

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Natália Cristina Diehl

**PROCESSO DE CRIAÇÃO DE GÊMEOS DIGITAIS:**  
**ESTUDO DE CASO CAFF**

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre

2024

**NATÁLIA CRISTINA DIEHL**

**Processo de criação de gêmeos digitais: estudo de caso CAFF**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientadora: Profa. Dra. Léia Miotto Bruscato

Porto Alegre

2024

## CIP - Catalogação na Publicação

Diehl, Natália Cristina

Processo de criação de gêmeos digitais: estudo de caso CAFF / Natália Cristina Diehl. -- 2024.

211 f.

Orientadora: Léia Miotto Bruscato.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Gêmeos digitais. 2. Processo de criação. 3. Ambiente construído. 4. Operação e manutenção. 5. Tríplíce hélice. I. Bruscato, Léia Miotto, orient. II. Título.

**Natália Cristina Diehl**

## **PROCESSO DE CRIAÇÃO DE GÊMEOS DIGITAIS: ESTUDO DE CASO CAFF**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 19 de março de 2024.

---

**Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva**

Coordenador do Programa de Pós-graduação em Design da UFRGS

**Banca Examinadora:**

---

Orientadora: **Profa. Dra. Léia Miotto Bruscato**

Programa de Pós-graduação em Design - PGDESIGN - UFRGS

---

**Prof. Dr. Fabiano de Vargas Scherer**

Programa de Pós-graduação em Design - PGDESIGN - UFRGS -  
Examinador interno

---

**Profa. Dra Rafaela Bortolini**

Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - PROGRAU - UFPel -  
Examinadora externa

---

**Prof. Dr. Renato Ventura Bayan Henriques**

Programa de Pós-graduação em Informática na Educação - PPGIE - UFRGS -  
Examinador externo



## AGRADECIMENTOS

Considero que somos a composição de todos os encontros e experiências que vivemos e compartilhamos, e dessa forma nos tornamos um pouco de cada um que participa da nossa existência. Por esse motivo, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização desta dissertação.

À querida orientadora Léia Miotto Bruscato, por me guiar academicamente e também por me ensinar valiosas lições sobre a vida, sempre com leveza, alegria e disposição.

Ao Programa de Pós-graduação em Design da UFRGS, aos professores e aos colegas de mestrado, por todo o apoio e troca de conhecimento ao longo desta jornada.

Aos professores e colegas da Rede Célula BIM e de Representação Gráfica II da Faculdade de Arquitetura da UFRGS, pelo compartilhamento de experiências e aprendizados enriquecedores.

Agradeço à banca examinadora pela contribuição que permitiu a evolução desta pesquisa, expresse minha admiração pelas avaliações realizadas com comprometimento e ética.

Aos servidores do Centro Administrativo Fernando Ferrari pela acolhida e confiança de que esta pesquisa renderia bons frutos.

À CAPES<sup>i</sup> pelo apoio financeiro concedido para viabilização deste trabalho.

Aos colegas de orientação, por suas contribuições e apoio ao longo desse processo.

Agradeço às três profissionais que me acompanharam nessa trajetória – Simone, Adriana e Paola – pelo apoio e presenças de luz nos momentos desafiadores.

Também àqueles que foram figuras singulares nesse caminho, essenciais e companheiras desse desafio, Brendon, Bruna, Dirceu, Erik, Sandro, Thiovane e Larissa.

Ao Lucas, pelo amor e compreensão.

Por fim, à lembrança do meu amado pai (*in memoriam*) e o agradecimento especial à minha mãe, cujo amor e apoio incansáveis são as fundações sobre as quais construí todas as minhas conquistas. Saiba que sem você, minha jornada seria menos brilhante. Obrigada por estar sempre ao meu lado.

## RESUMO

DIEHL, N. C. **Processo de criação de gêmeos digitais: estudo de caso CAFF.** 2024. 211 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

A necessidade de tornar as cidades mais sustentáveis direciona a atenção para dois elementos fundamentais na composição urbana: as edificações e os usuários que as ocupam. Nesse contexto, destaca-se a complexa tarefa de transformar edificações existentes em sistemas inteligentes. Para enfrentar os desafios dessa transformação, o conceito de gêmeos digitais emerge de outros campos, como design de produtos e tecnologia espacial, apresentando uma possível solução para integração de áreas e tecnologias díspares. Observa-se que, para a geminação do ambiente construído, são necessários três elementos que, juntos, representam o paradigma físico-dados-virtual. Para cada um deles, são atribuídas tecnologias pertencentes a diferentes áreas de conhecimento, como arquitetura, ciências da computação, design e engenharias. Assim, a pesquisa bibliográfica elucidou as tecnologias e os conhecimentos relacionados ao paradigma apresentado, reunindo exemplos do processo de criação de gêmeos digitais aplicados ao ambiente construído. A pesquisa consistiu em um estudo de caso único e, para coleta de dados, utilizaram-se técnicas de análise documental, observação e questionário. O objeto da investigação foi o processo de levantamento cadastral digital do ativo físico pertencente ao Governo do Estado do Rio Grande do Sul – o Centro Administrativo Fernando Ferrari. As motivações para a pesquisa fundamentaram-se no modelo de inovação e desenvolvimento sustentável, tríplice hélice, fomentando a interação entre academia, indústria e governo. Este trabalho compreendeu como o processo de criação de um gêmeo digital pode contribuir para o ordenamento das atividades internas de operação e manutenção em ambientes construídos, utilizando-se as necessidades dos ocupantes como aferidor desse processo. Apresentaram-se estruturas conceituais que podem auxiliar o processo de transformação de um ativo físico em gêmeo digital.

**Palavras-chave:** Gêmeos digitais. Processo de criação. Ambiente construído. Operação e manutenção. Tríplice hélice.

## ABSTRACT

DIEHL, N. C. **Digital twins design process: FFAC case study.** 2024. 211 f. Thesis (Master in Design) – Engineering School, Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

The need for more sustainable cities draws attention to two fundamental elements in the urban composition: buildings themselves and the individuals inhabiting them. Within this context, the complex task of converting existing structures into intelligent systems stands out. To face the challenges posed by transformation, the concept of digital twins emerges from diverse fields, encompassing product design and space technology as potential solutions for integrating various areas and technologies. It is observed that, for the twinning of the built environment, there are three essential elements. Together, they embody the physical-data-virtual paradigm. Each of these elements involves technologies from distinct knowledge domains, encompassing architecture, computer science, design, and engineering. Therefore, the bibliographical research elucidated the technologies and knowledge related to the presented paradigm, bringing together examples of digital twin creation process applied to built environments. The research consists of a single case study; and documentary analysis, observation and questionnaires were employed for data collection. The focus of this investigation was the digital cadastral survey process of a physical asset owned by the Government of the State of Rio Grande do Sul – the Fernando Ferrari Administrative Center. The research motivations aligned with the triple helix model of innovation and sustainable development, promoting collaboration among academia, industry, and government. The study concludes that the process of creating a digital twin can enhance the organization of internal operational and maintenance activities within built environments, using the needs of the occupants as a gauge of this process. Additionally, conceptual structures designed to facilitate the transformation of a physical asset into a digital twin are introduced.

**Keywords:** Digital twins. Design process. Built environment. Operation and maintenance. Triple helix.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da dissertação .....	23
Figura 2 - Protocolo PRISMA para revisão sistemática de literatura .....	25
Figura 3 - Nível de integração e fluxo de dados .....	41
Figura 4 - Evolução dos gêmeos digitais.....	42
Figura 5 - Níveis de informação entre diferentes representações do edifício .....	44
Figura 6 - Aspectos condicionantes para as necessidades dos ocupantes .....	53
Figura 7 - Paradigma de composição do gêmeo digital.....	54
Figura 8 - Paradigma de composição atribuição aos dados .....	56
Figura 9 - Físico, sensorização de espaço interno .....	58
Figura 10 - Painel de visualização do projeto-piloto <i>Water Cube</i> .....	58
Figura 11 - <i>Framework</i> de implementação de gêmeo digital .....	67
Figura 12 - Geminação em três etapas .....	68
Figura 13 - Desenho da pesquisa .....	71
Figura 14 - Possibilidade de estudo de caso Grupo Flug .....	73
Figura 15 - Possibilidade de estudo de caso Petrobras .....	74
Figura 16 - Linha do tempo da pesquisa .....	76
Figura 17 - Maquete do projeto CAERGS .....	77
Figura 18 - Registro histórico da construção da PROCERGS e do CAFF .....	78
Figura 19 - Centro Administrativo Fernando Ferrari .....	79
Figura 20 - Resultado da oficina de desenho urbano “Rua para as pessoas” .....	80
Figura 21 - Mapa do CAFF .....	80
Figura 22 - Distribuição das secretarias por andar .....	81
Figura 23 - Localização da Subsecretaria Administrativa .....	83
Figura 24 - Identificação dos componentes.....	85
Figura 25 - Unidades de coletas de dados.....	86
Figura 26 - Interface do sistema no momento da requisição .....	93
Figura 27 - Interface do formulário de preenchimento.....	95
Figura 28 - Interface monitoramento dos chamados .....	96
Figura 29 - Interface do formulário melhorias.....	98
Figura 30 - Recorrência de categorias e subcategorias .....	99
Figura 31 - Dendrograma CHD .....	101
Figura 32 - Gráficos CHD proximidade de categorias .....	102
Figura 33 - Gráficos CHD proximidade de palavras .....	103
Figura 34 - Sistema de escaneamento utilizado.....	106
Figura 35 - Interface 1 do <i>software</i> FARO Sphere®.....	107
Figura 36 - Interface 2 do <i>software</i> FARO Sphere®.....	108
Figura 37 - Interface 3 do <i>software</i> FARO Sphere®.....	109
Figura 38 - Nuvem de pontos, base da modelagem 1º pavimento .....	114
Figura 39 - Primeira versão da modelagem 1º pavimento.....	116
Figura 40 - Interface CDE no Autodesk Docs .....	117
Figura 41 - Interface da visualização do modelo digital federado .....	118
Figura 42 - Fluxo modelagem BIM e reforma da SUAD .....	119
Figura 43 - Área de atuação respondentes .....	123
Figura 44 - Respostas ao questionário de conforto ambiental.....	124
Figura 45 - Respostas ao questionário de fatores pessoais .....	126
Figura 46 - Gráfico de outros fatores identificados.....	128

Figura 47 - Nível de evolução dos gêmeos digitais CAFF (SUAD).....	131
Figura 48 - Gêmeos digitais agregados para operação e manutenção .....	133
Figura 49 - <i>Framework</i> de implementado CAFF (SUAD) .....	137
Figura 50 - Identificação das possibilidades de uso do gêmeo digital .....	139
Figura 51 - Estrutura para identificação das tecnologias por camadas .....	140
Figura 52 - Estrutura para implementação de gêmeo digital .....	141
Figura 53 - Interface inicial CRIE Gêmeo Digital .....	142
Figura 54 - Interface descrições.....	143
Figura 55 - Seção das estruturas conceituais .....	144
Figura 56 - Fluxo de trabalho apresentado no EneBIM 2023 .....	146

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis constitutivas e operacionais da pesquisa.....	19
Quadro 2 - Estratégia de pesquisa <i>string</i> básico.....	26
Quadro 3 - Sumário de avaliação qualitativa.....	29
Quadro 4 - Contribuições da revisão sistemática de literatura incluídas.....	32
Quadro 5 - Contribuições das publicações incluídas.....	36
Quadro 6 - Definições de gêmeos digitais.....	39
Quadro 7 - Comparação entre gêmeos digitais e <i>building information modeling</i> .....	43
Quadro 8 - Fatores de impulso para adoção de gêmeos digitais na construção .....	46
Quadro 9 - Condições operacionais para ambiente construído.....	48
Quadro 10 - Categorias das necessidades dos ocupantes .....	51
Quadro 11 - Habilidades dos gêmeos digitais e seus papéis no paradigma físico-dados- virtual .....	55
Quadro 12 - Projetos-piloto gêmeos digitais .....	57
Quadro 13 - Identificação de tecnologias no processo geminação.....	60
Quadro 14 - Tecnologias aquisição de dados .....	61
Quadro 15 - Tecnologias rede, comunicação e transmissão.....	62
Quadro 16 - Modelagem virtual.....	63
Quadro 17 - Armazenamento de dados .....	63
Quadro 18 - Tecnologias de integração e fusão de dados .....	64
Quadro 19 - Tecnologias para processamento e análise .....	65
Quadro 20 - Tecnologias para visualização dos dados .....	65
Quadro 21 - Funcionalidades.....	66
Quadro 22 - Procedimentos para coleta documental .....	87
Quadro 23 - Procedimentos para a observação direta.....	88
Quadro 24 - Elaboração do questionário.....	89
Quadro 25 - Relação de categorias e subcategorias .....	93
Quadro 26 - Organização dos dados obtidos via Sistema Integrado de Solicitações .....	97
Quadro 27 - Tecnologias identificadas para ordenamento de atividades .....	104
Quadro 28 - Organograma da equipe de modelagem CAFF.....	111
Quadro 29 - Cronograma de consultorias .....	112
Quadro 30 - Requisitos de modelagem 1º pavimento .....	114
Quadro 31 - Tecnologias identificadas para modelagem virtual CAFF (SUAD).....	121
Quadro 32 - Habilidades GD identificadas nas unidades de análise .....	130
Quadro 33 - Possibilidades de criação de gêmeos digitais das unidades observadas .....	132
Quadro 34 - Identificação do processo de geminação CAFF (SUAD) .....	135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Seleção 1ª fase.....	27
Tabela 2 - Critérios de exclusão dos registros 2ª fase .....	28
Tabela 3 - Ocupantes da Subsecretaria Administrativa.....	82
Tabela 4 - Número de recorrência de categorias e subcategorias .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ACC</b>	Autodesk Construction Cloud
<b>ACE</b>	Ambiente construído existente
<b>AECO</b>	Arquitetura, engenharia, construção e operação
<b>BIM</b>	<i>Building information modeling</i>
<b>CAFF</b>	Centro Administrativo Fernando Ferrari
<b>DGTIC</b>	Departamento de Governança e Inovação de TIC
<b>FM</b>	<i>Facility management</i>
<b>GD</b>	Gêmeo digital
<b>IA</b>	Inteligência artificial
<b>IoT</b>	Internet das coisas
<b>LaBIM</b>	Laboratório de Estudos de Tecnologias BIM
<b>O&amp;M</b>	Operação e Manutenção
<b>RT</b>	<i>Real time</i>
<b>SPGG</b>	Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão
<b>SUAD</b>	Subsecretaria Administrativa
<b>TIC</b>	Tecnologia da Informação na Construção
<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	15
1.2 DELIMITAÇÃO .....	18
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....	19
1.4 HIPÓTESE E VARIÁVEIS DE PESQUISA .....	19
1.5 OBJETIVO GERAL .....	20
1.5.1 Objetivos específicos .....	20
1.6 JUSTIFICATIVA .....	21
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	22
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>24</b>
2.1 PROCEDIMENTOS DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) .....	24
2.1.1 Protocolo .....	24
2.1.2 Intervenção .....	24
2.1.3 Definição das questões de pesquisa.....	25
2.1.4 Estratégia de buscas .....	26
2.1.5 Resultados parciais.....	31
2.2 GÊMEOS DIGITAIS .....	38
2.2.1 Gêmeos digitais e o BIM .....	43
2.2.2 Fatores de adoção dos gêmeos digitais.....	45
2.3 CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS .....	47
2.3.1 Ambientes construídos internos e necessidades dos ocupantes.....	50
2.4 COMPONENTES PARA A CRIAÇÃO DE GÊMEOS DIGITAIS .....	54
2.5 PROCESSO DE GEMINAÇÃO .....	59
2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....	69
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>70</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA.....	70
3.2 DEFINIR.....	71
3.3 PROJETAR .....	72
3.3.1 Triagem de casos .....	72
3.3.2 Descrição do caso: Centro Administrativo Fernando Ferrari .....	77
3.4 PREPARAR .....	84
3.4.1 Coleta documental (U1) .....	86
3.4.2 Observação direta (U2).....	87
3.4.3 Questionário (U3).....	89

3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....	91
<b>4 COLETAR E ANALISAR .....</b>	<b>92</b>
4.1 ORDENAMENTO DE ATIVIDADES DA SUBSECRETARIA ADMINISTRATIVA (U1)	92
4.1.1 Sistema Integrado de Solicitações .....	92
4.1.2 Recorrências de intervenções para reformas e manutenções internas da Subsecretaria Administrativa .....	96
4.1.3 Análise dos registros textuais.....	100
4.1.4 Equipamentos IoT e sensores.....	104
4.2 MODELAGEM VIRTUAL CAFF–SUAD (U2).....	105
4.2.1 Captura da realidade .....	105
4.2.2 Capacitação de servidores.....	110
4.2.3 Modelo BIM – SUAD .....	113
4.3 NECESSIDADES DOS OCUPANTES (U3) .....	122
4.3.1 Adesão dos participantes.....	123
4.3.2 Conforto ambiental.....	123
4.3.3 Fatores pessoais.....	126
4.3.4 Outros fatores .....	127
4.4 NÍVEL DE EVOLUÇÃO E POSSIBILIDADES DE USO DE GÊMEOS DIGITAIS .....	129
<b>5 CONCLUIR .....</b>	<b>134</b>
5.1 GEMINAÇÃO PARA O ORDENAMENTO DE ATIVIDADES.....	134
5.2 CRIE GÊMEO DIGITAL .....	142
5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	144
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>148</b>
<b>APÊNDICE A – RELATÓRIO COMPLETO RSL (ESTUDOS PRÉVIOS).....</b>	<b>160</b>
<b>APÊNDICE B – RELATÓRIO COMPLETO DAS PUBLICAÇÕES INCLUÍDAS.....</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE C – GRUPOS DE TECNOLOGIAS IDENTIFICADOS NAS PUBLICAÇÕES .</b>	<b>167</b>
<b>APÊNDICE D – PROTOCOLO PARA ESTUDO DE CASO ÚNICO INTEGRADO     (Yin, 2015).....</b>	<b>169</b>
<b>APÊNDICE E – ORÇAMENTO DA PESQUISA .....</b>	<b>171</b>
<b>APÊNDICE F – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO .....</b>	<b>172</b>
<b>APÊNDICE G – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP .....</b>	<b>175</b>
<b>APÊNDICE H – RELATÓRIO DA COLETA DOCUMENTAL .....</b>	<b>184</b>
<b>APÊNDICE I – RELATÓRIO DE OBSERVAÇÃO E HISTÓRICO DE VISITAS.....</b>	<b>187</b>
<b>APÊNDICE J – TCLE, ESTRUTURA E RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO .....</b>	<b>200</b>
<b>APÊNDICE K – TRABALHOS PUBLICADOS DURANTE A PESQUISA .....</b>	<b>210</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são apresentadas a contextualização e a delimitação nas quais o presente estudo está inserido. O problema de pesquisa, hipóteses e variáveis conduzem aos objetivos que a pesquisa busca alcançar, seguidos da justificativa e da relevância que o tema delimitado representa. Por fim, será apresentada a estruturação proposta.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As inovações tecnológicas têm promovido uma interconexão entre os mundos digital e físico, cuja transformação alcançou o gerenciamento de edificações, que passaram a ser capazes de trocar, processar e explorar dados, estabelecer comunicação com os usuários e compartilhar informações com as cidades (Casini, 2022). O surgimento de tecnologias como modelagem de informações de construção (BIM, do inglês *building information modeling*), inteligência artificial (IA), computação em nuvem, internet das coisas (IoT, do inglês *internet of things*) e realidade estendida possibilitaram avanços relacionados ao ambiente construído, com destaque para aplicações em fases de operação e manutenção, o que resultou em melhorias tanto no desempenho das edificações como na relação dos usuários com os espaços (Attaran; Celik, 2023; Opoku *et al.*, 2021).

Manipular tecnologias para o ambiente construído expõe a necessidade de sobrepor diferentes áreas de conhecimento, como arquitetura, design, engenharias e ciências da computação. Para que a integração entre elas seja possível, o conceito de gêmeos digitais (GD) emergiu da indústria e do design de produto (Martins *et al.*, 2022). Introduzido em 2003 por Michael Grieves, em um curso de gerenciamento total do ciclo de vida de um produto na Universidade de Michigan, o conceito de GD foi apresentado como o equivalente digital de um produto físico (Grieves, 2019). Desde então, evoluiu por diferentes áreas de interesse, como varejo, assistência médica, mineração, manufatura, serviços de utilidade pública, agricultura, automotivo, construção, educação e aeroespacial, consolidando-se principalmente na indústria, por ser considerada uma tecnologia capaz de espelhar praticamente todos os atributos de produtos, processos ou serviços (Attaran; Celik, 2023).

Para que ocorra a associação entre físico e digital, utilizam-se tecnologias diferentes, levando em consideração formatos de manejo de dados. Kritzinger *et al.* (2018) identificaram três níveis de integração diferenciados: modelo digital, sombra digital e GD.

Desse modo, para que seja possível a implementação de um GD, Garcia *et al.* (2022) e Opoku *et al.* (2021) destacam componentes básicos, como: a existência de um **objeto físico**, o **modelo virtual** e o **manejo de dados entre ambos**. Tais componentes estabelecem, segundo Boje *et al.* (2020), o paradigma **físico-dados-virtual**, no qual, para cada um dos fatores, existem subpartes consideradas habilidades e características dispostas a facilitar funções que transcorrem durante todo ciclo de vida de um ativo físico, intercambiando tecnologias e ferramentas utilizadas em cada estágio.

O conceito de GD está associado diretamente à tecnologia BIM, que permite que modelos virtuais de uma edificação sejam construídos de forma digital, fornecendo uma base de dados e informações detalhadas sobre o edifício, possibilitando a criação de um modelo digital preciso com informações geométricas, funcionais e comportamentais (Delgado; Oyedele, 2021). A evolução do BIM enquadra-se em um paradigma que inclui tecnologias interativas, processos e pessoas, viabilizando a redução de perdas de informações durante todas as etapas de projeto (Sacks *et al.*, 2021; Succar, 2009).

Ao mesmo tempo que o BIM estabelece a representação do modelo em diferentes níveis, as informações geradas são estáticas, podendo ser aplicadas isoladamente para condução de políticas, processos e projetos (Garcia *et al.*, 2022; Succar, 2009). Os GD, por sua vez, promovem um modelo responsivo, capaz de estabelecer conexões dinâmicas entre os espaços físico e virtual. Sua implantação necessita, obrigatoriamente, que um ativo físico exista, a fim de que seja possível conectar o fluxo de informações, diferentemente do BIM, que pode ser operacionalizado exclusivamente em fases de concepção (Opoku *et al.*, 2021).

Todos os elementos tangíveis e materiais presentes em edificações são considerados ativos físicos de organizações, por exemplo: estruturas, sistemas, equipamentos, instalações, mobiliários, entre outros. A gestão desses componentes físicos é feita por meio de ações de gerenciamento de instalações (FM, do inglês *Facility Management*). A International Organization for Standardization (ISO) 41011 define FM como uma “[...] função organizacional que integra pessoas, lugares e

processos dentro do ambiente construído com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas e a produtividade do negócio principal” (2017 *apud* Mannino; Dejaco; Cecconi, 2021, documento *on-line*, tradução nossa).

De acordo com a International Facility Management Association (IFMA, c2023), existem 11 competências essenciais em FM: ocupação e fatores humanos; operações e manutenção; sustentabilidade; gerenciamento de tecnologia e informação de instalações; gerenciamento de riscos; comunicação; desempenho e qualidade; liderança e estratégia; imobiliário; gestão de projetos; finanças e negócios.

A partir da compreensão dessas competências, nota-se que o gerenciamento de instalações é uma atividade que envolve diversos recursos tecnológicos e, segundo Perrier *et al.* (2020), pesquisas voltadas à FM contêm menos abordagens e atuações. Os autores justificam que mesmo com os avanços tecnológicos decorrentes da 4ª Revolução Industrial e a evolução de tecnologias em diferentes áreas de atuação, diversas soluções eram incapazes de integrar seus dados. As tecnologias foram categorizadas por eles em sete diferentes áreas de atuação:

1. ciência de dados;
2. fabricação digital;
3. pré-fabricação;
4. BIM;
5. inteligência artificial;
6. sistemas de modelagem (realidade aumentada [AR], realidade virtual [VR], modelagem nD<sup>1</sup>);
7. tecnologias de monitoramento (sistema de informação geográfica [GIS], varredura *laser*, drones, veículos aéreos não tripulados [UAVs], fotogrametria, GPS) e sistemas de rastreamento de materiais, como RFID (*radio-frequency identification*).

---

<sup>1</sup> Considera-se uma extensão da modelagem 3D, visa incorporar todas as informações de projeto necessárias em cada estágio do ciclo de vida de uma instalação ou edifício. Nesse contexto, um modelo nD (n-dimensional) é uma evolução do modelo de informações de construção BIM, que é um banco de dados de informações de projeto de construção, incluindo dados sobre construção, gerenciamento, operações e manutenção do edifício (Lee *et al.*, 2005).

Diante desse contexto, e com as possibilidades de evolução das tecnologias supracitadas, pesquisas sobre a prática de geminação<sup>2</sup> evidenciam o potencial que os GD têm de transformar a manutenção e o gerenciamento de instalações existentes em uma atividade inteligente. Dessa maneira, é possível visualizar o estado de degradação das condições das edificações e identificar possíveis falhas de forma preditiva, além de permitir um novo nível de percepção e tomada de decisões, integrando diferentes áreas de conhecimento (Siccardi; Villa, 2022).

Compreende-se também que a aplicação de GD, quando voltado ao ambiente construído, tem potencial para garantir o conforto dos ocupantes, por meio de monitoramento aprimorado, adotando-se parâmetros de condições ambientais e pessoais. A coleta de dados por meio de sensores, quando alocados em espaços internos da edificação, permite realizar simulações que visam melhorar e otimizar o consumo e a utilização de recursos das edificações, além de fornecer relatórios sobre ocupação e movimento, o que possibilita tomar decisões embasadas em dados (Khajavi *et al.*, 2019).

Enfatiza-se a importância de tornar os processos de reforma, renovação ou reconstrução do ambiente construído existentes digitais e integrados; os GD ganham destaque de aplicação na construção, justamente como possível suporte para viabilizar essa necessidade de integração (Diehl *et al.*, 2023b).

## 1.2 DELIMITAÇÃO

Considerando as ocorrências expostas e decompondo-se o paradigma **físico-dados-virtual** para a criação de um GD, são gerados os contornos que delimitam este trabalho. O **componente virtual** visa à identificação de modelos digitais de ativos físicos capturados e produzidos a partir de ferramentas e processos BIM; para o **componente físico**, serão utilizados ativos em fases de operação e manutenção, com foco em etapas de reestruturação interna de ambientes construídos; o **componente dados** terá como norteador a captura de informações a partir das necessidades dos ocupantes.

---

<sup>2</sup> Do inglês *twinning* – Na AECO, o termo é usado para definir o conjunto de atividades necessárias para criar um GD, tornando um ativo físico GD; na indústria, significa a sincronização GD (Delgado; Oyedele, 2021).

Tendo em vista que a criação de um GD requer uma abordagem transdisciplinar, sendo necessária a interação entre diferentes áreas de conhecimento, a base teórica desta pesquisa é composta por conhecimentos das disciplinas de arquitetura, engenharia, ciências da computação e design. Pretende-se, dessa forma, explorar o conceito de GD como um fio condutor de processos, ferramentas, tecnologias e pessoas para a gestão de ativos.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando a lacuna de pesquisa não completamente explorada e as dificuldades expostas sobre a aplicação de tecnologias para reconstruir o existente, apresenta-se o conceito de GD como uma possível estratégia de abordagem para esse campo.

