An application to a healthcare facility case. **International Journal of Architectural Computing**, v. 0, n. 0, p. 1–19, 2023. DOI: 10.1177/14780771231205001. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/14780771231205001>..
- [9] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 16739-1: Industry Foundation Classes (IFC) para o compartilhamento de dados pelas indústrias da construção e da gestão de facilities - Parte 1: Esquema de dados. Rio de Janeiro: ABNT, , 2023.
- [10] HOWICK, Susan; ACKERMANN, Fran. Mixing OR methods in practice : Past , present and future directions. **European Journal of Operational Research**, v. 215, n. 3, p. 503–511, 2011. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.03.013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2011.03.013>.
- [11] PEREIRA, Lucas Melchiori; ORNSTEIN, Sheila Walbe. A Systematic Literature Review on Healthcare Facility Evaluation Methods. **HERD: Health Environments Research & Design Journal**, v. 16, n. 3, p. 338–361, 2023. DOI: 10.1177/19375867231166094. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/19375867231166094>.
- [12] KRISHNASWAMY, K. N.; SIVAKUMAR, Appa Iyer; MATHIRAJAN, M. **Management Research Methodology: Integration of Principles, Methods and Techniques**. 2012.
- [13] KOTHARI, C. R. **Research Methodology: Methods & Techniques**. 2. ed. Nova Delhi: New Age International Publishers, 2004. v. 6 Disponível em: <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf><http://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal><http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1>
- [14] NETO, Reinaldo Morabito; PUREZA, Vitória. Modelagem e Simulação. *In: MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (org.). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Ltd, 2012. p. 169–198.
- [15] MINGERS, John; WHITE, Leroy. A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 3, p. 1147–1161, 2010. DOI:

10.1016/j.ejor.2009.12.019. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.12.019>.

- [16] BOWEN, Ken. Sixty years of Operational Research. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 3 SPEC. ISS., p. 618–623, 2003. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00267-4.
- [17] PATI, Debajyoti. A framework for evaluating evidence in evidence-based design. **Herd**, v. 4, n. 3, p. 50–71, 2011. DOI: 10.1177/193758671100400305.
- [18] Prefeitura de São Paulo. **Operação Urbana Consorciada Água Espriada**. Gestão Urbana SP. Acessado em: 26 de junho de 2024. Disponível em: <https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/estruturacao-territorial/operacoes-urbanas/oucae/>
- [19] Brasil, **Lei No 14.133, de 1o de Abril de 2021**. Dispõe Sobre as Licitações e Con-tratos Administrativos,” Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021.