Assim, indica-se o seguinte **problema de pesquisa**: *como a utilização de GD, por meio dos seus três componentes físico-dados-virtual, contribui para ordenar as atividades de operação e manutenção internas em edificações existentes?*

### 1.4 HIPÓTESE E VARIÁVEIS DE PESQUISA

Levanta-se como hipótese para a resolução do problema que, por meio dos processos e etapas de criação de GD, ordenam-se as atividades de operação e manutenção internas, baseando-se em simulações, predição de acontecimentos, análises hipotéticas e otimizações. Além disso, quando consideradas as necessidades dos ocupantes, é possível aferir as tomadas de decisão a partir de requisitos como conforto e níveis de satisfação.

A partir dessa hipótese, são ordenadas as variáveis que operacionalizam este estudo, apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Variáveis constitutivas e operacionais da pesquisa

(Continua)

Variável	Variáveis constitutivas	Variáveis operacionais
Utilização de gêmeo digital	Etapas de criação de gêmeo digital	Identificar o processo de criação e implementação de gêmeo digital em atividades de operação e manutenção

Variável	Variáveis constitutivas	Variáveis operacionais
Ordenamento das atividades de operação e manutenção	Atividades de operação e manutenção do ambiente construído	Identificar as recorrências de atividades solicitadas para manutenção da edificação
Necessidade dos ocupantes	Condições de conforto dos níveis de satisfação dos usuários	Identificar os fatores que influenciam o conforto e mensurar os níveis de satisfação relacionados a eles

Fonte: Elaborado pela autora.

As variáveis constitutivas e operacionais apresentadas conduzem à proposição dos objetivos da pesquisa.

## 1.5 OBJETIVO GERAL

**Compreender** como o processo de criação de um GD pode contribuir para o ordenamento das atividades internas de operações e manutenções de ambientes construídos, utilizando-se as necessidades dos ocupantes como aferidor desse processo.

### 1.5.1 Objetivos específicos

- I. **Identificar** na literatura as principais definições, áreas de aplicação, tecnologias e estruturas teóricas de criação de GD para ambiente construído.
- II. **Selecionar** um ambiente construído com ocupantes, inserido no contexto nacional, que possibilite o monitoramento e a análise das etapas criação de GD por meio de estudo de caso único.
- III. **Observar** as etapas do processo de criação do GD a partir dos elementos físico-dados-virtual, acompanhando a definição do elemento físico, de que forma é modelado seu equivalente virtual e como ocorre o manejo de dados entre eles, bem como se existe relação com as necessidades dos ocupantes.
- IV. **Comparar** a estrutura teórica de criação de GD com as etapas observadas no objeto de estudo selecionado.



## 1.6 JUSTIFICATIVA

Internacionalmente, o conceito de GD já é considerado uma tecnologia que tem alterado a maneira como as empresas operam, tendo potencial para contribuir com o alcance do desenvolvimento sustentável, umas das metas estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) (Arup, 2019a). Segundo o relatório internacional *Digital Twin Market* (Global Marketing Insights, 2023), o mercado global dos GD foi avaliado em 8 bilhões de dólares em 2022 e estima-se uma taxa de 25% de crescimento anual até 2032. Nesse contexto, na construção, as aplicações e soluções possíveis por meio dos GD para avaliar desempenho de edifícios e simular comportamentos sob diferentes condições e cenários, com a integração de dados, fontes e sensores a modelos BIM, estão impulsionando a criação de uma rede de edifícios inteligentes que podem contribuir com a gestão de cidades mais eficientes e sustentáveis (Attaran; Celik, 2023).

No cenário nacional, algumas iniciativas permitem olhar para esse conceito como a chave para a integração de tecnologias, conhecimentos e processos necessários para o desenvolvimento de órgãos e instituições em níveis federal e estadual. Nacionalmente, o decreto nº 9.983 (Brasil, 2019) tem como finalidade promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e sua difusão no País, e o decreto nº 10.306 (Brasil, 2020) estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal. Em relação ao Estado do Rio Grande do Sul, o decreto nº 56.311 (Rio Grande do Sul, 2022a) instituiu a Estratégia Estadual de Fomento e Implantação do BIM e a Estratégia BIMGov-RS.

Alinhados aos objetivos estabelecidos por esses decretos, existe uma proposição para o desenvolvimento de um Plano de Implementação de BIM curricular (PIBc), que visa à realização de ações acadêmicas para transformação digital. Esse programa transcorre por meio de pesquisas e ações promovidas pela Rede de Células BIM ANTAC, que é facilitada pelos coordenadores do Grupo de Trabalho de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) (Ruschel; Ferreira, 2022).

Diante do exposto, esta pesquisa vislumbra a interseção entre academia, governo e indústria. Elementos que compõem o modelo tríplice hélice<sup>3</sup> serão representados por meio das seguintes esferas: academia, por meio da pesquisa implementada; indústria, pelas tecnologias reportadas; e governo, por meio do objeto de estudo selecionado (Etzkowitz; Zhou, 2017).

Considerando as análises levantadas, percebe-se que o conceito de GD aplicado ao ambiente construído tem potencial para predizer acontecimentos, simular modelos e solucionar problemas em processos de operação e manutenção internas de ativos. Em virtude do crescimento acelerado de pesquisas relacionadas ao tema, é fundamental primeiramente compreender as interfaces teóricas e práticas que compõem essa tecnologia, para que, então, ela possa ser aplicada.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O relatório desta pesquisa está organizado conforme descrito a seguir e apresentado na Figura 1. Os capítulos da dissertação estão organizados de acordo com as etapas de pesquisa, os procedimentos metodológicos e os objetivos específicos.

No **Capítulo 1**, contextualiza-se o tema tecnologias para gestão de ativos físicos, delimitando-se a aplicação do conceito de GD em processos de intervenções ao ambiente construído interno. Apresenta-se o problema de pesquisa, a hipótese, as variáveis e os objetivos que conduzem o estudo, bem como a justificativa e a relevância do tema.

No **Capítulo 2**, seleciona-se e organiza-se o conteúdo que fundamenta esta pesquisa, composto por estado da arte dos GD, tecnologias necessárias para sua implementação, potenciais usos para operação e manutenção do ambiente construído a partir das necessidades dos ocupantes.

No **Capítulo 3**, apresenta-se a caracterização da pesquisa e os procedimentos metodológicos empregados para a execução do estudo de caso de contexto único, integrado com unidades múltiplas de análise.

---

<sup>3</sup> Tríplice hélice: modelo universal de inovação, representado pela universidade/academia, indústria e governo, os quais interagem para promover o desenvolvimento por meio da inovação e do empreendedorismo.

No **Capítulo 4**, são coletados e analisados os dados do estudo de caso único, no qual as unidades de análise são dispostas pela tríade de componentes físico-dados-virtual, que fundamentam a criação de um GD.

Por fim, no **Capítulo 5**, são retomados os objetivos propostos, apresentadas as considerações finais, as limitações e as possibilidades para pesquisas futuras a partir dos conhecimentos abordados.

Figura 1 - Estrutura da dissertação

capítulo	conteúdos	corresponde aos objetivos
<b>1</b> introdução	<b>questão de pesquisa</b> Como a utilização de GD, por meio dos seus três componentes físico-dados-virtual, contribui para ordenar as atividades de operação e manutenção internas em edificações existentes?	
<b>2</b> fundamentação teórica	2.1 procedimentos RSL 2.2 gêmeos digitais 2.3 condições operacionais de ambientes construídos 2.4 componentes para criação de gêmeos digitais 2.5 processo de geminação	<b>1</b>
<b>3</b> procedimentos metodológicos	3.1 característica da pesquisa 3.2 definir 3.3 projetar 3.4 preparar	<b>2</b>
<b>4</b> coletar e analisar	4.1 ordenamento de atividades da SUAD 4.2 modelagem virtual CAFF - SUAD 4.3 necessidades dos ocupantes 4.4 nível de evolução e possibilidades de uso de gêmeos digitais	<b>3</b>
<b>5</b> concluir	5.1 geminação para o ordenamento de atividades 5.2 crie gêmeo digital 5.3 considerações finais	<b>4</b>

Fonte: Elaborada pela autora.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a base teórica que fundamenta a pesquisa, sendo composto por levantamento bibliográfico cujas abordagens são assistemáticas e sistemáticas. Na seção 2.1, são apresentados os procedimentos metodológicos de revisão sistemática da literatura. Os resultados estão dispostos nas seções 2.2 a 2.5, com a conclusão do capítulo apresentada na seção 2.6.

### 2.1 PROCEDIMENTOS DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL)

Com o propósito de ampliar o conhecimento desta pesquisa, estruturou-se uma revisão sistemática de literatura (RSL) (Moher *et al.*, 2015), descrita nas seções a seguir quanto ao protocolo aplicado, coleta de dados e resultados parciais.

#### 2.1.1 Protocolo

A estrutura de revisão proposta seguiu o protocolo sugerido pelo método PRISMA (Page *et al.*, 2022), que dispõe um fluxograma de três fases, ordenadas da seguinte maneira: 1) identificação; 2) triagem: seleção crítica e elegibilidade; e 3) inclusão dos artigos (Moher *et al.*, 2015). O protocolo foi empregado por meio do sistema *Parsifal* (Perform Systematic Literature Reviews, c2021).

#### 2.1.2 Intervenção

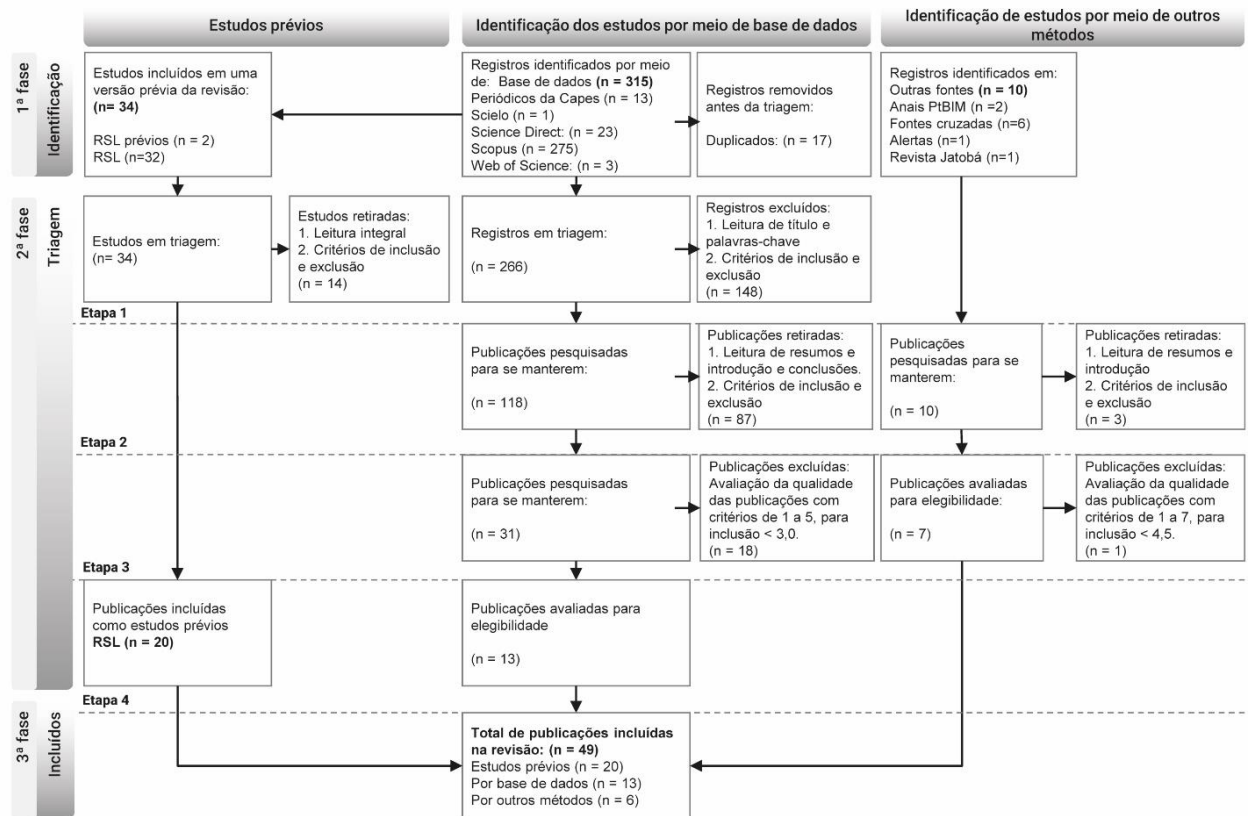
Quanto à área de intervenção, definiu-se a área mais ampla relacionada à pesquisa até o contexto específico para qual ela se destina, sendo:

- **Área de pesquisa:** GD.
- **Intervenção:** FM e operação e manutenção.
- **Contexto geral:** ambiente construído.
- **Contexto específico:** necessidades dos ocupantes.

A fim de ampliar as buscas sobre o tema, manteve-se ambiente construído como contexto geral para a primeira fase de identificação. O contexto específico – necessidades dos ocupantes – foi integrado na segunda fase de triagem, na avaliação qualitativa dos estudos adicionados.

O relatório foi organizado com Google Docs e Google Sheets e distribuído conforme as fases e etapas que são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Protocolo PRISMA para revisão sistemática de literatura



Fonte: Elaborada pela autora com base em Welcome... (c2021).

### 2.1.3 Definição das questões de pesquisa

Definiram-se as seguintes questões norteadoras da busca de conhecimentos nos estudos investigados:

- Quais são as tecnologias necessárias para a criação de um GD do ambiente construído?
- Qual é o processo de implementação de um GD?
- Quais categorias de uso de operação e manutenção são possíveis de aplicação?
- Quais necessidades dos ocupantes podem servir como requisitos para implementação de um GD?

### 2.1.4 Estratégia de buscas

Seguindo a definição da área de intervenção, estabeleceu-se o *string* de busca básico (Quadro 2) a partir dos termos descritos em língua portuguesa, que foram traduzidos para a língua inglesa tendo em vista sua maior abrangência. Foram necessários testes de aplicação para validação das buscas, a fim de encontrar sinônimos, expressões similares e a combinação de maior assertividade.

Quadro 2 - Estratégia de pesquisa *string* básico

Área de pesquisa		Intervenção				Contexto
Gêmeos digitais	A N D	Gestão das instalações	O R	Operação e manutenção	A N D	Ambiente construído
<i>Digital twins</i>		<i>FM</i>		<i>O&amp;M</i>		<i>Built environment</i>

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a primeira fase (identificação), foram aplicados, para todas as bases de dados, os seguintes critérios: artigos ou revisões sistemáticas, de acesso aberto, publicados em periódicos entre os anos de 2019 e 2023, levando em consideração a busca atualizada de estudos. A definição das bases se deu pela relevância e possibilidade de pesquisas nas áreas investigadas, sendo selecionadas: Periódicos da Capes (I), Scielo (II), Science Direct (III), Scopus (IV), Web of Science – coleção principal (V). Foi necessária a adaptação do *string* de busca básico para cada uma delas, bem como a delimitação de áreas, descritas na Tabela 1, com o número correspondente dos registros encontrados e duplicados em cada base de dados.

Tabela 1 - Seleção 1ª fase

	<b>Base de dados</b>	<b>String de busca</b>	<b>Registros</b>	<b>Duplicados</b>	<b>RSL</b>
I	Periódicos da Capes	"DIGITAL TWINS" AND ("FM" OR "O&M") AND "BUILT ENVIROMENT"	13	4	4
II	Scielo	"DIGITAL TWINS" OR "GÊMEOS DIGITAIS"	1	-	-
III	Science Direct	"DIGITAL TWINS" AND ("FM" OR "O&M") AND "BUILT ENVIRONMENT"	23	2	5
IV	Scopus	(ALL ("digital twins") AND ALL ("facility management" OR "O&M") AND ALL ("BUILT ENVIRONMENT")) AND (LIMIT-TO (OA, "all" )) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))	275	10	23
V	Web of Science	"DIGITAL TWINS" and "FM" OR "O&M" and "BUILT ENVIRONMENT"	3	1	-
			<b>315</b>	<b>17</b>	<b>32</b>

Fonte: Elaborada pela autora.

Foram encontrados 315 estudos no total, sendo 17 duplicados e 32 identificados como RSL – estes foram separados e adicionados à fase de identificação (estudos prévios), a fim de compor uma revisão integrativa de conhecimentos.

Seguiram para a segunda fase – triagem (Tabela 2) 266 registros analisados na primeira etapa, com a leitura de títulos e de palavras-chave, seguido da aplicação dos critérios de exclusão e inclusão. Os 34 estudos prévios foram lidos integralmente e aplicados critérios de exclusão e inclusão. Foram identificados 148 registros e 14 estudos prévios fora da área de escopo, totalizando 162 registros excluídos para a próxima etapa.

Na segunda etapa, foram lidos os resumos de 118 registros e aplicados novos critérios de exclusão e inclusão, tendo sido excluídos 87 registros.

Tabela 2 - Critérios de exclusão dos registros 2ª fase

<b>Critérios de exclusão</b>	<b>1ª etapa triagem</b>	<b>2ª etapa triagem</b>
Não correspondem aos objetivos de pesquisa	148	52
Não correspondem aos objetivos de pesquisa - RSL	14	
Gêmeos digitais aplicados a cidade		8
Gêmeos digitais aplicados a infraestrutura ou ferrovias		6
Não específica práticas e dados sobre gêmeos digitais		21
<b>Total de estudos rejeitados</b>	<b>162</b>	<b>87</b>

Fonte: Elaborada pela autora.

Seguiram para a terceira etapa da triagem (elegibilidade) 31 registros, que foram lidos na íntegra e avaliados qualitativamente (Quadro 3) respondendo às seguintes questões (Q):

- **Q1.** Aborda o uso de GD para condicionantes internos?
- **Q2.** Aborda o uso de tecnologia voltada para a operação e manutenção de ambientes internos?
- **Q3.** Aborda requisitos pautados nas necessidades dos ocupantes?
- **Q4.** Especifica locais de aplicação?
- **Q5.** Indica as tecnologias utilizadas?

Para cada resposta foi atribuído um valor: sim (1,0), parcialmente (0,5) e não (0,0). Conforme indicado no Quadro 3, foram excluídos 18 artigos que não atingiram pontuação qualitativa < 3,0, restando 13 trabalhos. Os estudos avaliados estão ordenados no Quadro 3, de forma crescente por ano de publicação, autores e título.

Durante o andamento do estudo, foram adicionados 10 registros por meio de outros métodos (Figura 2, terceira coluna), como referências cruzadas, anais de eventos e alertas de base de dados. Estes passaram pela fase de triagem, etapa 2, na qual foram excluídos 3 registros, e seguiram para etapa de elegibilidade 7 estudos, que estão dispostos no Quadro 3 quanto à sua avaliação.



Quadro 3 - Sumário de avaliação qualitativa

(Continua)

Autor/ano	Título do artigo	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Total
Kim, Schiavon e Brager (2018)	<i>Personal comfort models: A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control</i>	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	4,5
Khajavi et al. (2019)	<i>Digital twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings</i>	0,5	0,5	0,0	1,0	1,0	3,0
Heaton, Parlikad e Schooling (2019)	<i>Design and development of BIM models to support operations and maintenance</i>	0,5	0,0	0,0	1,0	1,0	2,5
Arslan, Cruz e Ginhac (2019)	<i>Visualizing intrusions in dynamic building environments for worker safety</i>	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	3,0
Zaballos et al. (2020)	<i>A smart campus' digital twin for sustainable comfort monitoring</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0
Moretti et al. (2020)	<i>An openBIM approach to IoT integration with incomplete as-built data</i>	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	4,0
Lu et al. (2020a)	<i>Developing a digital twin at building and city levels: Case study of west Cambridge campus</i>	0,0	0,5	0,0	1,0	1,0	2,5
Peng et al. (2020)	<i>Digital twin hospital buildings: An exemplary case study through continuous lifecycle integration</i>	0,0	0,5	0,0	0,5	1,0	2,0
Lu et al. (2020b)	<i>Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance</i>	0,0	0,5	0,0	0,5	1,0	2,0
Xie et al. (2020)	<i>Visualised inspection system for monitoring environmental anomalies during daily operation and maintenance</i>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5
Lu et al. (2021)	<i>Moving from building information models to digital twins for operation and maintenance</i>	0,5	0,5	0,0	0,5	1,0	2,5
Villa et al. (2021)	<i>IoT open-source architecture for the maintenance of building facilities</i>	1,0	0,0	0,0	0,5	1,0	2,5
Akanmu, Anumba e Ogunseiju (2021)	<i>Towards next generation cyber-physical systems and digital twins for construction</i>	0,5	0,0	0,0	0,0	1,0	1,5
Tagliabue et al. (2021)	<i>Leveraging digital twin for sustainability assessment of an educational building</i>	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	2,0
Seghezzi et al. (2021)	<i>Towards an occupancy-oriented digital twin for facility management: Test campaign and sensors assessment</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0
Moretti et al. (2021)	<i>GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making</i>	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	4,5
Garcia et al. (2022)	<i>Aplicação de gêmeos digitais na indústria da construção: estado da arte</i>	0,5	0,5	0,0	1,0	1,0	3,0

(Continuação)

<b>Autor/ano</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>	<b>Q5</b>	<b>Total</b>
Martins <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twin para a gestão inteligente de edifícios: o caso do Smart Office do Built Colab</i>	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	4,5
Daniotti <i>et al.</i> (2022)	<i>The development of a BIM-based interoperable toolkit for efficient renovation in buildings: From BIM to digital twin</i>	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	4,5
Banfi <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twin and cloud BIM-XR platform development: From scan-to-BIM-to-DT process to a 4D multi-user live app to improve building comfort, efficiency and costs</i>	0,0	0,5	0,0	1,0	1,0	2,5
Tan <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twin-driven approach to improving energy efficiency of indoor lighting based on computer vision and dynamic BIM</i>	1,0	0,5	0,0	0,5	1,0	3,0
Huseien e Shah (2022)	<i>A review on 5G technology for smart energy management and smart buildings in Singapore</i>	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5
Wildenauer <i>et al.</i> (2022)	<i>Building-as-a-service: Theoretical foundations and conceptual framework</i>	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	3,0
Zhao <i>et al.</i> (2022)	<i>Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes</i>	0,5	1,0	0,0	1,0	0,5	3,0
Fialho <i>et al.</i> (2022)	<i>Development of a BIM and IoT-based smart lighting maintenance system prototype for universities' FM sector</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0
El Mokhtari, Panushev e McArthur (2022)	<i>Development of a cognitive digital twin for building management and operations</i>	0,5	0,5	0,0	0,5	1,0	2,5
Wang <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twin-enabled built environment sensing and monitoring through semantic enrichment of BIM with SensorML</i>	0,0	1,0	0,0	0,5	1,0	2,5
Mihai <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twins: A survey on enabling technologies, challenges, trends and future prospects</i>	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0
Moreno <i>et al.</i> (2022)	<i>Dynamic data feeding into BIM for facility management: A prototype application to a university building</i>	0,5	0,5	0,0	0,5	1,0	2,5
Harode, Ensafi e Thabet (2022)	<i>Linking BIM to power BI and HoloLens 2 to support facility management: A case study approach</i>	0,0	0,5	0,0	0,5	1,0	2,0
Meschini <i>et al.</i> (2022)	<i>Toward cognitive digital twins using a BIM-GIS asset management system for a diffused university</i>	0,0	0,5	0,0	1,0	1,0	2,5

(Conclusão)

Autor/ano	Título do artigo	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Total
Hosamo <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twin of HVAC system (HVACDT) for multiobjective optimization of energy consumption and thermal comfort based on BIM framework with ANN-MOGA</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0
Agrawal <i>et al.</i> (2023)	<i>Digital twin: Where do humans fit in?</i>	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	3,0
Hosamo <i>et al.</i> (2023a)	<i>Digital twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0
Elyasy, Bellini e Klungseth (2023)	<i>Digital transformation in facility management: An analysis of the challenges and benefits of implementing digital twins in the use phase of a building</i>	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5
Harode, Thabet e Dongre (2023)	<i>A tool-based system architecture for a digital twin: A case study in a healthcare facility</i>	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	3,5
Costa <i>et al.</i> (2023)	<i>A ventilation early warning system (VEWS) for diaphanous workspaces considering COVID-19 and future pandemics scenarios</i>	0,5	0,5	0,0	0,5	1,0	2,5
Hosamo <i>et al.</i> (2023b)	<i>Improving building occupant comfort through a digital twin approach: A Bayesian network model and predictive maintenance method</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0

Nota: branco: não incluídos; cinza: incluídos a partir da base de dados; laranja: incluídos de outras fontes.

Fonte: Elaborado pela autora.

No total, foram incluídos 20 estudos prévios (RSL) que contribuíram para a formação dos conhecimentos sob uma abordagem ampla, e 19 publicações que relacionaram conhecimentos específicos acerca do tema. Na seção a seguir, são apresentados os resultados parciais dos dados obtidos.

### 2.1.5 Resultados parciais

Os estudos prévios (RSL) são apresentados no Quadro 4, incluindo autoria, ano de publicação, título do artigo e tópicos relacionados. Suas principais contribuições estão dispostas nos parágrafos a seguir e o relatório completo encontra-se no Apêndice A.

Quadro 4 - Contribuições da revisão sistemática de literatura incluídas

(Continua)

Autor/ano	Artigo	Tópicos
Boje <i>et al.</i> (2020)	<i>Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Paradigma GD físico-dados-virtual</li> <li>● Geração GD três níveis</li> <li>● Habilidades GD</li> </ul>
Rasheed, San e Kvamsda (2020)	<i>Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Relatório sobre o papel dos GD</li> <li>● Esquema de partes interessadas e possíveis contribuições</li> </ul>
Altohami <i>et al.</i> (2021)	<i>Investigating approaches of integrating BIM, IoT, and facility management for renovating existing buildings: A review</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Integração BIM</li> <li>● IoT</li> <li>● Requisitos dos ocupantes</li> </ul>
Delgado e Oyedele (2021)	<i>Digital twins for the built environment: Learning from conceptual and process models in manufacturing</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelos conceituais processo GD para ambiente construído</li> </ul>
Deng, Menassa e Kamat (2021)	<i>From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento do ambiente interno</li> <li>● Gestão do espaço</li> <li>● Estudo caso West Cambridge Campus</li> </ul>
Mannino, Dejaco e Cecconi (2021)	<i>Building information modelling and internet of things integration for facility management-literature review and future needs</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BIM</li> <li>● IoT</li> <li>● FM</li> <li>● Wireless Sensors Network (WSN)</li> </ul>
Opoku <i>et al.</i> (2021)	<i>Digital twin application in the construction industry: A literature review</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Quadro de tecnologias relacionadas a dados</li> <li>● Modelagem de alta fidelidade</li> <li>● Simulação baseada em modelos</li> </ul>
Shishehgarkhaneh <i>et al.</i> (2022)	<i>Internet of things (IoT), building information modeling (BIM), and digital twin (DT) in construction industry: A review, bibliometric, and network analysis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BIM</li> <li>● IoT</li> <li>● Ontologia</li> <li>● Web semântica</li> </ul>
Bortolini <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twins' applications for building energy efficiency: A review</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conforto dos ocupantes</li> </ul>
Casini (2022)	<i>Extended reality for smart building operation and maintenance: A review</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tecnologias realidade estendida</li> </ul>
D'Amico <i>et al.</i> (2022)	<i>Cognitive digital twin: An approach to improve the maintenance management</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Protocolos de troca de dados</li> <li>● Base de dados</li> <li>● Ferramentas empregadas para virtualização</li> </ul>

(Conclusão)

<b>Autor/ano</b>	<b>Artigo</b>	<b>Tópicos</b>
El-Din <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twins for construction assets using BIM standard specifications</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Padrões de gerenciamento de informações BIM existentes ISO 19650</li> </ul>
Opoku <i>et al.</i> (2022)	<i>Drivers for digital twin adoption in the construction industry: A systematic literature review</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Categorias de adoção de GD</li> <li>• GD orientados ao projeto, construção, FM e preservação</li> </ul>
Siccardi e Villa (2022)	<i>Trends in adopting BIM, IoT and DT for facility management: A scientometric analysis and keyword co-occurrence network review</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceitos FM</li> <li>• Integração BIM e IoT</li> </ul>
Arowoia, Moehler e Fang (2023)	<i>Digital twin technology for thermal comfort and energy efficiency in buildings: A state-of-the-art and future directions</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IA</li> <li>• Redes neurais artificiais (ANN)</li> <li>• Redes neurais profundas (YOLOv4)</li> </ul>
Attaran e Celik (2023)	<i>Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Níveis de integração</li> <li>• Modelo digital, sombra digital e GD</li> <li>• IA, IoT, computação de nuvem e realidade estendida</li> </ul>
Opoku <i>et al.</i> (2023)	<i>Barriers to the adoption of digital twin in the construction industry: A literature review</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barreiras relacionadas à indústria e às tecnologias</li> </ul>
Radzi <i>et al.</i> (2023)	<i>Relationship between digital twin and building information modeling: A systematic review and future directions</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BIM como subconjunto de GD</li> </ul>
Schönfelder <i>et al.</i> (2023)	<i>Automating the retrospective generation of as-is BIM models using machine learning</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algoritmos de aprendizado de máquina</li> <li>• Fonte de dados para modelagem da edificação existente</li> <li>• Nuvem de pontos, desenhos, imagens e textos</li> </ul>
Tuhaise, Tah e Abanda (2023)	<i>Technologies for digital twin applications in construction</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camada de aquisição de dados</li> <li>• Camada de transmissão</li> <li>• Camada de modelagem digital</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora.

Os principais tópicos dos estudos prévios analisados estão dispostos a seguir.

#### a) Níveis dos gêmeos digitais

Os níveis de desenvolvimento e maturidade para GD são apresentados conforme Boje *et al.* (2020), que propuseram um modelo em três níveis:

- **Geração 1** – tentativa inicial de GD, plataformas de monitoramento proporcionam a detecção do físico, com relatórios e recursos de análise.
- **Geração 2** – plataformas semânticas e inteligentes, com monitoramento aprimorado usando linguagem *web* comum e IoT integrada, processo de otimização realizado por seres humanos.
- **Geração 3** – ápice da implementação de GD, representa um GD totalmente semântico, utilizando o conhecimento adquirido com o uso de IA. São necessários aprendizado de máquina, aprendizado profundo, mineração de dados e recursos de análise para construir uma tabela de autoatualização, autossuficiência e autoaprendizagem.

Rasheed, San e Kvamsda (2020) relacionam os papéis dos GD da seguinte forma:

1. **Gêmeo virtual:** criação de representação virtual de ativo físico ou dispositivos na nuvem.
2. **Gêmeo preditivo:** modelos baseados em física, dados ou híbridos, operando o gêmeo virtual para prever o comportamento do ativo físico.
3. **Projeção gêmea:** integração de percepções geradas pelo gêmeo preditivo nas operações e processos.

Opoku *et al.* (2021) avançam na pesquisa em relação aos conceitos dos GD, apresentando definições, comparando áreas de aplicação e relacionando tecnologias necessárias para sua implementação, e destacam a modelagem de alta fidelidade e simulação baseada em modelos. Os autores apresentam categorias de adoção dos GD orientados a projeto, construção, gestão de instalações e preservação (Opoku *et al.*, 2022) e, após, elencam barreiras para a implantação de GD relacionadas a indústria, tecnologias, empresas de construção e partes interessadas (Opoku *et al.*, 2023). Casini (2022), por sua vez, apresenta uma revisão das tecnologias e aplicações de VR, AR e realidade mista (MR) para operação e manutenção de edifícios inteligentes.

## b) Gêmeos digitais e BIM

Um grupo de estudos relacionou e comparou as ferramentas BIM ao conceito de GD. Boje *et al.* (2020) analisaram as aplicações do BIM (níveis de maturidade) durante a

fase de construção, destacando os limites e os requisitos necessários para a geração dos GD, propondo três níveis de evolução e apresentando as habilidades dos GD diante dos seus três componentes essenciais – físico-dados-virtual. Delgado e Oyedele (2021) compararam as principais diferenças entre BIM e GD, propondo tais tecnologias como complementares para arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO). El-Din *et al.* (2022), com base no padrão ISO 19650, apresentaram uma estrutura para o desenvolvimento de GD para ativos de construção distribuído em quatro partes: 1) modelo de informação do projeto (*project information model* [PIM]); 2) modelo de informação dos ativos (*asset information model* [AIM]); 3) monitoramento em tempo real<sup>4</sup> (RT, do inglês *real time*) usando fluxos de ambiente de dados comum (*common data environment* [CDE]) e uso de IoT e rede de sensores sem fio (*wireless sensor networks* [WSN]); e 4) uso dos dados coletados. Radzi *et al.* (2023) apresentaram o BIM como um subconjunto do conceito GD, uma ferramenta de partida para o processo de geminação na construção.

### **c) Integração BIM e internet das coisas**

A integração BIM e IoT levou à utilização de GD na construção. O estudo de caso do West Cambridge Campus (Deng; Menassa; Kamat, 2021) apresenta contribuições sobre integração BIM e IoT para ambientes internos. Mannino, Dejaco e Cecconi (2021) revisam BIM, IoT e WSN para competência central de FM, a qual se concentra na proteção do meio ambiente e das pessoas que usam a instalação, minimizando riscos e responsabilidades e impactando positivamente todas as partes interessadas.

Em concordância, Altohami *et al.* (2021) revisaram a integração BIM-IoT para monitoramento de edificações inteligentes e estrutura BIM com integração de sensores para melhorar o desempenho do edifício para a perspectiva dos ocupantes.

Segundo Shishehgarkhaneh *et al.* (2022), o desenvolvimento de estruturas de GD geralmente envolve a integração IoT, BIM e modelos de elementos finitos. Essas estruturas fornecem atualizações praticamente em RT para melhorar o gerenciamento da construção. D'Amico *et al.* (2022) revisam e classificam os protocolos e formatos de comunicação que impulsionam essa integração de dados.

---

<sup>4</sup> Tempo real, ou *real-time* (RT), em inglês, é um termo utilizado para descrever um sistema no qual os estímulos recebidos exigem respostas correspondentes em um intervalo de tempo específico. Essa definição pode ser equiparada a um sistema de estímulos e respostas, no qual cada estímulo deve desencadear uma resposta dentro de um prazo predeterminado (Sommerville, 2010).

Bortolini *et al.* (2022), por sua vez, apresentam uma revisão da aplicação dos GD para eficiência energética dos edifícios, classificando a aplicação em quatro categorias: otimização do projeto, conforto do ocupante, operação e manutenção de edifícios, e simulação do consumo de energia. Conforme Siccardi e Villa (2022), a integração de BIM e IoT é a base para a criação dos GD, considerados os promotores da transformação digital no setor da construção.

#### **d) Inteligência artificial**

Os estudos mais recentes acerca dos GD na construção relacionam o uso de IA, algoritmos de aprendizagem, redes neurais artificiais e redes neurais profundas. Schönfelder *et al.* (2023) relacionaram o uso de algoritmos de aprendizagem de máquina que promovem a identificação de objetos para enriquecimento semântico do modelo virtual. Já Arowoia, Moehler e Fang (2023) revisaram a aplicação de GD para conforto térmico e consumo de energia em edifícios existentes, com o aprimoramento de soluções centradas nos seres humanos com o intuito de facilitar sensações térmicas e interação com ocupantes, relacionando a utilização de algoritmos de redes neurais artificiais, IA e redes neurais profundas. Em seu trabalho, Attaran e Celik (2023) apresentam conceitos de GD em diferentes setores e o potencial da automação inteligente com o uso de tecnologias como IA, IoT, computação em nuvem e realidade estendida. Por fim, Tuhaise, Tah e Abanda (2023) identificaram tecnologias e as dividiram em: camada de transmissão, camada de modelagem digital e camadas de aquisição de dados.

As publicações incluídas são apresentadas no Quadro 5, incluindo autoria, ano de publicação, título do artigo e tópicos relacionados. Suas principais contribuições são apresentadas no desenvolvimento das seções 2.3 a 2.5 e o relatório completo encontra-se no Apêndice B.

Quadro 5 - Contribuições das publicações incluídas

(Continua)

<b>Autor/ano</b>	<b>Artigo</b>	<b>Tópicos</b>
Kim, Schiavon e Brager (2018)	<i>Personal comfort models: A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coleta de dados de modelos de conforto pessoal</li> </ul>



(Continuação)

Autor/ano	Artigo	Tópicos
Khajavi <i>et al.</i> (2019)	<i>Digital twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensores</li> <li>● iBeacon</li> <li>● Gateway raspberry</li> <li>● Comunicação BLE</li> </ul>
Arslan, Cruz e Ginhac (2019)	<i>Visualizing intrusions in dynamic building environments for worker safety</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BLE beacons</li> <li>● IFC</li> <li>● Dynamo</li> <li>● Revit</li> </ul>
Zaballos <i>et al.</i> (2020)	<i>A smart campus' digital twin for sustainable comfort monitoring</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● IoT plataformas</li> <li>● Parâmetros de monitoramento ambiental</li> </ul>
Moretti <i>et al.</i> (2020)	<i>An openBIM approach to IoT integration with incomplete as-built data</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensores</li> <li>● Sistemas open BIM</li> <li>● IFC</li> </ul>
Seghezzi <i>et al.</i> (2021)	<i>Towards an occupancy-oriented digital twin for facility management: Test campaign and sensors assessment</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensores de monitoramento de ocupação do ambiente interno</li> </ul>
Moretti <i>et al.</i> (2021)	<i>GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coordenadas GEOBIM para mapeamento interno</li> <li>● Condicionantes dos espaços internos</li> </ul>
Garcia <i>et al.</i> (2022)	<i>Aplicação de gêmeos digitais na indústria da construção: estado da arte</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dispositivos</li> <li>● Conectividade</li> <li>● Processamento</li> </ul>
Martins <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twin para a gestão inteligente de edifícios: o caso do Smart Office do Built Colab</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Scan to BIM</li> <li>● Sensores</li> <li>● Integração de dados</li> </ul>
Daniotti <i>et al.</i> (2022)	<i>The development of a BIM-based interoperable toolkit for efficient renovation in buildings: From BIM to digital twin</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BIM4EEB</li> <li>● Sphere plataforma GD</li> </ul>
Tan <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twin-driven approach to improving energy efficiency of indoor lighting based on computer vision and dynamic BIM</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensores de percepção de pedestres</li> <li>● Algoritmo YOLOv4</li> </ul>
Wildenauer <i>et al.</i> (2022)	<i>Building-as-a-service: Theoretical foundations and conceptual framework</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conceito BaaS</li> </ul>
Zhao <i>et al.</i> (2022)	<i>Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estrutura conceitual de GD para operação e manutenção</li> </ul>
Fialho <i>et al.</i> (2022)	<i>Development of a BIM and IoT-based smart lighting maintenance system prototype for universities' FM sector</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Manutenção reativa</li> <li>● CAFM</li> <li>● API</li> <li>● Revit</li> <li>● Dynamo</li> </ul>

(Conclusão)

<b>Autor/ano</b>	<b>Artigo</b>	<b>Tópicos</b>
Hosamo <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twin of HVAC system (HVACDT) for multiobjective optimization of energy consumption and thermal comfort based on BIM framework with ANN-MOGA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Rede neural artificial (ANN)</li> <li>● Algoritmo MOGA</li> <li>● Manutenção de sistemas HVAC</li> </ul>
Agrawal <i>et al.</i> (2023)	<i>Digital twin: Where do humans fit in?</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Níveis de automação</li> <li>● Interação humana</li> </ul>
Hosamo <i>et al.</i> (2023a)	<i>Digital twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conforto dos ocupantes</li> <li>● Redes bayesianas</li> </ul>
Harode, Thabet e Dongre (2023)	<i>A tool-based system architecture for a digital twin: A case study in a healthcare facility</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Power BI Desktop</li> <li>● Serviços Azure</li> </ul>
Hosamo <i>et al.</i> (2023b)	<i>Improving building occupant comfort through a digital twin approach: A Bayesian network model and predictive maintenance method</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conforto dos ocupantes</li> <li>● Redes bayesianas</li> <li>● Manutenção do sistema HVAC</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados apresentados contribuíram para a formação dos conhecimentos dispostos nas próximas seções.

## 2.2 GÊMEOS DIGITAIS

O programa Apollo, da National Aeronautics and Space Administration (NASA), em 1970, introduziu o conceito de “gêmeos” por meio de dois veículos espaciais idênticos: um ficou no espaço e o outro ficou na Terra, permitindo o espelhamento das condições do veículo durante a missão (Opoku *et al.*, 2021).

Anos depois, em 2003, Michael Grieves, na Universidade de Michigan, em um curso de gerenciamento total do ciclo de vida de um produto, introduziu o conceito de equivalente digital de um produto físico, cunhando o conceito dos *digital twins* – gêmeos digitais (Grieves, 2019).

Os GD foram explorados em diferentes áreas de interesse, por exemplo, nos setores automotivo, aeroespacial, agricultura, mineração, serviços públicos, varejo, saúde, militar, recursos naturais, segurança pública e construção (Attaran; Celik, 2023). Dessa forma, um amplo espectro de conceituações foi se constituindo. Para

fins de esclarecimentos, no Quadro 6 são categorizadas definições e áreas de aplicação, de forma cronológica, conforme Opoku *et al.* (2023).

Quadro 6 - Definições de gêmeos digitais

(Continua)

Área	Definição	Ano	Autores
Simulações integradas NASA	Uma abordagem combinada de simulação probabilística multiescala e multifísica, utilizada para modelar um sistema que emprega os modelos físicos mais acessíveis, informações de sensores em RT, histórico da frota e similares. Essa metodologia visa refletir fielmente a vida de um “gêmeo voador” simulado.	2010	Shafto <i>et al.</i> (2010)
Fuselagem	Um modelo abrangente, desde a concepção até o descarte, é desenvolvido para uma estrutura de aeronave, com a capacidade de atender a todos os requisitos da missão. Inclui submodelos para eletrônica, controles de voo, sistema de propulsão e outros subsistemas relevantes.	2012	Tuegel (2012)
Fabricação preditiva	Um modelo acoplado da máquina real é implementado na plataforma de nuvem, utilizando algoritmos analíticos orientados a dados e conhecimentos físicos disponíveis, a fim de simular as condições de saúde da máquina.	2013	Lee <i>et al.</i> (2013)
Gestão de saúde estrutural aeroespacial	Um paradigma de certificação e gerenciamento de vida é adotado, no qual modelos e simulações são utilizados para compreender o estado do veículo construído, as cargas e os ambientes experimentados, juntamente ao histórico específico do veículo. Isso permite a modelagem de alta fidelidade de veículos aeroespaciais individuais ao longo de toda a sua vida útil.	2014	Hochhalter <i>et al.</i> (2014)
Manufatura industrial	Um modelo altamente realista é desenvolvido para representar o estado atual do processo, assim como seus comportamentos durante a interação com seu ambiente no mundo real.	2015	Rosen <i>et al.</i> (2015)
Projeto de sistemas	Uma simulação da própria entidade física é realizada para possibilitar a previsão do estado futuro do sistema.	2016	Gabor <i>et al.</i> (2016)
Gerenciamento do ciclo de vida de um produto	Uma descrição completa de um produto real ou potencial é criada fisicamente, utilizando um conjunto de informações virtuais que abrangem desde o nível microatômico até o nível macrogeométrico, para a sua construção física.	2017	Grieves e Vickers (2017)
Fabricação inteligente	O modelo digital de alta fidelidade e multidomínio é desenvolvido, integrando diversas áreas como mecânica, elétrica, hidráulica e múltiplas disciplinas de controle.	2018	Luo <i>et al.</i> (2018)
Arquitetura para sistemas físicos cibernéticos	A versão digital de uma entidade física é criada, estabelecendo conexões e sincronizando os elementos e a dinâmica do sistema relacionados à operação do ciclo de vida no ambiente do sistema.	2019	Borth, Verriet e Muller (2019)

(Conclusão)

Área	Definição	Ano	Autores
Segurança do ambiente de trabalho	Forma digital de um ativo físico que coleta dados em RT da entidade e apresenta informações que não são diretamente coletadas usando <i>hardware</i> .	2020	Fotland, Haskins e Rølvåg (2020)
Construção	Semelhante ao BIM, mas seus propósitos, tecnologias, usuários finais e tipos de dados são diferentes. Os GD utilizam dados em RT, enquanto o BIM trabalha com dados estáticos.	2021	Opoku <i>et al.</i> (2021)
Construção	A representação em RT de uma estrutura ou edifício completamente ou parcialmente concluído, que reflete o caráter e o estado da estrutura ou edifício.	2022	Opoku <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Elaborado pela autora com base em Opoku *et al.* (2023).

Segundo Rasheed, San e Kvamsda (2020), um GD é definido como uma representação virtual de um ativo físico habilitado por meio de dados e simuladores para prever, otimizar, monitorar, controlar e auxiliar a tomada de decisão em RT. Entende-se que a troca de dados pode ocorrer em qualquer direção, ou seja, do modelo digital para sua contraparte física, vice-versa, ou em ambas as direções (Schönfelder *et al.*, 2023).

No processo de associação entre o físico e virtual, Kritzinger *et al.* (2018) identificaram três possibilidades de níveis de integração (Figura 3), levando em consideração os diferentes formatos de manejo de dados e as tecnologias necessárias para aplicação, sendo elas: modelo digital, sombra digital e GD.

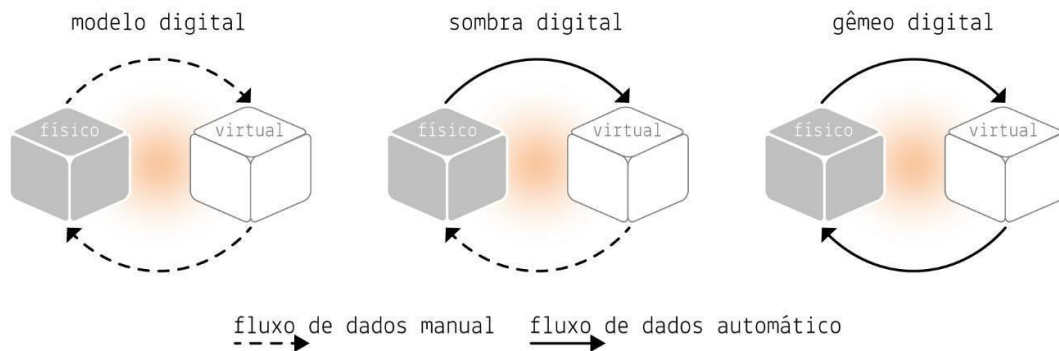
O **Modelo Digital** é a representação digital de um objeto físico existente ou projetado, onde não ocorre nenhuma forma de troca automatizada de dados entre o objeto físico e sua contraparte digital. Portanto, qualquer alteração no estado do objeto físico não afeta diretamente o objeto digital e vice-versa.

A **Sombra Digital** parte da mesma definição anterior, porém a presença de um fluxo unidirecional automatizado de dados entre um objeto físico e sua contraparte digital. Nesse contexto, uma mudança no estado do objeto físico afeta o estado do objeto digital, mas não ocorre o inverso.

O **Gêmeo Digital** permite a integração bidirecional dos fluxos de dados entre um objeto físico e seu equivalente digital, nesse caso, o objeto digital desempenha o papel de controle do objeto físico, havendo também a possibilidade de outros objetos

físicos ou digitais influenciarem seu estado. Assim, qualquer alteração no objeto físico reflete diretamente no estado do objeto digital, e o oposto também ocorre.

Figura 3 - Nível de integração e fluxo de dados



Fonte: Elaborada pela autora com base em Kritzinger *et al.* (2018).

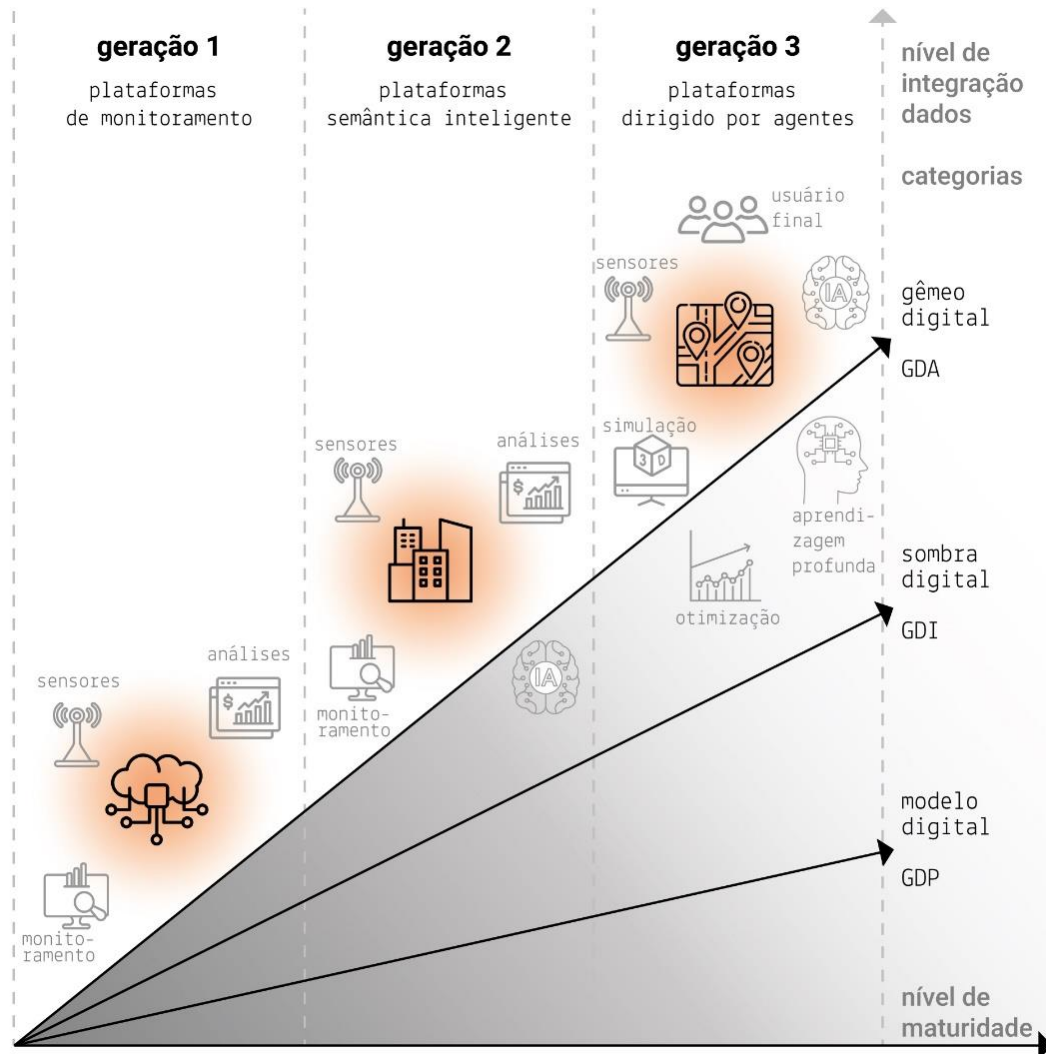
Para Grieves e Vickers (2017), os GD podem ser categorizados em três tipos: gêmeo digital protótipo (GDP), gêmeo digital instanciado (GDI) e gêmeo digital agregado (GDA). O GDP é construído como um modelo digital de um objeto que não foi produzido ou construído no mundo físico; o GDI é um gêmeo digital em si; e o GDA é a combinação de vários gêmeos virtuais (Arowoia; Moehler; Fang, 2023; Grieves; Vickers, 2017).

A partir da interseção dos conceitos explorados na literatura, entende-se os níveis de gerações de GD correlacionados da seguinte forma: na primeira geração (G1), pode ser correlacionada ao nível de modelo digital e GDP; nessa etapa, o modelo digital pode ou não ter sido construído no mundo físico, sendo possível analisar e monitorar sem troca automatizada de informações. Na segunda geração (G2), as informações são adquiridas por meio de sistemas *web* comum e IoT; nesse estágio, os dados são automatizados, porém ainda processados e otimizados por seres humanos, o que faz com que esse estágio corresponda à definição de sombra digital, na qual o fluxo de informações automatizadas é unidirecional, e seja intermediário, correlacionando-se à descrição de GDI. Por fim, a terceira geração (G3) é o estágio mais avançado de implantação de um GD; nesse estágio, o sistema utiliza aprendizagem de máquina e aprendizagem profunda, e a mineração dos dados é feita com uso de IA; aqui, atinge-se o ápice, tem-se a automação bidirecional, sendo considerado o estágio da autoatualização, autossuficiência e autoaprendizagem,

correspondendo, assim, ao GDA, no qual são explorados os usos integrados de mais de um GD.

A Figura 4 apresenta um infográfico dessa possível integração dos conceitos de GD e níveis de integração das tecnologias encontrados na literatura.

Figura 4 - Evolução dos gêmeos digitais



Fonte: Elaborada pela autora com base em Arowoia, Moehler e Fang (2023); Boje *et al.* (2020); Kritzing *et al.* (2018); e Rasheed, San e Kvamsda (2020).

O conceito apresentado por Attaran e Celik (2023) alinha-se aos objetivos desta pesquisa – os autores expõem que o GD se consolidou na indústria em decorrência das tecnologias emergentes e das transformações digitais, sendo capaz de espelhar praticamente todas as facetas de produtos, processos ou serviços, tendo o potencial

de replicar o mundo físico no espaço digital e fornecer previsões aos responsáveis por operações.

Segundo Rasheed, San e Kvamsda (2020), o GD na construção está habilitado, por meio do manejo dados, a auxiliar a tomada de decisão aprimorada, simulando, prevendo, controlando e monitorando interferências em RT. Por ser considerado uma representação virtual de um ativo físico, o conceito dos GD foi associado à tecnologia BIM – a seção a seguir retrata essa evolução a partir dessa perspectiva.

### 2.2.1 Gêmeos digitais e o BIM

Segundo Boje *et al.* (2020), relacionado ao ambiente construído, a implementação do GD começa com o BIM, que é um subcomponente, no qual o modelo digital da edificação é enriquecido pela adição de capacidades de sensorização, *big data* e IoT. Radzi *et al.* (2023) comparam os aspectos e estabelecem o BIM como uma ferramenta dos GD (Quadro 7). Compreende-se que os GD podem ser aplicados em todas as fases de ciclo de vida de uma edificação, porém, a integração das tecnologias BIM e IoT potencializou sua implementação para o gerenciamento de ambientes internos (Deng; Menassa; Kamat, 2021).

Quadro 7 - Comparação entre gêmeos digitais e *building information modeling*

(Continua)

Aspecto	GD	BIM
Definição	Representação digital conectada e sincronizada de ativos, processos e sistemas para entender e prever possíveis problemas no ciclo de vida.	Representação digital do que será construído em um projeto de construção.
Simulações	Resposta operacional em RT.	Sem sincronização em RT.
Conceito	Interação de pessoas com ambientes construídos.	Visualização na fase de projeto e na fase de construção.
Valores	Manutenção preditiva; avaliação de cenários e riscos; sistema de apoio à decisão informado; avaliação do conforto dos ocupantes.	Redução de custos; produtividade aumentada; interoperabilidade das partes interessadas.

(Conclusão)

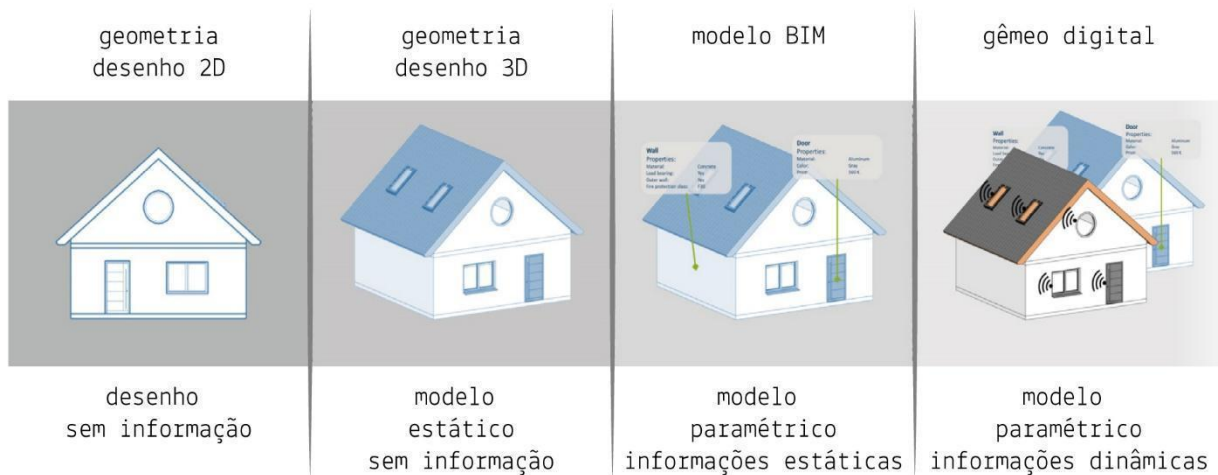
Aspecto	GD	BIM
Fase ciclo de vida	Fases de operações e manutenção.	Fases de planejamento; projeto; construção e demolição.
Usuários	Arquitetos e gerentes de instalações.	Arquitetos, engenheiros, desenvolvedores e gerentes de instalações

Fonte: Adaptado de Radzi *et al.* (2023, p. 4).

Tanto o BIM quanto a IoT permitiram o desenvolvimento de GD na construção, promovendo o movimento do FM de uma abordagem reativa – quando determinado sistema ou equipamento apresenta um problema, ocasionando a paralisação para manutenção – para uma abordagem preditiva (Fialho *et al.*, 2022). Isso significa que os problemas podem ser monitorados, acompanhados e solucionados antes que aconteçam, causando menos implicações e transtornos.

O diferencial que se destaca na relação de um modelo BIM para um GD é a forma como as informações são administradas em ambos os modelos paramétricos – o GD interage com informações dinâmicas, diferentemente do modelo BIM, no qual são adicionadas ou retiradas informações estáticas, a Figura 5 ilustra essa relação.

Figura 5 - Níveis de informação entre diferentes representações do edifício



Fonte: Adaptada de Schönfelder *et al.* (2023, p. 3).



À medida que o BIM é uma estrutura padronizada projetada para o ambiente construído, os GD adicionam aos modelos BIM existentes a possibilidade de caracterizar elementos complexos que não estão incluídos nos projetos de construção, mas fazem parte do ambiente construído de forma abrangente nas diferentes fases do ciclo de vida das construções (El-Din *et al.*, 2022). A próxima seção apresenta os fatores que impulsionam o uso de GD nesses diferentes ciclos de uma edificação, bem como no foco desta pesquisa, a fase de operação e manutenção do ambiente construído.

### 2.2.2 Fatores de adoção dos gêmeos digitais

A adoção de GD na construção é impulsionada por fatores identificados, conforme apontado por Opoku *et al.* (2022). Esses fatores são categorizados de acordo com os ciclos de vida de uma edificação, conforme explicado a seguir.

**Fatores orientados ao conceito** (Projeto) são considerados condicionantes base para a adoção de GD na construção, definidos como estágio de tomada de decisão. Já os **fatores orientados à produção** (Construção) representam uma etapa de concretização do projeto e visam garantir que a integridade do que foi proposto seja alcançada e aprimorada. Entende-se, dessa forma, que esses dois fatores de implementação se vinculam com maior intensidade ao projeto nas etapas de implementação, desenvolvimento e execução (Opoku *et al.*, 2022).

Em contrapartida, segundo os autores, os **fatores orientados ao sucesso operacional** (Gerenciamento de instalações), estabelecem uma relação mais próxima com os usuários, visto que são implementados em edificações existentes e ocupadas, visando à predição de situações críticas e melhora no fluxo de informações entre *stakeholders*. Segundo Opoku *et al.* (2021), nessa fase, as aplicações podem lidar de forma preditiva com os desafios antes que eles ocorram, sendo os GD aplicados no gerenciamento de instalações, gerenciamento de manutenção, monitoramento, processos logísticos e simulação energética do projeto. A adoção de GD nessa etapa também objetiva garantir o conforto dos ocupantes de um edifício, por meio de monitoramento aprimorado do ambiente, e, para isso, podem ser adotados parâmetros de condições ambientais e pessoais, como: temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, iluminância, níveis de ruído, satisfação pessoal e ergonomia. A adoção de GD melhora a eficiência operacional de edifícios com base em dados

coletados em RT, aperfeiçoando a tomada de decisão bem informada (Khajavi *et al.*, 2019).

Por fim, os **fatores orientados à preservação** (Restauro/Reconstrução) focam na preservação e conservação do ativo físico para uso futuro, condicionantes de preservação do patrimônio, aprimoramento de renovações e criação de comunidades sustentáveis são consideradas. Essa tipologia de ativos apresenta vantagens ambientais e econômicas em relação à construção de novos edifícios, assim, a adoção de GD para restauração pode aperfeiçoar a compreensão dos requisitos do ativo a serem renovados, mantidos ou descartados (Opoku *et al.*, 2022). O Quadro 8 descreve os fatores, distribuídos de acordo com as categorias supracitadas.

Quadro 8 - Fatores de impulso para adoção de gêmeos digitais na construção

(Continua)

Categorias	Fatores de impulso
<p><b>Projeto</b> Fatores orientados ao conceito</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Redução geral do processo de design</li> <li>● Tomada de decisão aprimorada</li> <li>● Sustentabilidade no projeto de design</li> <li>● Estimular a transformação digital</li> <li>● Melhoria na entrega de informações de design</li> <li>● Melhoria na seleção de materiais</li> <li>● Possibilitar serviços inteligentes</li> <li>● Garantir um planejamento eficaz do projeto</li> <li>● Fornecer soluções técnicas</li> <li>● Análise de elementos finitos de estruturas existentes</li> <li>● Criação de valor de ativos</li> <li>● Suporte social</li> <li>● Capacidade de aperfeiçoar dados de construção</li> </ul>
<p><b>Construção</b> Fatores orientados à produção</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gerenciamento de riscos de segurança</li> <li>● Redução de custos de construção</li> <li>● Aprimorar o monitoramento e simulações logísticas</li> <li>● Compreender as ações estruturais</li> <li>● Redução de riscos logísticos</li> <li>● Melhoria na qualidade do produto</li> <li>● Colaboração eficaz entre as partes interessadas</li> <li>● Entrega de novos produtos ou serviços</li> <li>● Melhor gerenciamento de projetos</li> <li>● Controle de saída de sistemas complexos</li> <li>● Aperfeiçoamento da pré-fabricação de ativos</li> <li>● Redução de lesões não fatais</li> <li>● Melhoria nas atividades de gestão</li> <li>● Gerenciamento eficaz das partes interessadas</li> </ul>
<p><b>Gerenciamento de instalações</b> Fatores orientados ao sucesso operacional</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gerenciamento de energia aprimorado</li> <li>● Monitoramento contínuo de ativos</li> <li>● Manutenção preditiva aprimorada</li> <li>● Gerenciamento de ativos no mundo real</li> </ul>

(Conclusão)

Categorias	Fatores de impulso
<p><b>Gerenciamento de instalações</b> Fatores orientados ao sucesso operacional</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Melhoria na eficiência operacional do projeto</li> <li>● Automação e controle em RT</li> <li>● Melhor desempenho operacional do projeto</li> <li>● Conexão em RT de produtos e sistemas</li> <li>● Manutenção do conforto dos ocupantes</li> <li>● Desenvolvimento de capacidades de autoaprendizagem</li> <li>● Custo operacional aprimorado</li> <li>● Melhoria na exposição ergonômica de autogerenciamento</li> <li>● Sistemas seguros</li> <li>● <i>Feedback</i> para melhorar a satisfação pessoal</li> <li>● Melhoria nas condições climáticas</li> </ul>
<p><b>Restauração/Reconstrução</b> Fatores orientados à preservação</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Informações de <i>status</i> proativas e precisas</li> <li>● Preservação do patrimônio cultural</li> <li>● Retrofit de construções aprimorado</li> <li>● Aperfeiçoamento de trabalhos de renovação</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora com base em Opoku *et al.* (2022).

Compreende-se que os fatores de impulso mencionados nas duas categorias (gerenciamento de instalações e restauração/reconstrução) englobam as condições existentes na fase de operação e manutenção de uma edificação. Segundo Opoku *et al.* (2021), essa fase é marcada pela perda parcial do controle dos processos, além disso, a implementação dos projetos necessários nessa etapa demanda a participação de múltiplos interessados, o que dificulta a integração das informações.

Sendo o objetivo deste estudo compreender as contribuições voltadas ao ordenamento de **atividades internas** de operações e manutenções de ambientes construídos, a seguir, são organizadas as potenciais categorias teóricas que são objeto da investigação.

### 2.3 CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS

A inclusão desta seção ocorreu de maneira assistemática devido à necessidade de categorizar os diferentes tipos de manutenções a serem tratadas nesta investigação. As contribuições apresentadas são resultado de pesquisas e participações em eventos que ocorreram entre novembro e dezembro de 2023.

Durante o ciclo de vida de uma edificação, ocorrerão estágios diferentes de degradação. Por consequência, os ambientes construídos internos são alvo de

intervenções operacionais, que podem ser separadas em ações de manutenção, conforme estabelecido pela NBR 5462 (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 1994), ou alterações internas, correspondentes a novas propostas de leiaute e alterações de uso (Luz, 2022). O Quadro 9 reúne essas ações relacionadas ao ambiente construído.

Quadro 9 - Condições operacionais para ambiente construído

Condições operacionais	
<b>Ações de manutenção (ABNT, 1994)</b>	
Quanto ao tipo de manutenção	
a.	Manutenção preventiva <ul style="list-style-type: none"> <li>● Manutenção programada</li> </ul>
b.	Manutenção corretiva (reativa) <ul style="list-style-type: none"> <li>● Manutenção não programada</li> <li>● Manutenção deferida</li> </ul>
c.	Manutenção controlada/preditiva
Quanto ao local	
d.	Manutenção de campo
e.	Manutenção fora do local de utilização
f.	Manutenção remota
g.	Manutenção automática
Quanto ao funcionamento	
h.	Afetando o funcionamento <ul style="list-style-type: none"> <li>● impedindo o funcionamento</li> <li>● degradando o funcionamento</li> </ul>
i.	Manutenção permitindo o funcionamento
<b>Alteração extemporânea (Luz, 2022)</b>	
a.	Alteração de leiaute
b.	Alteração de uso

Fonte: Elaborado pela autora.

As definições das condições operacionais são descritas quanto ao tipo de manutenção (ABNT, 1994):

- a. **Manutenção preventiva:** efetuada em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios, destina-se a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item. Essa manutenção pode ser **programada** e efetuada de acordo com um programa preestabelecido.
- b. **Manutenção corretiva (reativa):** efetuada após a ocorrência de uma pane, destina-se a recolocar um item em condições de executar sua função. As manutenções reativas são consideradas **não programadas**, sendo executadas

após o recebimento da informação sobre o estado do item. Também podem ser **deferidas**, o que significa que a manutenção não é iniciada imediatamente após a detecção da falha.

- c. **Manutenção controlada (preditiva):** permite garantir a qualidade de serviço almejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se meios de supervisão centralizados ou de amostragem, a fim de reduzir as manutenções preventivas e corretivas.

Quanto ao local e de que forma as manutenções ocorrem, são descritas da seguinte maneira:

- d. **Manutenção no campo:** efetuada no local onde o item é utilizado.
- e. **Manutenção fora do local de utilização:** efetuada em um local diferente daquele em que o item é utilizado.
- f. **Manutenção remota:** efetuada sem acesso direto de pessoal ao item.
- g. **Manutenção automática:** efetuada sem intervenção humana.

Quanto ao funcionamento, as manutenções são consideradas:

- h. **Manutenção afetando o funcionamento:** ação que interrompe ou degrada uma ou mais funções requeridas do item objeto da manutenção. Esta condição está subdividida em dois tipos: **impedindo o funcionamento**, que impede um item de desempenhar qualquer função requerida, por causar a perda completa de todas as funções; e **degradando o funcionamento**, que degrada ou impede o desempenho de uma ou mais funções requeridas de um item, porém sem causar a perda de todas as funções.
- i. **Manutenção permitindo o funcionamento:** quando não são interrompidas nem degradadas as funções requeridas de um item.

Por fim, as **alterações extemporâneas** compreendem “arquiteturas resultantes de projetos ou obras realizadas em tempos distintos que coexistem numa mesma edificação ou num mesmo conjunto edificado” (Luz, 2022, p. 9).

A partir das condições operacionais levantadas, constituiu-se o quadro teórico que será utilizado como referência para o cruzamento de informações coletadas nas próximas etapas. A seção a seguir relaciona as necessidades dos ocupantes ao ambiente construído interno.

### 2.3.1 Ambientes construídos internos e necessidades dos ocupantes

O ambiente construído, criado e gerenciado pelo setor AECO desempenha um importante papel nas atividades humanas, apoiando as necessidades dos ocupantes em termos de trabalho, habitação, lazer ou outras áreas. Segundo Hosamo *et al.* (2022), a criação desses ambientes influencia diretamente os ocupantes, que precisam de edifícios acessíveis, produtivos, saudáveis e confortáveis. Portanto, considerar as condições de conforto dos ocupantes dentro dos edifícios, em termos ambientais, sociais e econômicos, é imprescindível, uma vez que os indivíduos passam um tempo significativo em seu interior.

Nesse sentido, a utilização de GD no ambiente construído, quando concentrada na fase de operação e manutenção (Opoku *et al.*, 2021), é ideal para a identificação de problemas, notificando para que sejam corrigidos antes que se tornem sérios e impactantes ao conforto dos ocupantes (Hosamo *et al.*, 2023a).

Em relação à gestão de espaços internos sob a perspectiva do conforto dos ocupantes, os benefícios para a implementação de GD encontrados na literatura são:

- Resposta às necessidades e desejos de conforto dos indivíduos considerando a integração de modelos de conforto pessoal no controle ambiental interno de edifícios (Kim; Schiavon; Brager, 2018).
- Simulações visando melhorar o conforto dos usuários, otimizando o consumo e a utilização de energia do edifício, fornecendo relatórios sobre ocupação e movimento, possibilitando a tomada de decisão com base em dados (Khajavi *et al.*, 2019).
- Monitoramento ambiental e sistemas de detecção de emoções, investigando a integração de ferramentas BIM com IoT (Zaballos *et al.*, 2020).
- Gestão do desempenho energético, monitoramento do ambiente interno, reconhecimento de atividades, conforto térmico interior, gerenciamento dos espaços, localização de objetos e direcionamento dos ocupantes (Deng; Menassa; Kamat, 2021).
- Otimização do conforto e da eficiência energética do edifício, por meio de controles de iluminação e climatização, com base em múltiplas fontes de informações, mapas de ocupação, temperatura e umidade interior e comportamento dos utilizadores (Martins *et al.*, 2022).

Destaca-se, segundo Hosamo *et al.* (2023a), que fatores físicos e não físicos afetam o nível de conforto experimentado pelos ocupantes em um edifício, incluindo ambientes térmico, visual e acústico, qualidade do ar, leiaute dos espaços e mobiliário, bem como condições de privacidade e limpeza. Assim, a fim de atender as necessidades dos ocupantes na gestão interna do ambiente construído, devem ser considerados percepções, fatores pessoais, que envolvem condições fisiológicas e comportamentais, componentes ambientais relacionados aos condicionantes internos, bem como outros aspectos relacionados a questões culturais e de contexto (Kim; Schiavon; Brager, 2018).

A partir da estrutura proposta pelos autores, a fim de ampliar as categorias amparadas pelas necessidades dos ocupantes, são indicados no Quadro 10 os dados (objetivos da captura) e o tipo de coleta conforme os estudos encontrados.

Quadro 10 - Categorias das necessidades dos ocupantes

(Continua)

<b>Categorias</b>	<b>Dados</b>	<b>Recursos para coleta</b>
<b>Fatores ambientais</b> (Kim; Schiavon; Brager, 2018)		
Ambiente térmico	Temperatura do ar, temperatura radiante média, temperatura operativa, umidade relativa, velocidade do ar	Rede de sensores sem fio (WSN, sistema HVAC)
<b>Aspectos físicos</b> (Hosamo <i>et al.</i> , 2023b)		
Conforto visual	Nível de iluminância	Sensores
Conforto acústico	Indicador de níveis de ruído	Sensores
Conforto térmico	Qualidade do ar interno	Rede de sensores sem fio (WSN, sistema HVAC)
Atributos arquitetônicos	Modelo do edifício, esquadrias, envoltório das fachadas	-
Mobiliário	Ergonomia	
Leiaute do espaço	Usabilidade	
<b>Fatores pessoais</b> (Kim; Schiavon; Brager, 2018)		
Comportamentais	Ligar e desligar ventiladores, aquecedores, ajustar termostato, abrir e fechar janelas, fluxo de movimentações	Rede de sensores sem fio (WSN, sensor de ocupação, pedômetro, rastreador GPS, termostato inteligente)

(Conclusão)

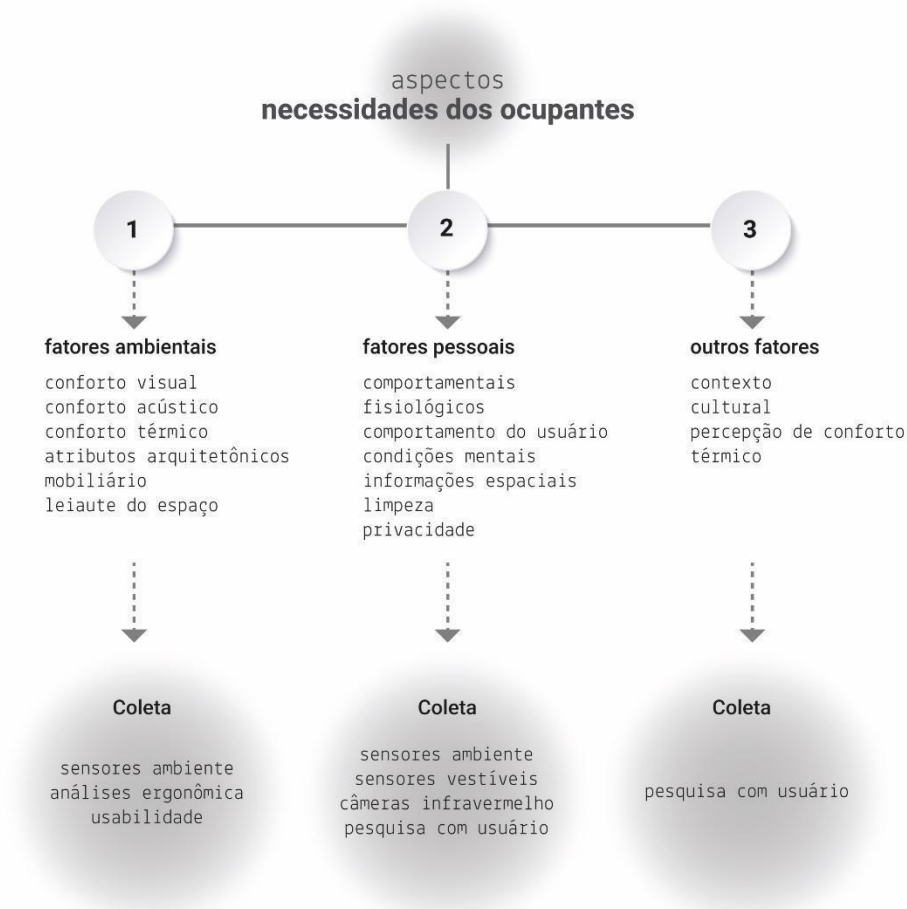
<b>Categorias</b>	<b>Dados</b>	<b>Recursos para coleta</b>
<b>Fatores pessoais</b> (Kim; Schiavon; Brager, 2018)		
Fisiológicos	Temperatura da pele	Sensores vestíveis
		Câmeras infravermelho
	Isolamento da vestimenta	Sensores vestíveis
	Sexo, idade, índice de massa corporal, estado de saúde	Computadores pessoais e dispositivos móveis – pesquisa ( <i>survey</i> )
<b>Aspectos não físicos</b> (Hosamo <i>et al.</i> , 2023b)		
Comportamento do usuário		Computadores pessoais e dispositivos móveis – pesquisa ( <i>survey</i> )
Condições mentais		
Informações espaciais	Relação com o tipo de local – trabalho, habitação, lazer, etc.	
Limpeza		
Móveis	Relação com a estação de trabalho	
Privacidade		
<b>Outros fatores</b> (Kim; Schiavon; Brager, 2018)		
Contexto	Clima local, localização, contexto, tipo de ocupação (por exemplo, privado, compartilhado)	Computadores pessoais e dispositivos móveis – pesquisa ( <i>survey</i> )
Cultura	Histórico térmico, expectativas culturais (por exemplo, código de vestimenta)	
<b>Outros fatores</b> (Kim; Schiavon; Brager, 2018)		
Percepção de conforto térmico	Sensação, preferência, aceitabilidade e prazer	

Fonte: Elaborado pela autora.

Para compor o modelo de conforto do ocupante, segundo Kim, Schiavon e Brager (2018), são necessários dados que expressem a percepção pessoal dos indivíduos e que descrevam as condições ou fatores como são na realidade. Na Figura 6, são apresentados os fatores levantados na literatura como possíveis aspectos a serem abordados como condicionantes para as necessidades dos ocupantes.



Figura 6 - Aspectos condicionantes para as necessidades dos ocupantes



Fonte: Elaborada pela autora.

Identificam-se três grupos de fatores que condicionam as necessidades dos ocupantes: ambientais, pessoais e outros. Para os **fatores ambientais**, segundo Hosamo *et al.* (2023b), deve-se realizar uma avaliação pós-ocupação para coleta de dados e determinação do nível de atendimento às necessidades dos ocupantes; além disso, sensores de ambiente podem prover dados em relação a determinados aspectos. Os **fatores pessoais** comparam-se às necessidades de percepção pessoal demonstrada por Kim, Schiavon e Brager (2018), cujos dados podem ser obtidos por sensores vestíveis, ambientais e por pesquisas realizadas diretamente com os usuários. Já os **outros fatores** envolvem condições culturais, sensações, preferências, aceitabilidade e prazer, e, para coleta desses dados, indica-se a realização de pesquisa com o usuário.

Bolton *et al.* (2018) propõem uma estrutura conceitual chamada de *princípios gemini*, que se destina a auxiliar o desenvolvimento de GD individuais para que

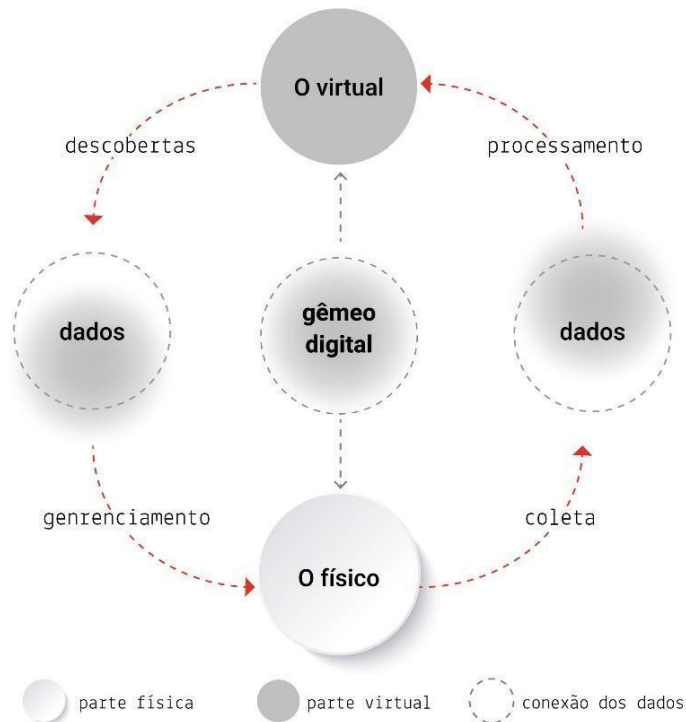
possam integrar um projeto de implantação nacional. Essa estrutura orienta o desenvolvimento do GD em níveis, organizados em três tópicos: propósito, confiança e função. Em relação ao propósito, destaca-se que o objetivo do GD deve começar com as necessidades dos usuários finais, visando ajudar a produzir resultados sociais inclusivos.

A relação entre os dados a serem capturados no espaço físico e a forma como eles serão interpretados, armazenados e utilizados se distribui a partir das relações de componentes do GD, que serão apresentados na próxima seção.

## 2.4 COMPONENTES PARA A CRIAÇÃO DE GÊMEOS DIGITAIS

O paradigma físico-dados-virtual configura os componentes essenciais para a criação de um GD (Grieves, 2014). A relação entre eles é demonstrada na Figura 7, na qual a entidade física está conectada à entidade virtual por meio de protocolos, em um fluxo de coleta de dados, processamento, descobertas e, a partir de novos dados, gerenciamento da entidade física.

Figura 7 - Paradigma de composição do gêmeo digital



Fonte: Elaborada pela autora com base em Boje *et al.* (2020).

Essa estrutura é utilizada por Boje *et al.* (2020) para identificar as habilidades requeridas pelos componentes. Tais habilidades operam durante todo o ciclo de vida de uma edificação, variando em termos de tecnologias e ferramentas utilizadas em cada estágio, conforme apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 - Habilidades dos gêmeos digitais e seus papéis no paradigma físico-dados-virtual

Componente	Habilidade	Descrição
<b>Físico</b>	Sentido	A habilidade de observar o mundo físico em RT por meio do uso de sensores.
	Monitoramento	A habilidade de acompanhar, informar e emitir avisos sobre alterações físicas relevantes.
	Atuação	A habilidade de alterar/ativar/desativar componentes físicos com base em decisões/estímulos virtuais.
<b>Dados</b>	BIM	A habilidade de integrar e consumir conjuntos de dados específicos de BIM em seus vários formatos e padrões.
<b>Dados</b>	IoT	A habilidade de integrar e compartilhar dados comunicados por dispositivos da IoT.
	Conexão dos dados	A habilidade de integrar e compartilhar dados por meio de protocolos da <i>web</i> semântica.
	Armazenamento dos conhecimentos	A habilidade de armazenar fatos sobre o sistema, suportar regras e capacidade de raciocínio.
<b>Virtual</b>	Simular	A habilidade de aplicar modelos de simulação de engenharia de vários domínios de aplicação.
	Prever	A habilidade de prever o comportamento do físico com base em simulações digitais e sensoriamento.
	Otimizar	A habilidade de aplicar métodos de otimização e recomendar alocação inteligente de recursos de forma dinâmica.
	Agência	A habilidade de delegar agentes de IA capazes de gerenciar (e atuar) no físico com base em dados digitais, seguindo comportamentos, protocolos e objetivos bem definidos.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Boje *et al.* (2020).

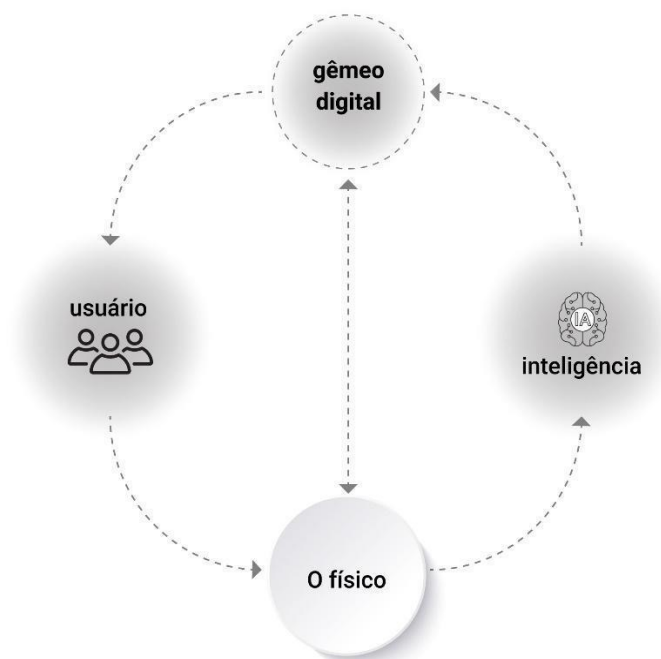
O **componente físico** requer habilidades de sentido, monitoramento e atuação, que se desenvolvem a partir dos recursos de observar o mundo físico em RT por meio de sensores ou capturas da realidade, acompanhar, informar e emitir avisos sobre alterações físicas e, por fim, alterar-ativar-desativar componentes físicos em decisões ou estímulos virtuais (Boje *et al.*, 2020).

Ao **componente dados** atribui-se a necessidade de integrar e consumir conjuntos de dados específicos em diferentes formatos, compartilhar dados comunicados por dispositivos de IoT, compartilhar dados por meio de protocolos *web* semântica e armazenar fatos sobre sistemas, regras de suporte e recursos de raciocínio; isso ocorre por meio de tecnologias BIM, IoT, ferramentas de conexão e armazenamento de dados (Boje *et al.* 2020).

O **componente virtual** demanda a aplicação de modelos de simulação, previsão de comportamentos físicos com base em simulação e sensores digitais, aplicação de métodos de otimização e recomendações inteligentes, uso de agentes de IA capazes de gerenciar e acionar o físico, seguido de protocolos e objetivos bem definidos, sendo capaz de prever ações do mundo real mediante simulação, prevenção, otimização, gerenciamento e atuação (Boje *et al.*, 2020).

O relatório da multinacional Arup (2019a) propõe que, para a interação entre físico e virtual, considere-se atribuir ao componente dados os usuários que são utilizadores e parte do sistema do GD, bem como a IA, que permitirá ao GD executar tarefas com mínima ou nenhuma supervisão humana. Esse fluxo é demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Paradigma de composição atribuição aos dados



Fonte: Elaborada pela autora com base em Arup (2019a).

A fim de ilustrar como essa interação ocorre na realidade, três projetos-piloto relacionados a quais funções estão habilitados, da Arup, são apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 - Projetos-piloto gêmeos digitais

Componente/habilidades	Projetos-piloto
<b>O físico</b>	
Sentido Monitoramento Atuação	Escritório Arup Tóquio (Figura 9)
<b>Os dados</b>	
BIM IoT Conexão dos dados Armazenamento dos conhecimentos	Projeto-piloto <i>Water Cube</i> (Figura 10)
<b>O virtual</b>	
Simular Prever Otimizar Agência	<i>Arup Neuron</i> (Figura 10)

Fonte: Elaborado pela autora.

O projeto-piloto (Figura 9) desenvolvido para o escritório da Arup Tóquio demonstra a captura da realidade por meio de sensores ambientais, sensores de contagem humana e câmera habilitada por IA para detectar emoções. As variáveis monitoradas, como temperatura, movimentação das salas e volume de circulação de usuários por dias da semana, são enviadas para um banco de dados e visualizadas em um painel acessível no espaço de entrada (Arup, 2019a).

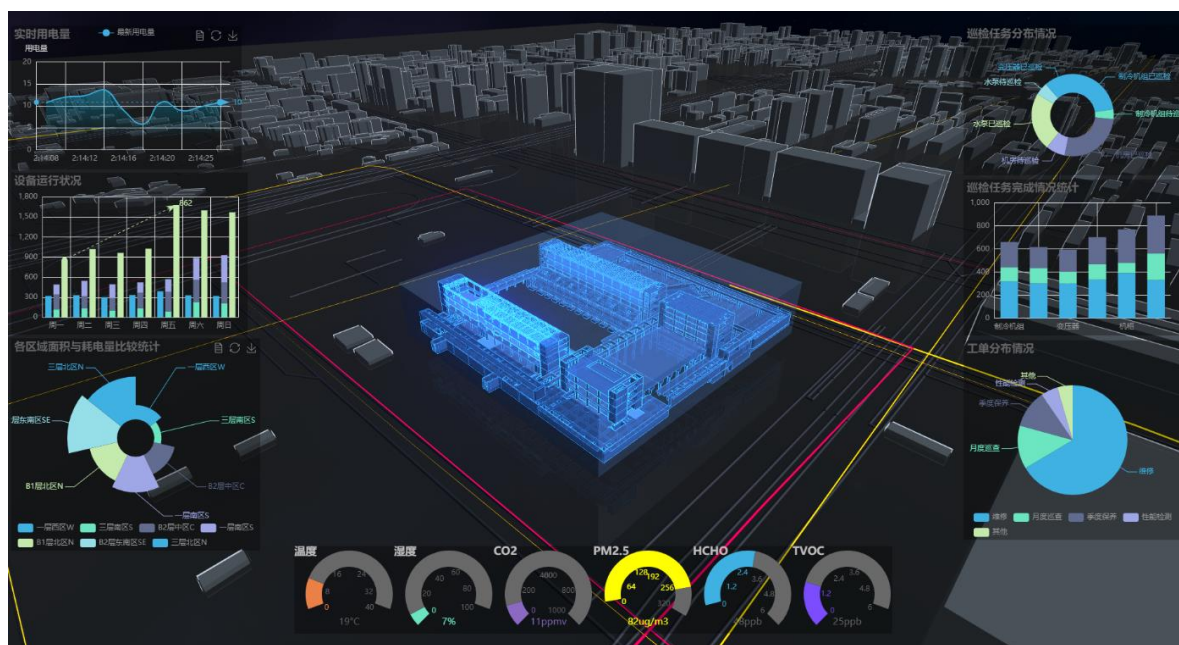
Figura 9 - Físico, sensorização de espaço interno



Fonte: Arup (2019a, p. 75, 77).

O aplicativo *Neuron*, desenvolvido pela Arup, habilitado com inteligência artificial, internet 5G e IoT, coleta dados sensoriais em RT, integra BIM para exibição dos conjuntos de dados e utiliza aprendizagem de máquina para analisar, otimizar e reportar intervenções necessárias ao espaço (Arup, 2019a). A interface do aplicativo permite visualizar em RT os dados coletados, conforme Figura 10.

Figura 10 - Painel de visualização do projeto-piloto *Water Cube*



Fonte: Arup (2019b, documento *on-line*).

O projeto-piloto *Water Cube* foi desenvolvido na edificação executada para os Jogos Olímpicos de Pequim em 2008. Criada para o projeto, a plataforma *Neuron* visava integrar BIM, IoT e análises de operações para futuras instalações esportivas. Por meio de portal *on-line*, é possível monitorar equipamentos, gerenciar manutenções e organização dos usuários, visualizando parâmetros prediais em RT e com gerenciamento central (Arup, 2019b).

Os estudos apresentados elucidam a aplicação prática de GD no ambiente construído, com soluções de monitoramento que consideram a necessidade de ocupantes e usuários. A seção a seguir apresenta o processo de geminação a partir de uma estrutura teórica, sendo possível identificar etapas, camadas e tecnologias necessárias para a criação de GD.

## 2.5 PROCESSO DE GEMINAÇÃO

O processo de geminação é usado para definir o conjunto de atividades necessárias para tornar-se um ativo físico em um GD (Delgado; Oyedele, 2021). Os três componentes para a criação de um GD são identificados nos processos de geminação do ambiente construído e nota-se que existe uma variedade na composição das tecnologias utilizadas de acordo com a funcionalidade estabelecida para o GD.

Na literatura, estudos práticos de aplicação foram catalogados por Tuhaise, Tah e Abanda (2023) conforme as tecnologias relacionadas ao componente físico (entidade física), ao componente virtual (entidade virtual) e à forma como os dados são gerenciados entre eles, por meio de protocolos de processamento. A estrutura proposta pelos autores para identificação das etapas de criação do GD são dispostas em cinco camadas: 1) aquisição de dados; 2) transmissão de dados; 3) modelagem digital; 4) integração de dados/modelo; e 5) camada de serviço. A camada de integração de dados/modelo divide-se em armazenamento de dados, integração e fusão de dados/modelos, processamento e análise de dados e visualização de dados.

No Quadro 13, são identificados os usos, as tecnologias e as funcionalidades de três publicações que correspondem às incluídas na revisão sistemática, seção 2.1.5 (Quadro 5).



Quadro 13 - Identificação de tecnologias no processo geminação

(Continua)

Componentes do gêmeo digital nos estudos selecionados					
Autor	Entidade física		Protocolo de conexão entre físico e virtual		Entidade virtual
Khajavi <i>et al.</i> (2019)	Fachada de um edifício		WSN		Modelo BIM da fachada
Seghezzi <i>et al.</i> (2021)	Espaços em um prédio educacional		Sensores de IoT		Modelo BIM
Tan <i>et al.</i> (2022)	Prédio com iluminação e vigilância		Sistema de vigilância com câmeras		Modelo BIM do sistema de iluminação do edifício
Tecnologias para aquisição de dados, transmissão de dados e modelagem digital					
Autor	(1) Aquisição de dados		(2) Transmissão de dados		(3) Modelagem digital
	Coleção de dados	Conjunto de dados	Rede e comunicação	Transmissão	Modelagem virtual (3D)
Khajavi <i>et al.</i> (2019)	Texas Instruments (TI), Sensortag CC2650, sensores de luz e sensores iBeacon station NRF 51822	Dados do sensor do ambiente	Raspberry Pi 3B+ gateway de rede usando <i>bluetooth</i>	Não declarado	Modelo 3D
Seghezzi <i>et al.</i> (2021)	Câmera <i>bullet pro</i> de alta qualidade sensor de imagem	Localização e rastreamento	Rede local virtual (VLAN) e uso de Ips estáticos	Dados armazenados em um banco de dados <i>on-line</i> e baixados como arquivos CSV	Plataforma <i>on-line</i> SophyAI
Tan <i>et al.</i> (2022)	Câmeras	Dados de transmissão de vídeo	Rede local (LAN), internet	Não declarado	Modelo BIM, Autodesk Revit, Three.js. e Draco 3D
Tecnologias para integração de dados/modelos e camadas de serviço					
Autor	(4) Integração de dados/modelo				(5) Serviço
	Armazenamento de dados	Integração e fusão de dados/modelos	Processamento e análise de dados	Visualização dos dados	Funcionalidade



(Conclusão)

Tecnologias para integração de dados/modelos e camadas de serviço					
Autor	(4) Integração de dados/modelo				(5) Serviço
Khajavi <i>et al.</i> (2019)	Não declarado	Não declarado	Combinação de valores de lux com o espectro de cores definido	Código de cores, valores lux	Visualização do estado do brilho de uma fachada em RT
Seghezzi <i>et al.</i> (2021)	Banco de dados em nuvem <i>on-line</i>	Plataforma <i>on-line</i> SophyAI	Análise de visibilidade	Plataforma <i>on-line</i> SophyAI, agentes virtuais anônimos em RT, contagem de ocupação, gráficos de tendência	Visualização da ocupação, contagem e movimentos em RT
Tan <i>et al.</i> (2022)	MySQL, servidor em nuvem e banco de dados	Software Midas Gen	Aprendizagem profunda	Programa Three.js., painéis, tendências, gráficos de <i>pizza</i>	Tendências, detecção, monitoramento e tempo de pedestres

Fonte: Elaborado pela autora com base em Tuhaise, Tah e Abanda (2023).

Os procedimentos metodológicos utilizados pelos autores facilitaram a identificação das etapas do processo de geminação do ambiente construído, sendo possível identificar as tecnologias pertencentes a cada camada. Além disso, outros grupos de tecnologias foram identificados nas publicações e estão incluídas no Apêndice C. A seguir, são apresentadas as etapas propostas conforme Tuhaise, Tah e Abanda (2023).

- 1. Aquisição de dados:** os dados dinâmicos do ambiente são coletados de acordo com a funcionalidade pretendida do GD (Quadro 14).

Quadro 14 - Tecnologias aquisição de dados

(Continua)

Coleção de dados	Conjunto de dados
Sensores IoT e WSN	Medem mudanças nas propriedades físicas, químicas e elétricas do ambiente; medem parâmetros ambientais como temperatura, umidade, qualidade do ar, movimento, pressão, fluxo de ar, CO <sub>2</sub> , níveis de luz, gás, material particulado, fumaça e níveis acústicos.
Tags RFID	Permitem a identificação e o rastreamento de objetos físicos em RT; usados para coletar dados de posicionamento de componentes e objetos inteligentes.

(Conclusão)

Coleção de dados	Conjunto de dados
Tecnologias de rastreamento UWB ( <i>ultra-wideband</i> )	Utilizadas para localizar e rastrear seres humanos e objetos em RT; coletam dados de posicionamento de componentes ou aparelhos em ambientes.
Sistema de navegação global por satélite (GNSS)	Sistema de localização externo que utiliza satélites para determinar a posição geográfica.
Sistemas de monitoramento, Lidar, <i>laser</i> , fotogrametria	Conjunto de imagens e nuvem de pontos do ambiente físico.
Building Management System (BMS)	Dados do sistema de gestão da edificação, histórico de intervenções.
Sensores vestíveis ( <i>wearable</i> )	Batimentos cardíacos, temperatura corporal.

Fonte: Elaborado pela autora.

**2. Transmissão de dados:** consiste no processamento e transporte de informações não processadas da camada de aquisição de dados. Esses dados coletados são comumente enviados utilizando-se tecnologias de transmissão com ou sem fio (Quadro 15).

Quadro 15 - Tecnologias rede, comunicação e transmissão

Rede e comunicação
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Wi-Fi (rede sem fio)</li> <li>● Rede local sem fio (WLAN)</li> <li>● <i>Bluetooth</i> (rede sem fio de curto alcance)</li> <li>● Comunicação de rádio de banda ultralarga (UWB)</li> <li>● Transmissões ethernet com fio</li> <li>● Híbrido de redes com e sem fio</li> <li>● Internet e protocolos BACnet (<i>building automation and control networks</i>) para comunicação de dados de sensores do BMS</li> </ul>
Transmissão
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Protocolo MQTT (<i>message queuing telemetry transport</i>)</li> <li>● Protocolo HTTP (<i>hypertext transfer protocol</i>)</li> <li>● Protocolo Socket</li> <li>● Plataforma <i>blockchain</i>, Azure</li> <li>● Banco de dados <i>on-line</i> (utilizado para armazenar e baixar dados como arquivos CSV)</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora.

**3. Modelagem digital:** envolve o desenvolvimento de um modelo virtual da entidade física, utilizando técnicas como modelagem digital e escaneamento a *laser*. Representa-se a entidade física e suas informações relevantes em um ambiente digital, considerando parâmetros como estrutura geométrica, funcionalidade, estado, tempo, localização e desempenho. Diferentes métodos de medição, como fita métrica a *laser*, RM e fotogrametria, são utilizados para obtenção dos dados necessários (Quadro 16).

Quadro 16 - Modelagem virtual

Modelagem virtual (3D)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Autodesk Revit</li> <li>● Solidworks</li> <li>● Autodesk 3D Max</li> <li>● Sketchup 3D</li> <li>● Rhinoceros 6</li> <li>● Three.js</li> <li>● Midas Gen</li> <li>● Graphisoft Archicad</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora.

**4. Integração de dados/modelo:** as informações provenientes de múltiplas fontes de dados de GD em espaços físicos e virtuais são combinadas utilizando-se técnicas de fusão de dados, resultando em inferências acessíveis e compreensíveis. Nessa camada, os dados do GD passam por estágios que incluem armazenamento de dados, integração e fusão de dados/modelos, processamento e análise de dados e visualização de dados a fim de produzir informações úteis.

Em relação ao armazenamento de dados, os dados de GD provêm de diferentes fontes e têm alto volume, o que exige tecnologias de *big data* (Quadro 17).

Quadro 17 - Armazenamento de dados

(Continua)

Armazenamento de dados
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Internet my openHAB cloud</li> <li>● Google Cloud Platform</li> <li>● Banco de dados da <i>web</i></li> <li>● Banco de dados em nuvem BIM</li> <li>● Azure Microsoft para armazenamento em nuvem</li> </ul>

### Armazenamento de dados

- Servidores em nuvem
- Alibaba Cloud Server
- Microsoft Azure SQL Cloud Database
- Cloud Database and SQL Server
- Heidi SQL
- Amazon Web Service (AWS)
- DynamoDB
- MSSQL
- MySQL
- Banco de dados ArangoDB
- Banco de dados Influx
- Banco de dados espelhado usando o esquema DynamoDB
- NoSQL
- Banco de dados Mongo
- Servidor de interpretação PHP
- Serviço *web* Apache

Fonte: Elaborado pela autora.

A integração e fusão de dados/modelos envolve a integração de dados do sensor com dados ambientais, mecânicos, de imagem e de vídeo nos modelos BIM, refletindo o *status* em RT do ambiente físico no modelo virtual. É requerido o uso de tecnologias para fornecer uma plataforma hospedeira para o GD, os dados de sensor e o modelo. A fim de permitir essa integração de dados, APIs (*application programming interface*) personalizadas são incorporadas às plataformas de *software* de modelagem 3D (Quadro 18).

### Quadro 18 - Tecnologias de integração e fusão de dados

#### Integração e fusão de dados/modelos

- API Autodesk Revit
- API Midas Gen
- API Bexel Manager
- API Dynamo/Revit
- API Autodesk Navisworks;
- API Autodesk Forge
- API Three.js
- Ambiente de desenvolvimento 'Processing'
- Plataforma *on-line* SophyAI;
- Apache Kafka e Flin
- Mapeamento os dados do modelo BIM no esquema IFC

Fonte: Elaborado pela autora.

A integração do modelo virtual aos dados dos sensores no ambiente físico pode ser explorada por meio dos recursos de interoperabilidade de formato padrão no ambiente construído, International Foundation Classes (IFC), COBie (*construction-operations building information exchange*) ou por meio de modelos semânticos e ontologias.

O processamento e a análise de dados ocorrem por meio de técnicas de análise de dados simples e avançadas para obter informações úteis (Quadro 19).

Quadro 19 - Tecnologias para processamento e análise

Processamento e análise de dados
<p><b>Análise simples:</b> comparação de valores medidos <i>versus</i> valores/limites-alvo, análise de visibilidade, modelos métricos, raciocínio baseado em regras.</p>
<p><b>Análises avançadas:</b> aprendizado de máquina, aprendizado profundo (<i>deep learning</i>), algoritmos de IA, análise de variância (ANOVA), máquina de vetores de suporte (SVM), Modelo de Markov, treinamento de ANN, algoritmos <i>a priori</i> e análise de rede complexa, cadeia de Markov, gráficos de soma cumulativa, algoritmos de aprendizado conjunto.  <b>Ferramentas de desenvolvimento:</b> TensorFlow; Keras; Pytorch; Python; Chronograf; Bixel Manager</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a possibilidade de analisar visualmente os dados dos sensores é estabelecida por meio de *softwares* e formatos de visualização (Quadro 20).

Quadro 20 - Tecnologias para visualização dos dados

(Continua)

Visualização dos dados
<p><b>Ferramentas de visualização dos dados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Autodesk Revit</li> <li>● <i>Software</i> Midas Gen</li> <li>● Autodesk Navisworks</li> <li>● Autodesk Civil 3D</li> <li>● Autodesk Forge (usado para visualização de dados do sensor no modelo BIM)</li> <li>● Mecanismo de jogo Unity 3D (plataforma de jogos com recursos de visualização)</li> <li>● Mecanismo de jogo Unreal Engine 4 (ambiente de VR com <i>headsets</i> Oculus Rift S)</li> <li>● Ambiente de VR usando o mecanismo de jogo Unreal Engine 4 e <i>headsets</i> Oculus Rift S</li> <li>● Programa Three.js</li> <li>● Plataforma <i>on-line</i> SophyAI</li> </ul>

(Conclusão)

Visualização dos dados
<p><b>Esquemas de visualização dos dados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Codificação de cores em esquemas 2D e 3D</li> <li>● Painéis de desempenho</li> <li>● Gráficos de séries temporais suportados pelas plataformas de visualização</li> <li>● Gráficos de tendências</li> <li>● Gráficos de <i>pizza</i></li> <li>● Gráficos de linha</li> <li>● <i>Status</i> em RT Kanban</li> <li>● Gráficos de conforto térmico</li> <li>● Curvas S</li> <li>● Gráficos de controle de soma cumulativa</li> <li>● Indicação dos valores dos parâmetros monitorados (contagem de pedestres, leitura de sensores de temperatura e umidade ambiente)</li> <li>● Animações em RT</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora.

**5. Serviço:** esta camada representa o serviço que o GD oferece aos usuários, ou seja, o resultado a ser obtido a partir do conjunto de ações realizadas (Quadro 21).

Quadro 21 - Funcionalidades

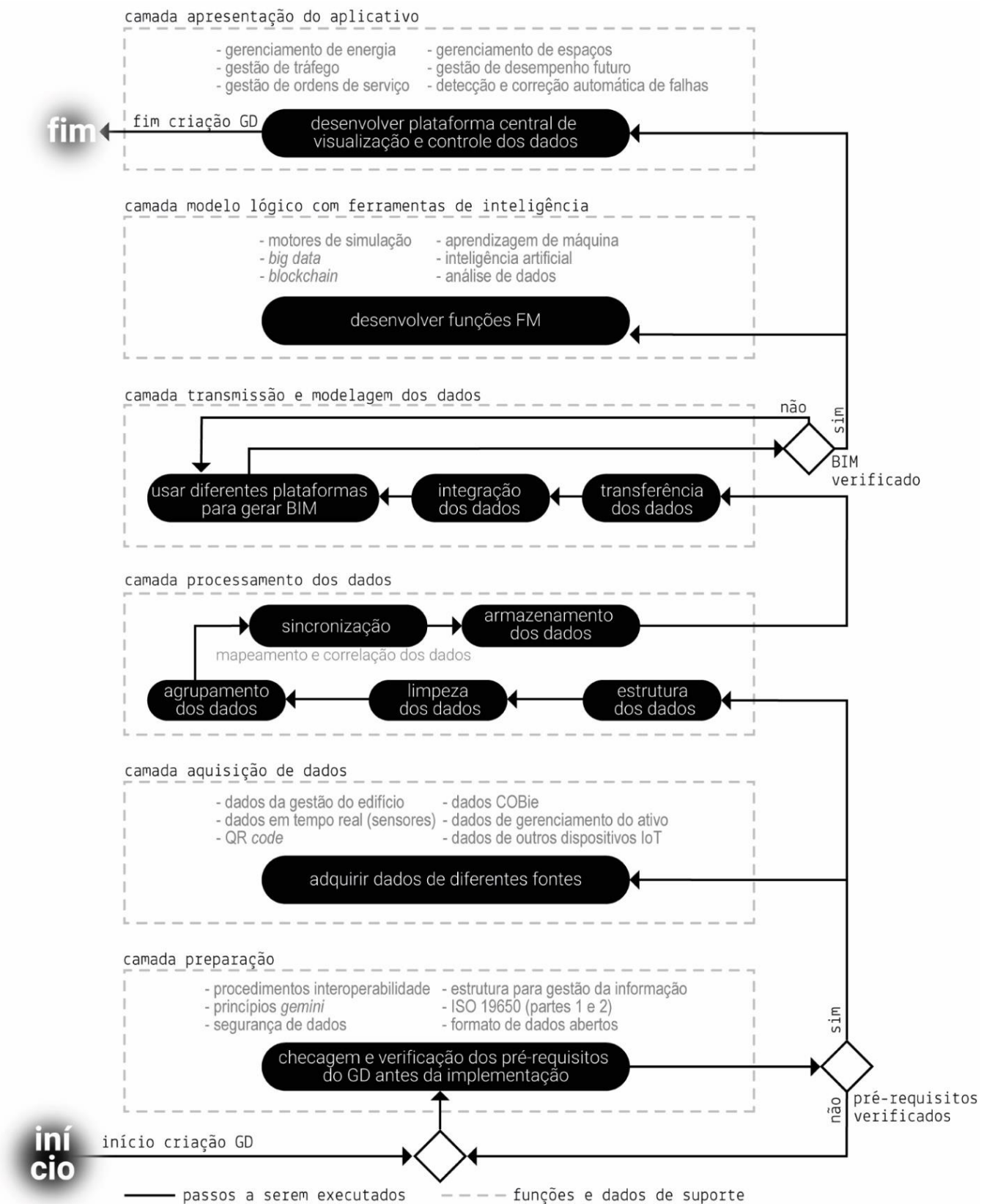
Funcionalidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento em RT do ambiente e das atividades</li> <li>● Condições do ambiente interno</li> <li>● Objetos inteligentes e controle de eletrodomésticos</li> <li>● Tendências e movimentos de ocupação</li> <li>● Condições de trabalho</li> <li>● Consumo de energia</li> <li>● Postura dos trabalhadores</li> <li>● Ocupação e uso de salas</li> <li>● Simulações</li> <li>● Níveis de conforto e CO<sub>2</sub>;</li> <li>● Visualização dos níveis de conforto ambiental e térmico</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora.

O processo de identificação por camadas do GD, além de auxiliar na identificação dos grupos de tecnologias necessárias em cada camada, demonstra como estas se conectam em uma sequência que infere impactos no processo total.

Uma possível sequência para implementação (Figura 11) de GD em FM de edificações é investigada por Zhao *et al.* (2022).

Figura 11 - *Framework* de implementação de gêmeo digital



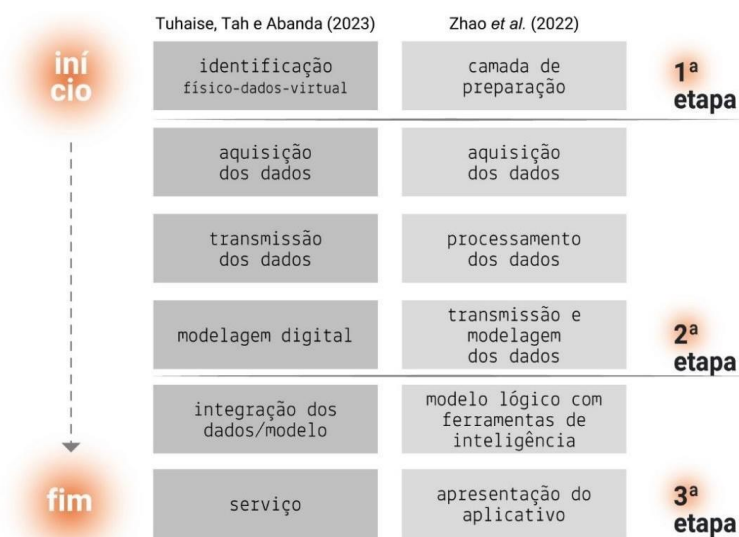
Fonte: Elaborada pela autora com base em Zhao *et al.* (2022).

Essa estrutura apresentada foi traduzida e redesenhada. Os autores apresentam um *framework* conceitual disposto em *bottom-up*, que significa, estruturar o processo a partir dos requisitos inferiores (camada de preparação), seguindo para camadas de aquisição e processamento de dados, transmissão, modelagem e validação, e, por fim, integração de modelos e aplicação.

Considerando o referencial teórico apresentado, identificou-se que ambos os processos analisados, de identificação e implementação, demonstram a mesma relação de camadas necessárias para a criação de GD no ambiente construído. Segundo Zhao *et al.* (2022), o fluxo de implementação deve ser dividido em pelo menos cinco níveis, similar ao processo de identificação das tecnologias em Tuhaise, Tah e Abanda (2023).

Ao analisar-se os fluxos, observou-se que ambos os processos exploram três etapas que se vinculam primeiramente à compreensão do objeto físico, após, à forma como os dados serão manejados e, por fim, à maneira como o ambiente virtual será integrado e utilizado. Comparando-se essas etapas às camadas apresentadas por Zhao *et al.* (2022) e Tuhaise, Tah e Abanda (2023), elas podem ser dispostas da seguinte forma: 1ª etapa – preparação e identificação dos componentes do GD; 2ª etapa – aquisição de dados, processamento, transmissão e modelagem; 3ª etapa – integração de dados/modelo, utilização de ferramentas de inteligência e visualização do aplicativo GD para a finalidade que se destina. A comparação entre esses dois processos é demonstrada na Figura 12.

Figura 12 - Geminação em três etapas



Fonte: Elaborada pela autora.



Essa estrutura, desenvolvida com base nos estudos encontrados que exemplificam o processo de geminação, faz parte do conjunto de proposições teóricas que orientam as próximas etapas desta investigação, cujo objetivo é responder ao problema de pesquisa de como a utilização de GD, por meio dos componentes físico-dados-virtual, contribuirá para ordenar as atividades de operação e manutenção internas em edificações existentes. Essa estrutura será utilizada para formar as explicações narrativas resultado deste estudo.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentada a fundamentação teórica que sustenta a pesquisa, tendo sido descritos os procedimentos adotados para a realização da RSL sobre GD no ambiente construído, relacionando-o à necessidade dos ocupantes.

Introduziu-se o conceito de GD e fez-se um breve apanhado sobre aplicações em outras áreas e níveis de evolução impulsionados pela integração e existência de tecnologias. Ao direcionar as potencialidades de aplicação do GD para ativos físicos, comparou-se à tecnologia BIM e destacaram-se os fatores de impulso da adoção de GD na construção. Voltando-se ao ambiente construído, foram identificadas as condições operacionais e, em seguida, as possibilidades de uso de GD para atender às necessidades dos ocupantes, levando em consideração fatores pessoais, ambientais, entre outros. Além disso, foram apresentados os principais componentes dos GD, bem como a integração entre os componentes físicos e virtuais por meio de protocolos e manejo de dados. Por fim, o processo de geminação em camadas foi detalhado e as tecnologias possíveis para cada uma delas, mencionadas.

Este capítulo consolidou as proposições teóricas necessárias para avançar a pesquisa sobre GD no ambiente construído. Na sequência, serão detalhados os procedimentos metodológicos que foram adotados no andamento da pesquisa.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, apresentam-se os procedimentos metodológicos adotados para a condução do estudo. Descrevem-se as características da pesquisa, o delineamento de estudo de caso único integrado e os procedimentos utilizados para a coleta e análise dos dados.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se, segundo Marconi e Lakatos (2022), quanto à finalidade, como **aplicada**, pois vislumbra a aquisição de conhecimentos para solucionar um problema específico; quanto aos propósitos gerais, classifica-se como **exploratória e descritiva**, pois primeiramente objetiva ampliar o entendimento do problema e, após, descrever as características do fenômeno, identificando relações entre variáveis. Quanto à abordagem do problema de pesquisa, define-se como **qualitativa**, pois visa compreender o fenômeno por meio da exploração e interpretação do contexto real em que ocorre – considerando-se, ainda, o dinamismo da relação entre o mundo real e o sujeito (Sampieri; Collado; Lucio, 2013). Os métodos de pesquisa adotados foram levantamento bibliográfico (Prodanov; Freitas, 2013) e estudo de caso único integrado (Yin, 2015).

Segundo Yin (2015), a escolha por investigações de estudo de caso é justificada quando: 1) as questões de pesquisa pretendem identificar o “como?” e o “porquê?”, 2) o pesquisador não exerce controle sobre os eventos comportamentais e 3) o foco do estudo é um fenômeno contemporâneo. As circunstâncias que justificam analisar um estudo de caso único são: a seleção de caso crítico, quando este representa contribuições significativas para ampliar o conhecimento acerca de determinada teoria, podendo auxiliar no enfoque de novas investigações em relação ao campo em análise; e a seleção de caso comum, que representa uma captura em situações e circunstâncias recorrentes.

Define-se estudo de caso integrado quando se envolvem unidades de análise em diferentes níveis, por exemplo, ao investigar uma organização, pode-se incluir análises sobre resultados de serviços, registros de funcionários e procedimentos técnicos realizados (Yin, 2015). Dessa forma, a fim de alcançar a compreensão da pergunta-problema que orienta este estudo – *como a utilização de GD, por meio dos*

seus três componentes físico-dados-virtual, contribui para ordenar as atividades de operação e manutenção internas em edificações existentes –, apresenta-se o desenho da pesquisa, ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Desenho da pesquisa

condução estudo de caso				
	cap.	objetivos específicos	procedimentos	resultados
Yin (2015) <b>definir</b>	1	<b>Identificar</b> na literatura as principais definições, áreas de aplicação, tecnologias e estruturas teóricas de criação de GD para ambiente construído.	levantamento bibliográfico procedimentos RSL	proposições teóricas desenho da pesquisa
	2			
<b>projetar, preparar</b>	3	<b>Selecionar</b> um ambiente construído com ocupantes, inserido no contexto nacional, que possibilite o monitoramento e a análise das etapas criação de GD por meio de estudo de caso único.	triagem de casos seleção do <b>caso único - CAFF</b>	Seleção da amostra Subsecretaria - SUAD 1º andar ala Sul
			definição unidades de análise	protocolo da investigação
<b>coletar e analisar</b>	4	<b>Observar</b> as etapas do processo de criação do GD a partir dos elementos físico-dados-virtual, acompanhando a definição do elemento físico, de que forma é modelado seu equivalente virtual e como ocorre o manejo de dados entre eles, bem como se existe relação com as necessidades dos ocupantes.	<b>múltiplas unidades de análise</b> 	<b>dados</b> 
			 <b>análise documentos</b>	documentos intervenções, mudanças, histórico de reformas e sensores
			 <b>observação</b>	acompanhamento do levantamento cadastral digital
<b>concluir</b>	5	<b>Comparar</b> a estrutura teórica de criação de GD com as etapas observadas no objeto de estudo selecionado.	 <b>questionário</b>	necessidades dos ocupantes setor selecionado
			construção de explicações narrativas reflexo das proposições teóricas	estruturais conceituais, considerações finais e trabalhos futuros

Fonte: Elaborada pela autora.

As próximas seções retratam a realização da pesquisa de estudo de caso, distribuídas nas seis etapas, segundo Yin (2015): definir, projetar, preparar, coletar, analisar e concluir.

### 3.2 DEFINIR

Na etapa **definir**, identificaram-se as situações relevantes a serem investigadas. No Capítulo 1, contextualizou-se o assunto abordado, conduzindo a delimitação do tema, o problema de pesquisa e os objetivos pretendidos. No Capítulo 2, apresentou-se o levantamento bibliográfico que foi estruturado de maneira assistemática e por meio de RSL (seção 2.1), no qual foram identificados os conceitos de GD (seção 2.2), seu

impacto na construção (seções 2.2.1 e 2.2.2), as condições operacionais de ambientes construídos (seção 2.3), a relação de GD no ambiente construído interno e as necessidades dos ocupantes (seção 2.3.1), os componentes GD (seção 2.4) e, por fim, os processos de geminação (seção 2.5). Esta etapa concluiu o **objetivo específico 1** desta pesquisa, na qual identificaram-se as principais definições, áreas de aplicação, tecnologias e estruturas teóricas de criação de GD para ambiente construído.

### 3.3 PROJETAR

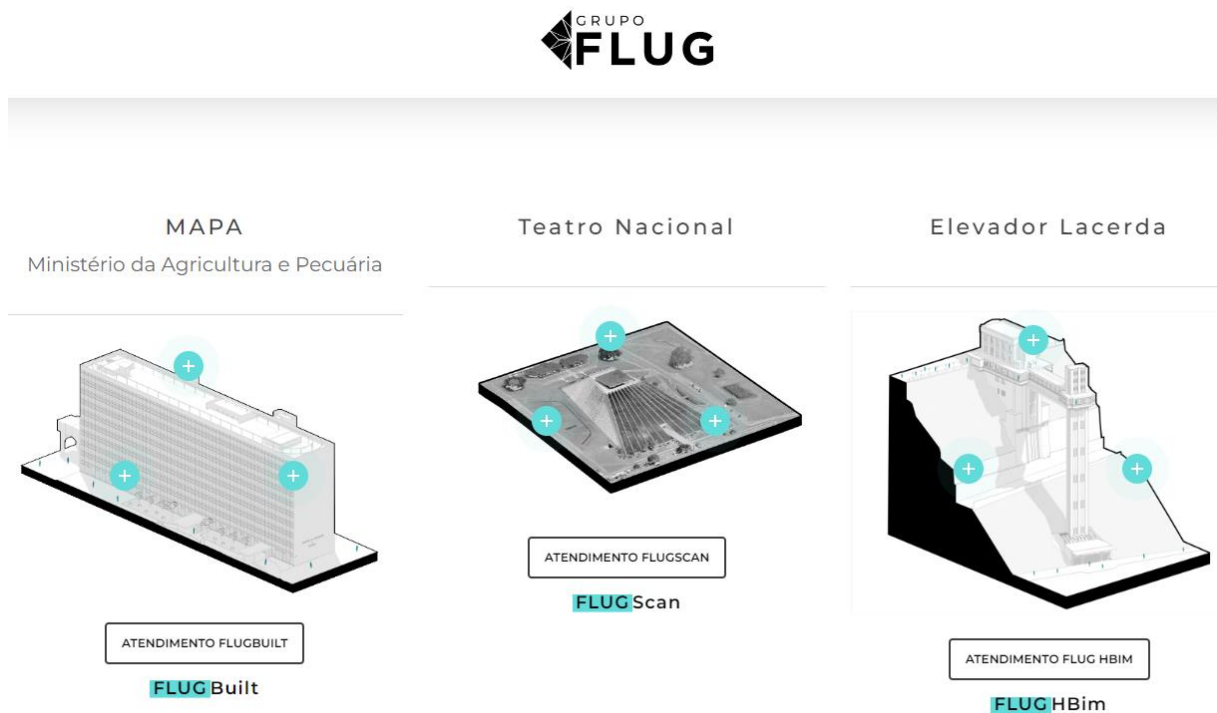
A etapa **projetar** corresponde a triagem, seleção e descrição do caso a ser investigado, com a definição das unidades de análise, que resultam no protocolo que ordenará a coleta de dados.

#### 3.3.1 Triagem de casos

No processo de triagem dos casos, para a seleção, adotou-se o seguinte critério: **possibilidades de GD aplicados à gestão do ambiente construído que ocorreram ou em andamento no contexto nacional**. No levantamento bibliográfico, foram encontradas experiências internacionais; as aplicações de GD no Brasil ainda são escassas ou não estão suficientemente documentadas. Essa etapa de busca explorou possibilidades de serviços com informações disponíveis de forma *on-line*.

A primeira possibilidade encontrada foi o Grupo Flug, empresa privada responsável pelo escaneamento e modelagem virtual do Museu Nacional, no Rio de Janeiro, após o incêndio de 2018, por meio de licitação coordenada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) no Brasil (Museu Nacional Vive, 2021). Além disso, a empresa conta com serviços de representação digital do estado atual de edificações (Flugbuilt), modelagem de edifícios patrimoniais (FlugHBIM) e serviços de escaneamento a *laser* e digitalização de espaços com nuvem de pontos (FlugScan). O Grupo Flug participa de licitações nacionais e intervém em obras de restauração e manutenção de importantes projetos no contexto brasileiro (conforme a Figura 14), como do Ministério da Agricultura e Pecuária e do Teatro Nacional, localizados em Brasília (DF), e do Elevador Lacerda, localizado em Salvador (BA).

Figura 14 - Possibilidade de estudo de caso Grupo Flug



Fonte: Grupo Flug (c2024, documento *on-line*).

A segunda possibilidade em nível nacional investigada foi a empresa de capital aberto Petrobras. Segundo informações levantadas no *site* da empresa, tem-se especulado sobre o uso da tecnologia GD em plataformas, reservatórios de óleo e gás, poços produtores e injetores, instalações submarinas, sistemas navais e refinarias, visando à contribuição de redução de custos operacionais e aumento de eficiência e segurança (Internet..., 2024). A Figura 15 é uma cartilha apresentada pela empresa e faz parte de uma série chamada *Aceleração da inovação*, na qual são abordadas soluções tecnológicas como IA, *big data*, IoT e robótica.

Ambas as possibilidades de casos se mostraram relevantes, porém, constatou-se que, em relação ao Grupo Flug, devido à sua natureza privada, existiriam restrições quanto ao uso das informações pertencentes às entidades públicas. Dessa forma, verificou-se que uma opção de mudança na estratégia de busca seria investigar o resultado desses editais.



Estudos de Tecnologias BIM do Estado do Rio Grande do Sul (LaBIM/RS). O projeto visa à contratação de serviços de levantamento de nuvem de pontos e modelagem BIM com o objetivo de “[...] criar uma base de dados capaz de auxiliar o gerenciamento das edificações, seja para reformas ou contratação de serviços de manutenção [...]” (Paixão, 2023, documento *on-line*). Segundo o termo de requerimento que norteou o processo de licitação, tinha-se como intuito

[...] possibilitar a criação de um modelo digital que represente com fidelidade o prédio sede do Centro Administrativo Fernando Ferrari (**gêmeo digital**), de forma a permitir a melhoria da gestão do ativo e do planejamento de intervenções e melhorias da edificação, ao mesmo tempo em que promove o treinamento e capacitação de servidores no uso de tecnologias inovadoras [...] (Rio Grande do Sul, 2022b, p. 5).

A escolha do caso baseou-se nas possibilidades identificadas e ocorreu mediante o atendimento do critério de seleção (ver seção 3.3.1). Além disso, houve o alinhamento preciso ao tema desta investigação e acesso facilitado aos gestores, os quais, ao tomarem conhecimento do interesse da pesquisadora, prontamente se dispuseram a colaborar. Segundo Yin (2015), o caso escolhido pode ser considerado crítico, tendo em vista ser um processo decisivo para confrontar as teorias encontradas sobre o tema, e ao mesmo tempo comum, por se tratar de uma circunstância recorrente e cotidiana de gerenciamento de edificações para reformas, manutenções e contratações.

A fim de consolidar o trabalho-piloto da Estratégia BIMGov-RS como objeto de investigação do estudo de caso único integrado, foram instrumentalizados os procedimentos de acordo com o desenho de protocolo (Apêndice D) em quatro etapas, conforme descrito por Yin (2015). A partir desse momento, a pesquisadora interagiu de forma mais ativa com o caso, instaurando-se o estágio chamado *imersão inicial*, que, segundo Sampieri, Collado e Lucio (2013), é o momento no qual não se utiliza registro padrão, devendo-se observar e anotar tudo o que for considerado apropriado; o formato pode ser uma folha simples dividida em dois – um lado registrando anotações e do outro, observações. Segundo os autores, é importante manter um “padrão” nos tipos de anotações que fornecerão acesso às informações necessárias para a construção da próxima seção, a descrição do caso. A linha do tempo apresentada na Figura 16 ilustra em que momento este estágio iniciou-se e transformou-se nos próximos momentos da pesquisa, relatados a seguir.

Figura 16 - Linha do tempo da pesquisa



Fonte: Elaborada pela autora.

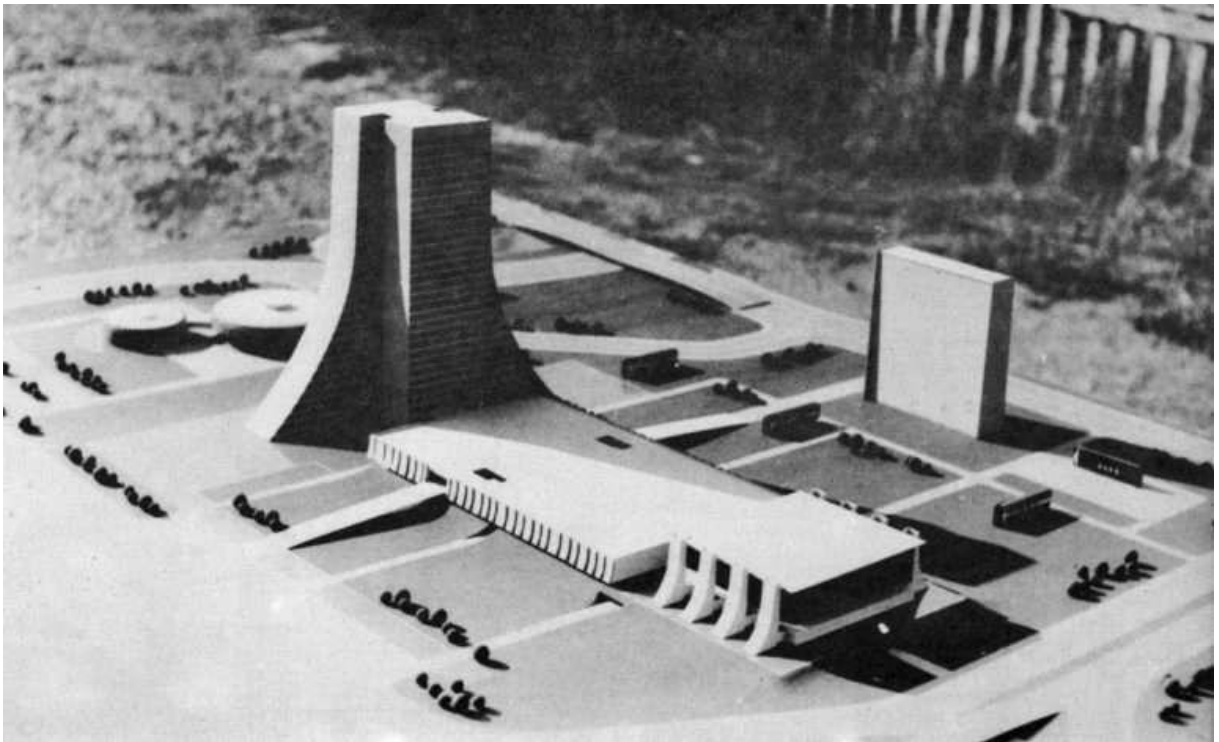


### 3.3.2 Descrição do caso: Centro Administrativo Fernando Ferrari

Em 1971, foi aprovado o projeto para a criação do Complexo Administrativo do Estado do Rio Grande do Sul (CAERGS). A estrutura tinha como objetivo centralizar secretarias e órgãos públicos em um único local (Figura 17), e fazia parte de uma proposta urbanística, efetuada pela Prefeitura de Porto Alegre na época, que visava localizar órgãos públicos próximos ao rio Guaíba (Machado, 2012).

O projeto previa acomodar o maior número possível de secretarias de Estado, o Centro de Processamento de Dados e também o Palácio de Despachos, um espaço exclusivo para o chefe do Poder Executivo. Esperava-se que o conjunto pudesse sediar órgãos da administração funcionando no formato de condomínio, valendo-se de estruturas de uso comum, como auditórios, salas de reuniões, protocolo e estacionamento (CAFF, [2024?]).

Figura 17 - Maquete do projeto CAERGS



Fonte: Charles... (2020, documento *on-line*).

Segundo os registros históricos, as obras iniciaram em dezembro de 1976 e o projeto mobilizou uma equipe de cinco arquitetos da então Secretaria de Obras do Estado, Cairo Albuquerque Silva, Charles René Hugaud, Ivanio Fontoura, Leopoldo

Costanzo e Luis Carlos Macchi. Estimava-se área a ser construída de 128 mil m<sup>2</sup> sob responsabilidade da Companhia Estadual de Desenvolvimento Regional e Obras (CEDRO) e da empresa Knorr Construções Ltda. Na Figura 18, o registro histórico do andamento da construção: em primeiro plano a construção da PROCERGS, atual Centro de Tecnologia da Informação e Comunicação do Estado do Rio Grande do Sul S.A., e, ao fundo, os primeiros andares do CAERGS.

Figura 18 - Registro histórico da construção da PROCERGS e do CAFF



Fonte: Acervo PROCERGS (Prati, 2016, documento *on-line*).

A ocupação do prédio estava prevista para 1986, porém, a inauguração ocorreu em 10 de março de 1987. Em 1989, o prédio em forma de pirâmide passou a chamar-se Centro Administrativo Fernando Ferrari (CAFF) (CAFF, [2024?a]). Atualmente, a edificação situada na Avenida Borges de Medeiros é considerada um importante ponto de referência para cidade de Porto Alegre (Figura 19), sua dimensão e forma escultórica geram destaque na paisagem urbana (Figura 20).

Figura 19 - Centro Administrativo Fernando Ferrari



Fonte: Itamar Aguiar/Palácio Piratini (CAFF, [2023?], documento *on-line*).



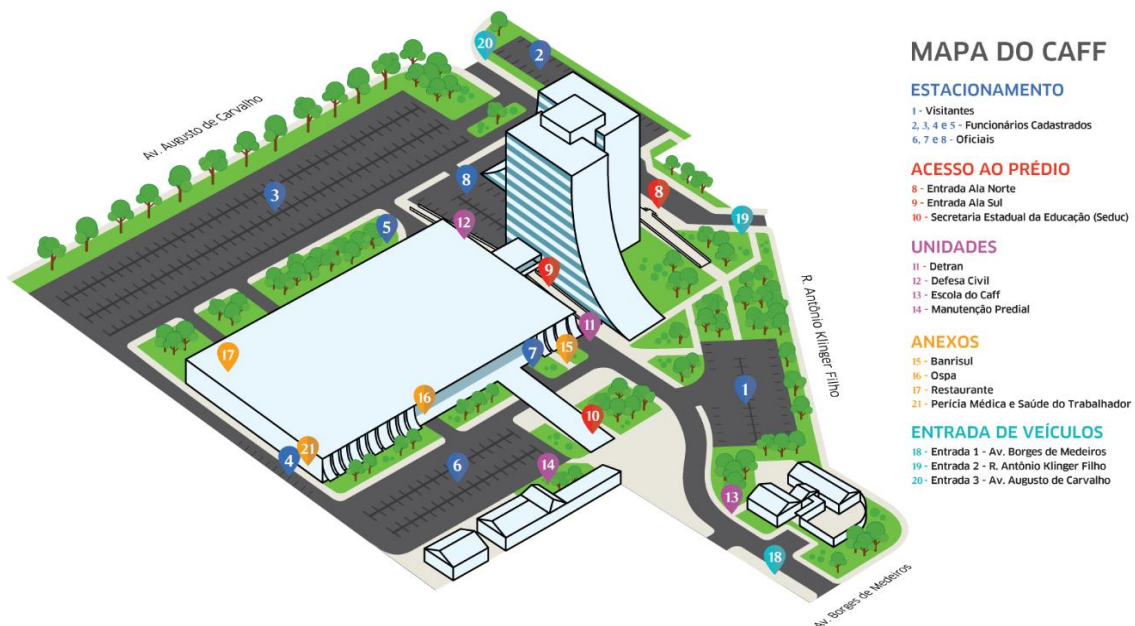
Figura 20 - Resultado da oficina de desenho urbano “Rua para as pessoas”



Fonte: OE1 Arquitetos (Baratto, 2014, documento *on-line*).

A edificação tem 21 andares e área interna de aproximadamente 50 mil m<sup>2</sup>, é separada em duas alas, nas quais distribuem-se 13 secretarias, além de um anexo onde funciona a Secretaria Estadual de Educação (SEDUC) e a Casa da Orquestra Sinfônica de Porto Alegre (OSPA), conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Mapa do CAFF

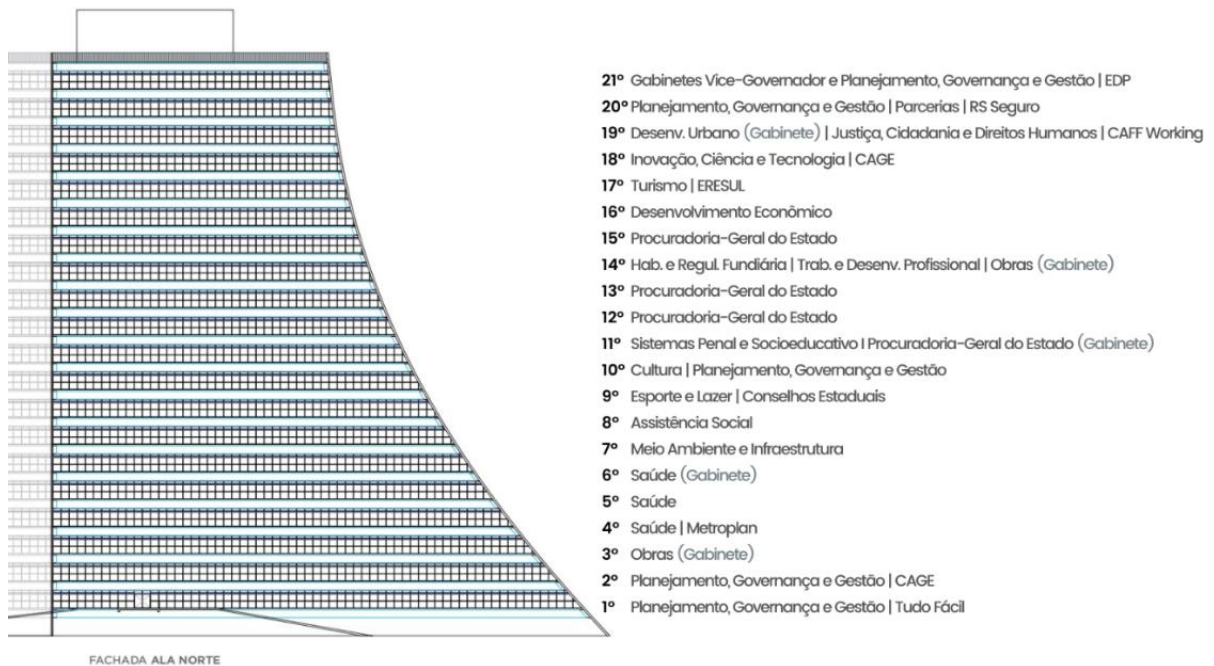


Fonte: CAFF ([2023?b], documento *on-line*).

O conjunto concentra aproximadamente 4 mil servidores públicos e as secretarias estão distribuídas por andares conforme a Figura 22. As características construtivas da edificação, disponíveis no período em que a obra foi executada, foram impactadas pelo processo natural de degradação dos materiais, assim como pelos ajustes contemporâneos de legislações normativas de segurança, desempenho e acessibilidade. Em resposta a essas exigências, a edificação de quase meio século passou por intervenções ao longo dos anos, visando a melhorias que afetam tanto a acessibilidade quanto a sustentabilidade do edifício (CAFF, [2024?a]), mas esbarram

[...] na dificuldade de obtenção de informações cadastrais atualizadas, precisas e confiáveis quanto aos usos, zoneamentos e características físicas e funcionais das edificações, o que prejudica a tomada de decisões ágeis e adequadas por parte dos órgãos responsáveis. (Rio Grande do Sul, 2022b, p. 2).

Figura 22 - Distribuição das secretarias por andar



Fonte: CAFF ([2023?b], documento *on-line*).

Diversas implicações recorrentes impactam a edificação e causam paralisações e impedimento do funcionamento normal das atividades. Uma das maiores implicações enfrentadas pelos gestores está relacionada ao plano de prevenção de incêndio (PPCI), que já fez com que a edificação fosse interdita em 2013 (Simon, 2013) e ainda não foi finalizado em 2023 (Milman, 2023); outras

questões, como vazamentos e infiltrações, também impactam as atividades, como aconteceu em 2022 (Centro..., 2023).

Segundo o termo de referência (julho de 2022), as dificuldades citadas estendem-se a outros ativos do estado em necessidade de regularização, manutenção e adequação. A falta de um sistema integrado com informações centralizadas e atualizadas dessas edificações dificulta a gestão deles.

Por esse motivo, a fim de criar uma base cadastral tanto no que diz respeito à gestão das edificações e dos ativos quanto à formulação de propostas para reformas e futuros contratos de manutenção preventiva e corretiva, o projeto-piloto da Estratégia BIMGov-RS, disponível por meio do edital nº 0071/2022 (Rio Grande do Sul, 2022b) estabeleceu a contratação de empresa especializada para levantamento cadastral digital por meio de escaneamento a *laser* para obtenção de nuvem de pontos das fachadas externas e do interior de todos os pavimentos da edificação e da modelagem em BIM de seu 1º pavimento. Além disso, a empresa contratada será responsável pela prestação de consultoria e treinamento na modelagem e no uso das ferramentas BIM com base na nuvem de pontos. O edital estabeleceu o prazo de 180 dias para a entrega dos serviços.

Desse modo, o objeto de estudo selecionado representa benefício para ser incorporado a esta pesquisa, pois o público-alvo que se pretende alcançar são acadêmicos, profissionais e entidades que operam e executam nessa área de atuação. Assim, para que seja possível realizar o monitoramento no tempo hábil previsto para esta investigação, selecionou-se um setor para análise dos procedimentos, sendo este a Subsecretaria Administrativa (SUAD).

Constam no setor selecionado 139 ocupantes, entre servidores e diretores, dispostos em departamentos e divisões, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Ocupantes da Subsecretaria Administrativa

(Continua)

Setores	Ocupantes
Subsecretaria Administrativa (SUAD)	5
Assessoria Administrativa (ASADM)	6
Departamento de Administração Local (DEADM)	7
Divisão de Gestão de Pessoas (DIPES)	11
Divisão de Protocolo, Arquivo e Informações (DIPRO)	6
Divisão de Orçamento e Finanças (DIFIN)	9
Divisão de Tecnologia da Informação (DINFO)	7
Departamento de Contratos Transversais (DECON)	3

(Conclusão)

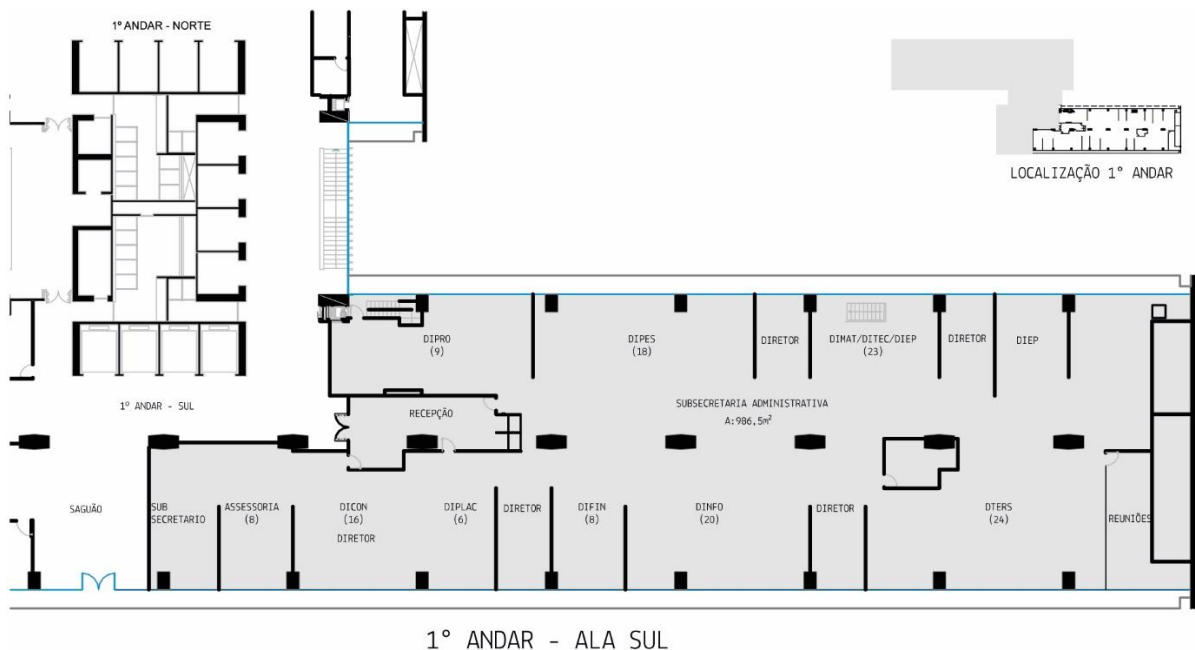
Setores	Ocupantes
Divisão de Planejamento e Contratação (DIPLAC)	5
Divisão de Controle e Execução de Contratos (DICON)	12
Departamento de Gestão de Serviços do Complexo Administrativo do Estado (DGCAE)	4
Divisão de Engenharia e Projetos (DIEP)	11
Divisão de Serviços do Complexo Administrativo do Estado (DICAÉ)	13
Divisão de Materiais e Patrimônio Mobiliário (DIMAT)	15
Divisão de Marcenaria do CAFF (DIMAR)	5
Departamento de Transportes do Estado (DTERS)	1
Departamento Central de Atendimento ao Cidadão – Tudo Fácil	1
Gestão Contratual do Tudo Fácil (TFGESTAO)	15
Tudo Fácil Zona Sul (TFZS)	3
<b>Total de ocupantes</b>	<b>139</b>

Nota: amarelo: subsecretarias; verde: assessorias e unidades; cinza: departamentos; branco: divisões.

Fonte: Elaborada pela autora com base em Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão ([2024?], documento *on-line*).

O setor selecionado está localizado no 1º andar do CAFF, ala Sul, conforme indicado a Figura 23.

Figura 23 - Localização da Subsecretaria Administrativa



Fonte: Elaborada pela autora com base em Rio Grande do Sul (2022b).

A descrição do objeto de estudo de caso único seguiu as etapas sugeridas por Yin (2015) e esquematizadas no desenho do protocolo, Etapa A – Visão geral do estudo de caso, disponíveis para visualização no Apêndice D. Os procedimentos éticos necessários para a intervenção estão disponíveis no Anexo A.

Esta etapa concluiu o **objetivo específico 2** desta pesquisa: **selecionar** um ambiente construído com ocupantes, inserido no contexto nacional, que possibilitou o monitoramento e a análise das etapas criação de GD por meio de estudo de caso único.

### 3.4 PREPARAR

Na etapa **preparar**, são apresentados os procedimentos e os protocolos que conduzirão a coleta de dados, conforme o desenho do protocolo (Apêndice D), a Etapa B – Procedimentos de coleta de dados e a Etapa C – Questões de coleta de dados. Diante do contexto apresentado e a partir da hipótese levantada, é fundamental, inicialmente, identificar como os elementos estão dispostos no caso e representam os componentes básicos do GD, conforme a Figura 24.

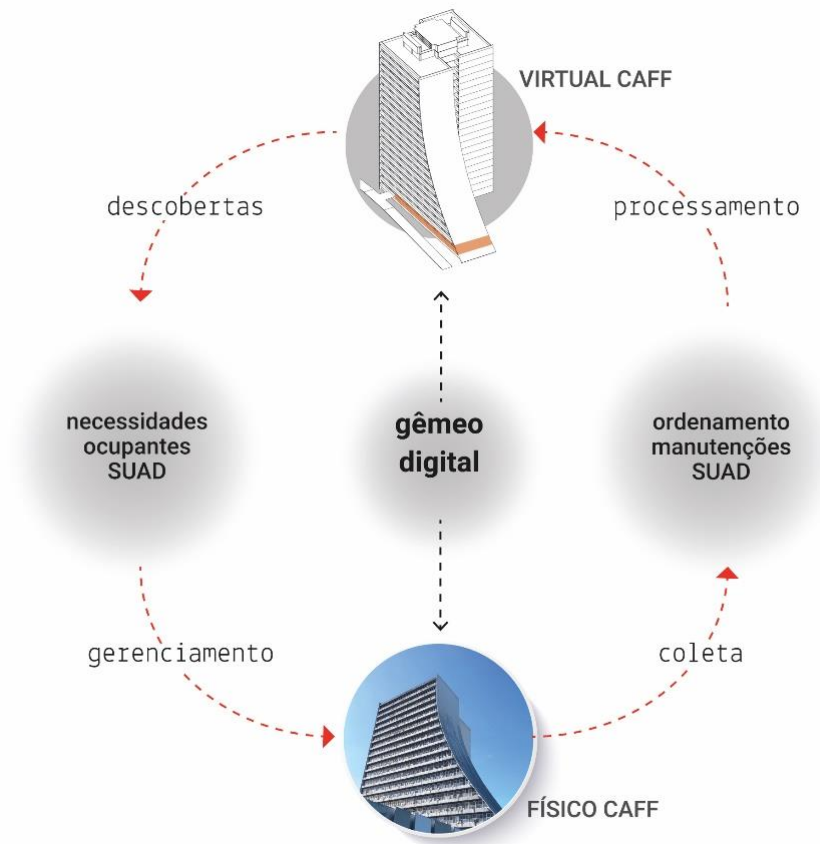
O **componente físico** é representado integralmente pela edificação existente escolhida como estudo de caso, que é o CAFF. Para fins de eficiência na condução da pesquisa em tempo hábil, selecionou-se por conveniência a SUAD como amostra representativa do conjunto.

O **componente virtual** é retratado pelo modelo digital da edificação, que é resultado do processo de levantamento cadastral digital contratado pela instituição, conforme especificado no edital nº 0071/2022 (Rio Grande do Sul, 2022b). Conseqüentemente, o modelo digital da SUAD foi escolhido como amostra para análise.

Ao **componente dados** são atribuídas duas perspectivas: a primeira busca identificar os requisitos que norteiam as operações e manutenções da SUAD, enquanto a segunda procura estabelecer se existe relação entre impactos positivos ou negativos dos fatores que influenciam o conforto e as necessidades dos ocupantes com os requisitos de operação e manutenção.



Figura 24 - Identificação dos componentes



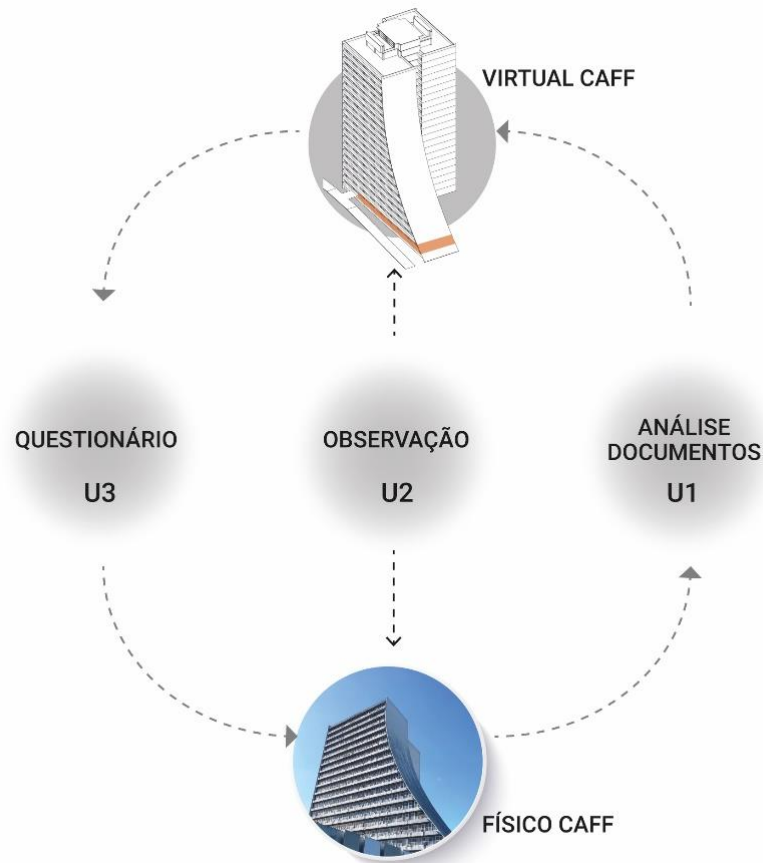
Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que, a partir do objeto físico, é possível identificar as atividades necessárias para as operações e manutenções do espaço. Essas informações coletadas têm uma influência significativa na geração do modelo virtual. Por meio desse modelo virtual, é viável realizar simulações, previsões e avaliações dos impactos relacionados ao espaço físico. Ao intermediar o fluxo de descobertas e gerenciamento, as necessidades dos ocupantes são utilizadas para avaliar e aprimorar as possibilidades de gestão do espaço.

O processo do GD será analisado mediante as seguintes unidades de coleta de dados: coleta documental, observação e questionário, dispostas de acordo com cada elemento GD identificado no objeto de estudo (Figura 25). A partir dessa estrutura, busca-se verificar a hipótese levantada de que, por meio dos processos e etapas de criação de GD, pode-se contribuir para o ordenamento de atividades de operação e manutenção internas em edificações existentes, baseando-se em

simulações, predição de acontecimentos, análises hipotéticas e otimizações, bem como utilizando a necessidade dos ocupantes para aferir as tomadas de decisão.

Figura 25 - Unidades de coletas de dados



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.4.1 Coleta documental (U1)

A unidade de análise 1 (U1) consiste em **técnica documental**, que costuma ser um passo inicial para operacionalizar pesquisas. Nesse caso, serão utilizados documentos secundários, transcritos de fontes e registros produzidos por outras pessoas ou organizações (Dresch; Lacerda; Antunes Júnior, 2015). Esse procedimento tem como objetivo identificar os requisitos de operação e manutenção do setor selecionado e seguirá os procedimentos apresentados no Quadro 22.

O protocolo de coleta documental foi desenvolvido a partir do referencial teórico e poderá sofrer alterações em decorrência dos tipos de informações disponibilizados

pela Divisão de Engenharia e Projetos (DIEP), que faz parte do Departamento de Gestão de Serviços do Complexo Administrativo do Estado (DCGAE).

Quadro 22 - Procedimentos para coleta documental

<b>Procedimentos para coleta documental</b>
<p><b>Identificação dos documentos a serem coletados</b> Serão coletados os relatórios de manutenção disponíveis no DCGAE, bem como planilhas, imagens e plantas.</p>
<p><b>Método de coleta e análise dos dados</b> Os dados coletados serão organizados por meio do Google Sheets e Google Docs e analisados de acordo com os seguintes critérios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● tipos de intervenções solicitadas nos últimos 5 anos para reformas e manutenções internas SUAD;</li> <li>● recorrência das alterações solicitadas (semanal, mensal, anual);</li> <li>● sistemas automatizados e <i>softwares</i> utilizados para monitoramento das manutenções;</li> <li>● equipamentos IoT disponíveis do setor (câmeras, ar-condicionado, etc.).</li> </ul>
<p><b>Participantes envolvidos</b> Responsável pela gestão dos chamados da manutenção e DIEP, que disponibilizará os documentos a serem analisados.</p>
<p><b>Cronograma</b> O período de aplicação desse procedimento ocorreu em outubro de 2023, de forma prévia, e em dezembro de 2023 as informações foram confirmadas, de acordo com o cronograma desta pesquisa. Foram executadas uma reunião <i>on-line</i>, uma reunião presencial para coleta e esclarecimentos e dois envios de documentos via <i>e-mail</i>. O projeto foi aprovado pela Comissão de Pesquisa da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (COMPESQ_ARQ UFRGS); CAAE: 74867623.5.0000.5347.</p>
<p><b>Recursos necessários</b> Computador pessoal da pesquisadora e recursos pessoais para deslocamento até o local.</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.4.2 Observação direta (U2)

A unidade de análise 2 (U2) consiste em **observação direta**, a qual permite identificar características do processo em estudo a partir de um planejamento prévio (Dresch; Lacerda; Antunes Júnior, 2015). Assim, visa identificar as características do processo de criação do GD considerando a captura do objeto físico e modelagem virtual. Os procedimentos para observação estão dispostos no Quadro 23.

A imersão inicial, que ocorreu a partir de junho de 2023, permitiu acompanhar o caso de forma ativa. A pesquisadora teve a oportunidade de assistir aulas previstas no edital nº 0071/2022 (Rio Grande do Sul, 2022b) para consultoria em modelagem sobre nuvem de pontos. Durante o acompanhamento dessa etapa, foram feitos

relatórios dos itens gerais observados (Apêndice I). O protocolo da observação direta foi desenvolvido a partir do cruzamento dos conhecimentos adquiridos para composição do referencial teórico e da imersão inicial efetuada. Para validação e testagem, o protocolo foi apresentado à gerente do LaBIM/RS, coordenadora do projeto-piloto.

Quadro 23 - Procedimentos para a observação direta

<b>Procedimentos para condução da observação direta</b>
Fase de elaboração de um modelo virtual do CAFF, que será desenvolvido no LaBIM/RS.
<p><b>Roteiro de observação para o pesquisador</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Qual tipo de sensor é utilizado para a coleta da realidade (físico).</li> <li>2. Como os dados capturados são processados.</li> <li>3. Para qual função é utilizada a captura da realidade em relação ao modelo digital (para modelagem; para visualização; para verificações).</li> <li>4. Quais <i>hardwares</i> e <i>softwares</i> são utilizados para modelagem BIM.</li> <li>5. Como a equipe multidisciplinar está dividida.</li> <li>6. Quais os níveis de conhecimento de modelagem dos integrantes das equipes; se há nivelamento.</li> <li>7. Quais as disciplinas e os critérios para a formação das equipes.</li> <li>8. A partir de quais aspectos são definidos os requisitos de modelagem e informações.</li> <li>9. Nível de modelagem definida – quais critérios estabelecem esse nivelamento.</li> <li>10. Quais <i>softwares</i> são utilizados para visualização e integração de disciplinas (p. ex. Navisworks, Forge).</li> <li>11. Como são organizados os arquivos (por disciplinas, modelagem, em sistema de módulos, em um servidor).</li> <li>12. Quais recursos de interoperabilidade são definidos para o modelo (ISO, IFC, COBie).</li> <li>13. Dificuldades relatadas pelas equipes de modelagem durante o processo.</li> <li>14. Outros aspectos: situações pontuais que forem relevantes na observação serão adicionadas a essa categoria.</li> </ol>
<p><b>Participantes envolvidos</b></p> <p>Equipe multidisciplinar composta por arquitetos e engenheiros vinculados a diferentes secretarias, como Planejamento, Governança e Gestão (SPGG), Educação (SEDUC), Obras Públicas (SOP), Sistemas Penal e Socioeducativo (SSPS) e Habitação e Regularização Fundiária (SEHAB).</p>
<p><b>Cronograma</b></p> <p>A equipe participante reúne-se nas quartas-feiras, das 8h às 12h e das 13h30 às 17h, no LaBIM/RS.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. A imersão inicial ocorreu de 7 junho de 2023 a 25 outubro de 2023, totalizando 11 visitas presenciais (relatório da observação e histórico de visitas disponíveis no Apêndice I).</li> <li>2. A observação direta ocorreu por meio de acompanhamento de aulas <i>on-line</i> e duas visitas presenciais em dezembro de 2023, seguindo o cronograma previsto para esta pesquisa (relatório da observação e histórico de visitas disponíveis no Apêndice I).</li> </ol> <p>O projeto foi aprovado pela COMPESQ_ARQ UFRGS; CAAE: 74867623.5.0000.5347.</p>
<p><b>Recursos necessários</b></p> <p>Computador pessoal da pesquisadora, celular para registro fotográfico e recursos pessoais para deslocamento até o local.</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.4.3 Questionário (U3)

O questionário consiste na aplicação de uma série de perguntas a um grupo de entrevistados (Dresch; Lacerda; Antunes Júnior, 2015). Considerando que diversos fatores (ambientais, pessoais e outros) têm impacto nas condições de conforto relacionadas ao espaço interno, o questionário foi projetado para obter o *feedback* dos ocupantes do setor em relação a tais aspectos. A organização estruturante do questionário é apresentada no Quadro 24, bem como o *link* de acesso ao questionário enviado, também apresentado no Apêndice F, de acordo com as exigências da Comissão de Pesquisa.

Quadro 24 - Elaboração do questionário

(Continua)

Elaboração do questionário
<p>O questionário será anônimo e foi projetado para obter o <i>feedback</i> dos ocupantes sobre as percepções pessoais em relação aos fatores que podem influenciar positiva e negativamente suas necessidades em relação ao espaço. As perguntas serão fechadas e as respostas serão dispostas em escala Likert de 5 pontos, considerando: 1 – influencia negativamente; 2 – quase negativamente; 3 – indiferente; 4 – quase positivamente; e 5 – influencia positivamente.</p>
<p><b>Primeira seção: conforto ambiental</b></p> <p>Nesta seção, responda às questões a seguir relacionando como, na sua percepção pessoal, os fatores citados influenciam as atividades que você desempenha dentro da edificação.</p> <p>Onde: 1 influencia negativamente (-) e 5 influencia positivamente (+). São considerados fatores ambientais de conforto visual, acústico, térmico, atributos arquitetônicos do edifício, mobiliários e leiaute dos espaços.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. A luz natural que incide no espaço influencia o desempenho das suas atividades?</li> <li>2. A distribuição de iluminação artificial disposta no ambiente influencia suas atividades?</li> <li>3. Ter visão para área externa, através de janelas, influencia o desempenho das suas atividades?</li> <li>4. O nível de ruído percebido vindo da área externa influencia suas atividades?</li> <li>5. O nível de ruído percebido vindo do ambiente interno, salas próximas ou corredores, influencia suas atividades?</li> <li>6. A sensação térmica, temperatura, umidade e velocidade do ar percebido no espaço influenciam suas atividades?</li> <li>7. O formato do edifício, como ele foi construído, a idade da edificação, têm impacto no conforto interno dos espaços e, conseqüentemente, nas suas atividades?</li> <li>8. O modelo das esquadrias impacta o conforto interno dos espaços?</li> <li>9. O leiaute do ambiente e a distribuição do mobiliário impactam na praticidade e na funcionalidade do espaço?</li> <li>10. Os espaços livres entre os mobiliários impactam a circulação e fluidez dos espaços?</li> </ol>

### Elaboração do questionário

#### Segunda seção: fatores pessoais

Nesta seção, responda às questões a seguir relacionando como, na sua percepção pessoal, os fatores citados influenciam as atividades que você desempenha dentro da edificação.

Onde: 1 influencia negativamente (-) e 5 influencia positivamente (+). São considerados fatores comportamentais, condições mentais, informações espaciais, limpeza e privacidade.

1. Os mobiliários dispostos no ambiente (cadeiras e mesas de trabalho) impactam o seu conforto e necessidades pessoais de que forma?
2. A necessidade de ajustar a ventilação e a temperatura do espaço quando necessário impactam suas atividades?
3. Quando necessário, levantar-se para manipular ar-condicionado, ventilador ou abrir e fechar janelas, gera impacto nas suas atividades de que forma?
4. Quando são fornecidas informações sobre o ambiente que auxiliam a adaptar o seu comportamento, como isso impacta você? Por exemplo: letreiros indicativos de como usar os espaços, banheiros, comportamentos adequados, etc.
5. Em geral, o ambiente em que você trabalha é confortável? Impacta de que forma o desempenho das atividades?
6. Como você sente que o ambiente influencia o seu bem-estar mental e emocional?
7. Sinalizações do espaço, direções, nomes de setores, etc., disponíveis de forma clara e direta influenciam suas atividades de que forma?
8. Manter higiene, limpeza e manutenção dos espaços impacta sua rotina de atividades de que forma?
9. Ter privacidade no ambiente impacta suas atividades de que forma?
10. Decorações aplicadas em datas comemorativas impactam o ambiente de que forma?

#### Terceira seção: outros fatores pessoais

Considerando que diversos fatores (ambientais, pessoais, entre outros) têm impacto nas condições de conforto relacionadas ao espaço interno, este questionário foi projetado para obter o *feedback* dos ocupantes do setor em relação a tais aspectos. Assim, responda à questão a seguir relacionando como, na sua percepção pessoal, os fatores citados influenciam as atividades que você desempenha dentro da edificação.

1. Levando em consideração outros fatores que possam influenciar sua sensação de conforto com o espaço e que não tenham sido mencionados nas perguntas anteriores, por favor, indique palavras relacionadas à sua percepção de conforto e necessidades em relação ao ambiente.

#### Seleção da amostra

A amostra selecionada para avaliação qualitativa das informações se deu por conveniência, tendo em vista que o setor selecionado (SUAD) será modelado digitalmente pela empresa contratada via edital (Rio Grande do Sul, 2022b) e a entrega corresponde ao tempo determinado para esta pesquisa.

#### Procedimentos de aplicação

A aplicação do questionário será realizada via Google Forms.

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) conforme aprovação pelo Sistema CEP, é apresentado na primeira página do questionário, informando ao participante todos os riscos e benefícios associados à pesquisa. *Link* para o formulário: <https://forms.gle/EE8U45i2JYovCY9SA>

#### Participantes envolvidos

No setor estão dispostos 139 ocupantes, entre servidores e diretores.

O questionário foi enviado por *e-mail* diretamente aos servidores das divisões e departamentos pertencentes à SUAD de forma individual. Garantiu-se, dessa forma, o anonimato dos participantes, visto que através do *link* do questionário não foram coletados *e-mails* nem quaisquer outras informações pessoais.

<b>Elaboração do questionário</b>
<p><b>Cronograma das atividades</b>  O período de aplicação desse procedimento seguiu o cronograma previsto para pesquisa. O questionário foi enviado dia 3 de janeiro de 2023 e ficou aberto para coleta de dados durante 20 dias corridos, sendo reenviado quatro vezes ao longo desse período.  O projeto foi aprovado pela COMPESQ_ARQ UFRGS; CAAE: 74867623.5.0000.5347.</p>
<p><b>Recursos necessários</b>  Computador pessoal da pesquisadora.</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

O protocolo de questionário foi desenvolvido a partir do referencial teórico que relaciona a necessidade dos ocupantes às condições internas do ambiente construído (seção 2.3.1). Não foram considerados aspectos fisiológicos como idade, peso, massa corporal e gênero, pois compreendeu-se que tais questionamentos poderiam gerar constrangimento aos ocupantes, além disso, para os fins desta investigação, essas informações não eram necessárias. Para validação das questões e aferimento do tempo proposto para preenchimento, o questionário foi enviado para cinco pessoas que já tinham conhecimento prévio sobre a pesquisa: a gerente do projeto BIMGov-RS, a diretora do DGCAE/SUAD, o analista de planejamento, orçamento e gestão da DIEP e o coordenador e o gerente do LaBIM/RS.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os procedimentos metodológicos que conduziram esta investigação, tendo sido descritas as características da pesquisa quanto a finalidade, propósitos gerais e abordagem (seção 3.1). O método adotado foi o estudo de caso único integrado e as três primeiras etapas do método foram descritas conforme Yin (2015). A seção 3.2 (definir) indica como ocorreram as definições iniciais norteadoras do estudo; na seção 3.3 (projetar), apresentam-se a triagem e a seleção do caso em estudo; e, na seção 3.4 (preparar), são definidas quais as unidades de análise, como elas se encontram no caso e como são estruturados os protocolos de coleta de dados. No próximo capítulo serão apresentadas as etapas coletar e analisar.

## 4 COLETAR E ANALISAR

Na etapa **coletar e analisar**, apresentam-se os resultados das informações coletadas de acordo com as unidades de análise apresentadas no capítulo anterior: coleta documental (U1), observação (U2) e questionário (U3). Tratando-se de uma pesquisa qualitativa, ao descrever os dados coletados de maneira detalhada nesta fase, o objetivo é identificar padrões que possam fornecer explicações sobre as informações obtidas (Gibbs, 2009). Em seguida, propõe-se identificar qual o estágio da evolução GD foi alcançando conforme a base teórica apresentada na seção 2.2.

### 4.1 ORDENAMENTO DE ATIVIDADES DA SUBSECRETARIA ADMINISTRATIVA (U1)

A primeira unidade de análise (U1) visa identificar os requisitos que norteiam as operações e manutenções do setor selecionado (SUAD) – o relatório com protocolo inicial está disponível no Apêndice H. Os dados foram extraídos do Sistema Integrado de Solicitações (SIS), presente na intranet da Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG).

#### 4.1.1 Sistema Integrado de Solicitações

O sistema utilizado para formalizar as solicitações de manutenção foi adaptado pelos servidores priorizando a dinâmica de abertura e atendimento de ordens de serviço. Para o desenvolvimento, utilizou-se um *software* livre (GLPI) criado originalmente para atender a chamados de informática.

O programa apresenta uma interface organizada e intuitiva, mas possui algumas limitações quanto a configurações mais avançadas em decorrência de ter sido adaptado para essa função. Segundo o relato do responsável pela gestão dos chamados da manutenção,

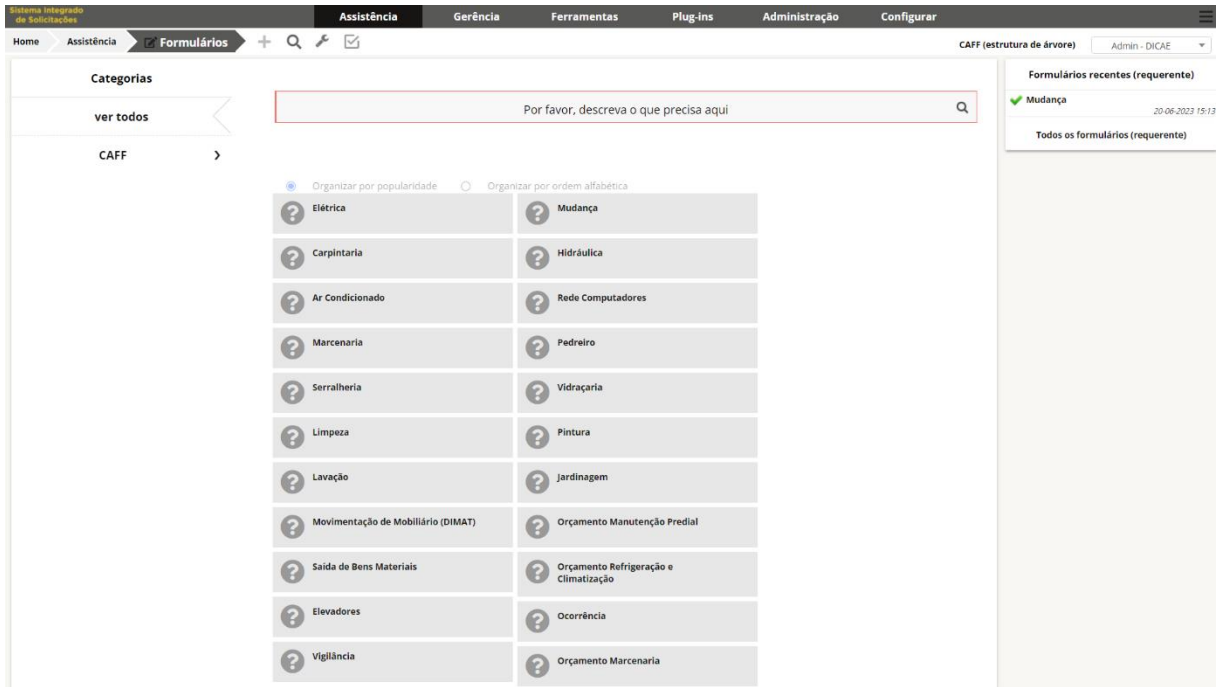
“Por ser desenvolvida internamente a partir de um *software* livre criado para outro fim, a ferramenta presta informações superficiais sobre as ocorrências que demandaram atuação de manutenção predial. Prioritariamente, têm-se: a data de abertura do chamado, a prioridade do atendimento, a localização, o *status* atual do chamado (pendente ou fechado) e a categoria principal da atividade demandada. A ferramenta tem evoluído em alguns aspectos, como a descrição das atividades relacionadas à ordem de serviço, mas sem gerar



novos dados, pois a informação encontra-se apenas no texto de abertura do chamado.” (Relato do servidor).

A Figura 26 apresenta a interface do sistema no momento da solicitação, com os possíveis grupos de serviços habilitados para requerimento de manutenção.

Figura 26 - Interface do sistema no momento da requisição



Fonte: Imagem obtida pela captura de tela do servidor responsável.

Mesmo assim, o sistema permite gerar um documento explicitando as subcategorias pertencentes a cada grupo de serviços habilitados. Essas informações foram transpostas para fins da organização dos dados da pesquisa e são apresentadas no Quadro 25. Notam-se categorias variadas e itens que abrangem manutenções internas e externas da edificação.

Quadro 25 - Relação de categorias e subcategorias

(Continua)

Categorias/subcategorias	Itens específicos	Ações
<b>Limpeza e conservação</b>		
Atividades gerais		
Jardinagem		
Lavação	Com máquina enceramento	
	Enceramento	
Limpeza		

(Conclusão)

<b>Categorias/subcategorias</b>	<b>Itens específicos</b>	<b>Ações</b>
<b>Manutenção predial</b>		
Apoio a outras equipes		
Carpintaria		
Elétrica	Disjuntor	Instalar/readequar/remover
	Equipamentos/objetos gerais	Consertar/instalar/readequar/remover/trocar
	Lâmpadas	Descartar/trocar
	Rede elétrica	Consertar/readequar
	Tomadas	Consertar/instalar/readequar/remover
Elevadores	Iluminação	
	Velocidade subida ou descida	
	Ventilação	
Hidráulica		
Mudança		
Mudança <i>layout</i>		
Pedreiro		
Pintura		
Rede de computadores		
Serralheria		
Vidraçaria		
<b>Marcenaria</b>		
Mobiliário		Confecção/conserto/remanejo
Orçamento		
<b>Orçamento</b>		
Limpeza e conservação		
Manutenção predial	Alvenaria (pedreiro)	
	Carpintaria	
	Elevadores	
	Mudança	
	Pintura	
	Rede elétrica	
	Rede hidráulica	
	Rede lógica (computadores)	
	Serralheria	
Vidraçaria		
Marcenaria		
Refrigeração e climatização		
Vigilância		
<b>Refrigeração e climatização</b>		
Ar-condicionado		
Equipamentos diversos		
<b>Vigilância</b>		
Apoio		
Ocorrência		
Outros		

Fonte: Elaborado pela autora com base no documento gerado pelo GLPI PDF export.

Em relação às categorias, não existe uma descrição orientando os servidores sobre quais tipos de serviços podem ser abertos em cada uma das categorias. Mesmo que algumas delas sejam intuitivas e o próprio nome já sirva para descrever o tipo de

serviço habilitado, há categorias nas quais a compreensão é ambígua e ocasiona equívocos, como é o caso de carpintaria e marcenaria.

- **Mudança:** chamados de carregadores, por exemplo, carregar caixas e restos de materiais.
- **Mudança de *layout*:** chamados para mudar mobiliários, por exemplo, alterar uma mesa de lugar.
- **Alteração de *layout*:** somente os servidores da DIEP podem solicitar, é um processo aberto somente quando uma alteração de leiaute vai ser executada. Até junho de 2023, eram abertas ordens de serviços para cada alteração “filha” necessária para alteração do leiaute, por exemplo, elétrica, pintura, serralheira.

A segunda interface habilitada após a seleção da categoria é o formulário para efetuar a solicitação, contendo dados gerais com as seguintes informações: para quem é o atendimento, a localização, o telefone de contato e a urgência. Detalha-se também o tipo de intervenção e há espaço para descrever melhor a situação, conforme demonstra a Figura 27.

Figura 27 - Interface do formulário de preenchimento

A imagem mostra a interface de um sistema web para a categoria 'Elétrica'. O formulário é dividido em duas seções principais: 'Dados Gerais' e 'Detalhamento'.  
Na seção 'Dados Gerais', há os seguintes campos:

- 'Este atendimento é para quem?': campo de seleção com uma seta para baixo.
- 'Localização': campo de seleção com uma seta para baixo.
- 'Telefone de Contato': campo de texto.
- 'Urgência': campo de seleção com 'Média' selecionado.

Na seção 'Detalhamento', há:

- 'Tipo': campo de seleção com uma seta para baixo.
- 'Descrição': campo de texto com uma barra de ferramentas de formatação (bold, itálica, cor, tamanho, alinhamento, lista, link, deslink, imagem, vídeo, código) e um ícone de desfazer.

Um botão amarelo 'Enviar' está localizado na base do formulário. O cabeçalho do sistema mostra 'Assistência' selecionado no menu principal, e 'CAFF (estrutura de árvore)' e 'Admin - DICAÉ' no topo direito.

Fonte: Imagem obtida pela captura de tela do servidor responsável.

O sistema utilizado registra manutenções corretivas (reativas) de forma não programada, ou seja, os chamados são abertos quando a ocorrência já está em um estágio de reparação necessária. A categoria orçamento pode ser considerada manutenção preventiva e, conseqüentemente, programada. Outra característica desse sistema de registros é que todos os servidores estão habilitados para abrir uma ocorrência e indicar a urgência; após aberta, não é possível excluí-la ou corrigi-la.

Após abertas, as solicitações no sistema podem ser monitoradas pelos usuários através da aba “chamados”. A Figura 28 mostra essa interface a qual todos os servidores têm acesso.

Figura 28 - Interface monitoramento dos chamados

ID	Título	Status	Data de abertura	Prioridade	Tempo para solução	Última atualização
23 594	arte da	Em atendimento (planejado)	11-01-2024 08:46	Média	16-01-2024 08:46	16-01-2024 08:16
23 565	0004597-	Em atendimento (planejado)	10-01-2024 10:43	Média	15-01-2024 10:43	10-01-2024 14:44
20 101		Solucionado	29-08-2023 16:26	Alta	31-08-2023 16:26	29-08-2023 17:16
18 727	e trabalho	Solucionado	04-07-2023 09:24	Média	06-07-2023 14:32	05-07-2023 14:33
18 706	ica na estação	Solucionado	03-07-2023 11:57	Média	05-07-2023 08:55	04-07-2023 09:09
17 648		Solucionado	17-05-2023 10:50	Baixa	22-05-2023 20:33	24-05-2023 22:08

Fonte: Imagem obtida pela captura de tela do servidor responsável.

A seguir, serão descritas as intervenções de reformas e manutenções levantadas em relação à frequência com que são solicitadas no sistema.

#### 4.1.2 Recorrências de intervenções para reformas e manutenções internas da Subsecretaria Administrativa

Desde 2021, os registros passaram a ser documentados por meio do SIS. Dessa forma, foram documentadas 2.093 ações entre março de 2021 e dezembro de 2023,

totalizando, assim, 34 meses de registros sobre manutenções solicitadas para o setor, identificados por ID da ordem de serviço, título da ocorrência, entidade, *status*, data de abertura, prioridade, tempo para solução e localização. Para fins de demonstração de como as informações estão organizadas a partir desse sistema, o Quadro 26 apresenta um dos registros.

Quadro 26 - Organização dos dados obtidos via Sistema Integrado de Solicitações

Itens	Descrição
<b>ID</b>	Identificação da ordem de serviço
<b>Título/descrição</b>	Manutenção predial – elétrica – “Bom dia, necessito da troca de 5 lâmpadas led na unidade. Estamos com algumas piscando. Agradeço”
<b>Entidade</b>	CAFF > SPGG
<b>Status</b>	Fechado
<b>Data de abertura</b>	10/08/2021 – 08:24:00
<b>Prioridade</b>	Média
<b>Tempo para solução</b>	11/08/2021 – 08:24:00
<b>Localização</b>	SPGG - 1º

Fonte: Elaborado pela autora com base no documento disponibilizado via Google Sheets.

No item **ID** é registrado o número da ordem de serviço; em **título**, nota-se que as duas primeiras descrições são as categorias e subcategorias habilitadas por seleção e, em seguida, a descrição da atividade de forma personalizada – como a tarefa pode ser aberta por qualquer servidor, existe uma grande variação nos padrões encontrados para cada solicitação. A **entidade** nos dados acessados sempre será CAFF-SPGG; como o complexo tem outras edificações, essa informação pode variar para os demais setores. A **data de abertura** é gerada automaticamente pelo sistema e a **prioridade** é relatada pelo servidor que abriu a ocorrência, o que impacta na compreensão da intervenção, podendo haver atribuição equivocada em relação à urgência para o reparo.

Quanto ao **status**, a solicitação só pode ser considerada resolvida/fechada pela equipe técnica responsável pela manutenção (diversos serviços contam com técnicos terceirizados que não têm acesso ao sistema para finalizar a tarefa). Essa atualização ocorre de forma manual e pode ficar como não resolvida mesmo quando já solucionada, fluxo que impacta no tempo para solução, podendo estar equivocado em alguns casos. Quanto à **localização** exata da intervenção, a seção habilita a identificação de andares e alguns setores, gerando, assim, a necessidade de

conferência e verificação da situação real ou maiores detalhes descritos em formato de texto.

Após a etapa de coleta das informações descritas, houve uma atualização do sistema, sendo adicionado a possibilidade de **complemento da localização** (Figura 29), visando reduzir a necessidade de verificação. A atualização foi recebida em 26 de janeiro de 2024 e retrata o processo contínuo de melhoria do sistema, porém, para a análise dos requisitos, não foram gerados novos registros, mantendo-se o período de 24 de março de 2021 (11h21) a 5 de dezembro de 2023 (15h24).

Figura 29 - Interface do formulário melhorias

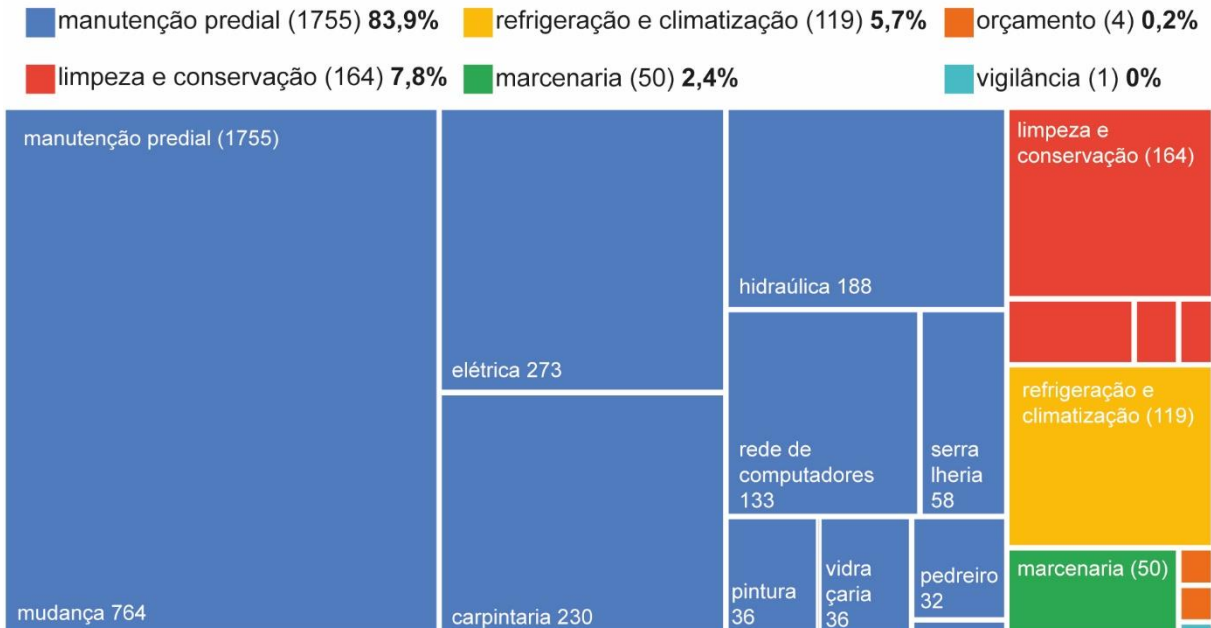
The image shows a web interface for a request system. At the top, there's a navigation bar with 'Home', 'Formulários', and 'Chamados'. The user is logged in as 'SPGG' with a 'Perfil Básico' dropdown. The main content area is titled 'Elétrica' and contains a form with two main sections: 'Dados Gerais' and 'Detalhamento'. The 'Dados Gerais' section has several fields: 'Este atendimento é para quem?' with a dropdown set to 'Para mim'; 'Localização' with a dropdown set to 'SPGG - 1ª'; 'Complemento da Localização' with a text input field and a red asterisk indicating a required field with a note: '\* Acrescente uma referência (Divisão/Setor, "Próximo à..", "Na frente do.."), se necessário.'; 'Telefone de Contato' with a text input field; and 'Urgência' with a dropdown set to 'Média'. The 'Detalhamento' section has a 'Tipo' dropdown and a 'Descrição' field with a rich text editor toolbar below it.

Fonte: Imagem obtida pela captura de tela do servidor responsável.

Na Figura 30, são apresentados os dados obtidos a partir do referido documento em um gráfico mapa de árvore.

Das categorias habilitadas para solicitações no sistema, a que possui maior número de registros é **manutenção predial** (1.755 registros – 83,9%), dos quais se destacam os números de solicitações vinculadas às subcategorias **mudanças** (764 – 36,5%), **elétrica** (273 – 13%), **carpintaria** (230 – 11%), **hidráulica** (188 – 9%), **rede de computadores** (133 – 6,4%) e **serralheria** (58 – 2,8%). A categoria **limpeza e conservação** possui 164 – 7,8% registros, seguido de **refrigeração e climatização**, com 119 – 5,7% registros, e, por fim, **marcenaria**, com 50 – 2,4% registros.

Figura 30 - Recorrência de categorias e subcategorias



Fonte: Elaborado pela autora com base no documento fornecido pela instituição.

Visando preservar os nomes dos servidores, que em alguns casos assinam as descrições dos serviços, a lista original das intervenções fornecida pelo responsável pela gestão dos chamados da manutenção não será adicionada ao corpo desta pesquisa. As ocorrências com menor número de registros encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Número de recorrência de categorias e subcategorias

(Continua)

Categoria	Subcategoria	Ocorrências	Porcentagem
Manutenção predial	Mudança	764	36,5%
	Elétrica	273	13%
	Carpintaria	230	11%
	Hidráulica	188	9%
	Rede de computadores	133	6,4%
	Serralheria	58	2,8%
	Pintura	36	1,7%
	Vidraçaria	36	1,7%
	Pedreiro	32	1,5%
	Mudança de <i>layout</i>	5	0,2%
		<b>1.755</b>	<b>83,9%</b>
Limpeza e conservação	Limpeza	122	5,8%
	Lavação	28	1,3%
	Jardinagem	8	0,4%

(Conclusão)

<b>Categoria</b>	<b>Subcategoria</b>	<b>Ocorrências</b>	<b>Porcentagem</b>
	Atividades gerais	6	0,3%
		<b>164</b>	<b>7,8%</b>
Refrigeração e climatização		<b>119</b>	<b>5,7%</b>
Marcenaria		<b>50</b>	<b>2,4%</b>
Orçamento	Vidros	2	0,1%
	Climatização	2	0,1%
		<b>4</b>	<b>0,2%</b>
Vigilância		<b>1</b>	<b>0,0%</b>
Total de registros 2021 a 2023		<b>2.093</b>	

Fonte: Elaborada pela autora com base no documento fornecido pela instituição.

Para análise do conteúdo de dados textuais descritos nas ocorrências, utilizouse o *software* livre IRAMUTEQ<sup>5</sup> para análise estatística do *corpus* textual.

#### 4.1.3 Análise dos registros textuais

Para compor o *corpus* textual da análise, foram selecionadas as descrições habilitadas nas categorias com mais de 50 ocorrências, sendo: mudança, elétrica, carpintaria, hidráulica, rede de computadores, limpeza e conservação, refrigeração e climatização, e serralheria e marcenaria. Nem todas as ocorrências possuíam descrições, pois quando se iniciou a utilização do SIS, essa opção não estava habilitada.

As ocorrências foram selecionadas e organizadas em formato de texto contínuo, sendo separadas em nove textos, conforme as categorias supracitadas. Foram executadas quatro análises teste, as quais serviram para aprimoramento do *corpus* textual. Durante os testes, foram identificadas palavras repetidas que poderiam impactar a análise estatística do conteúdo, assim, foram retiradas as seguintes: bom dia, boa tarde, solicitar, solicitação, prezados, DIMAT e DINFO, além de alguns nomes próprios de servidores que apareciam em maior quantidade. Os nove textos inseridos no *software* foram reclassificados em 30.564 ocorrências (segmentos de texto [ST]) e

<sup>5</sup> O IRAMUTEQ é um *software* de análise textual que funciona ancorado ao programa estatístico R e gera dados a partir de textos e tabelas. Os resultados das análises demonstram a posição e a estrutura das palavras em um texto, ligações e outras características textuais, as quais permitem detectar indicadores e, assim, visualizar intuitivamente a estrutura e ambientes do texto a ser analisado (Souza *et al.*, 2018).

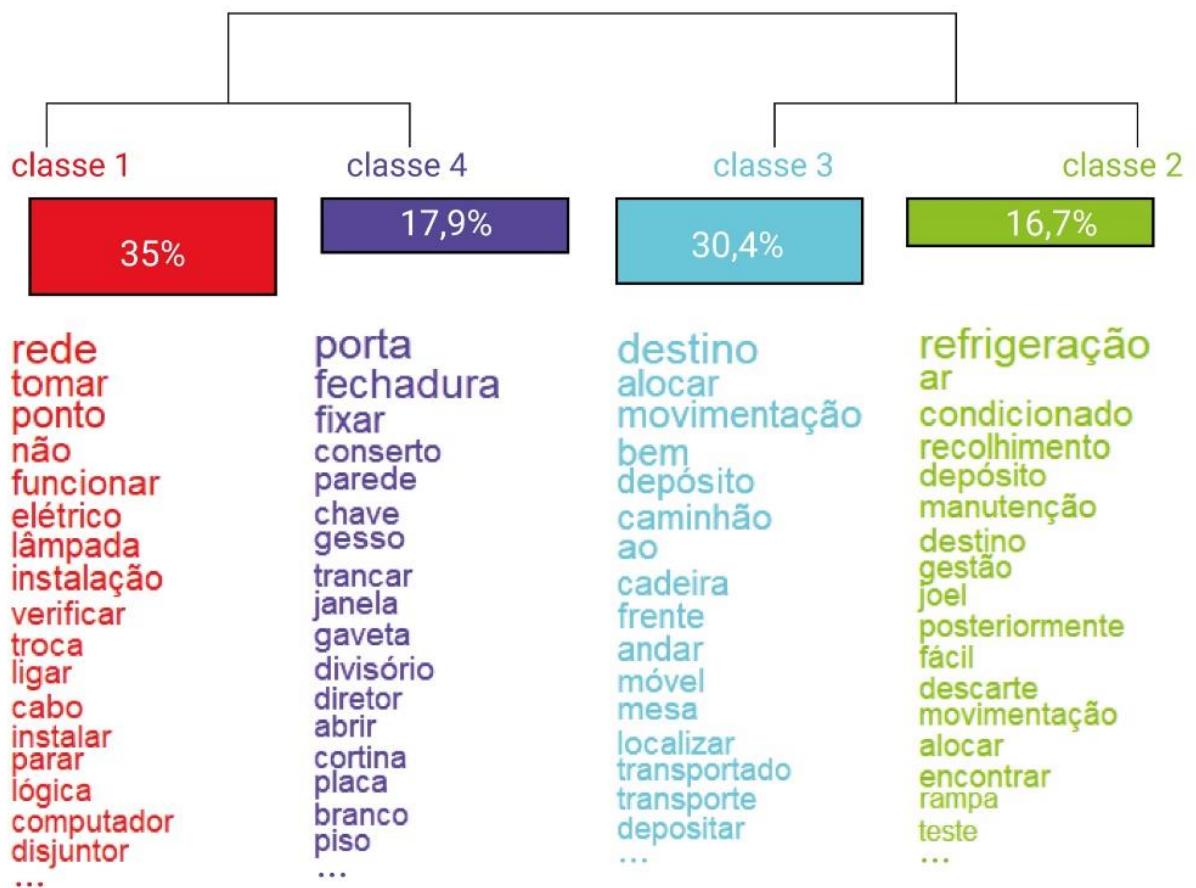


em 2.576 formas, onde havia 1.229 hapax (palavras com uma única frequência) e uma média 3.396 ocorrências por textos.

Utilizou-se a classificação hierárquica descendente (CHD) disponível no *software*, na qual é possível visualizar classes de ST que apresentam semelhanças entre si. Criou-se, assim, um dendrograma de classes no qual é possível identificar, a partir das categorias (Figura 31), quatro classes de palavras relacionadas entre si, processadas pelo *software* da seguinte forma:

- Classe 1: 35% (elétrica, rede de computadores, hidráulica).
- Classe 2: 16,7% (refrigeração e climatização).
- Classe 3: 30,4% (mudanças).
- Classe 4: 17,9% (carpintaria, serralheria, marcenaria e limpeza).

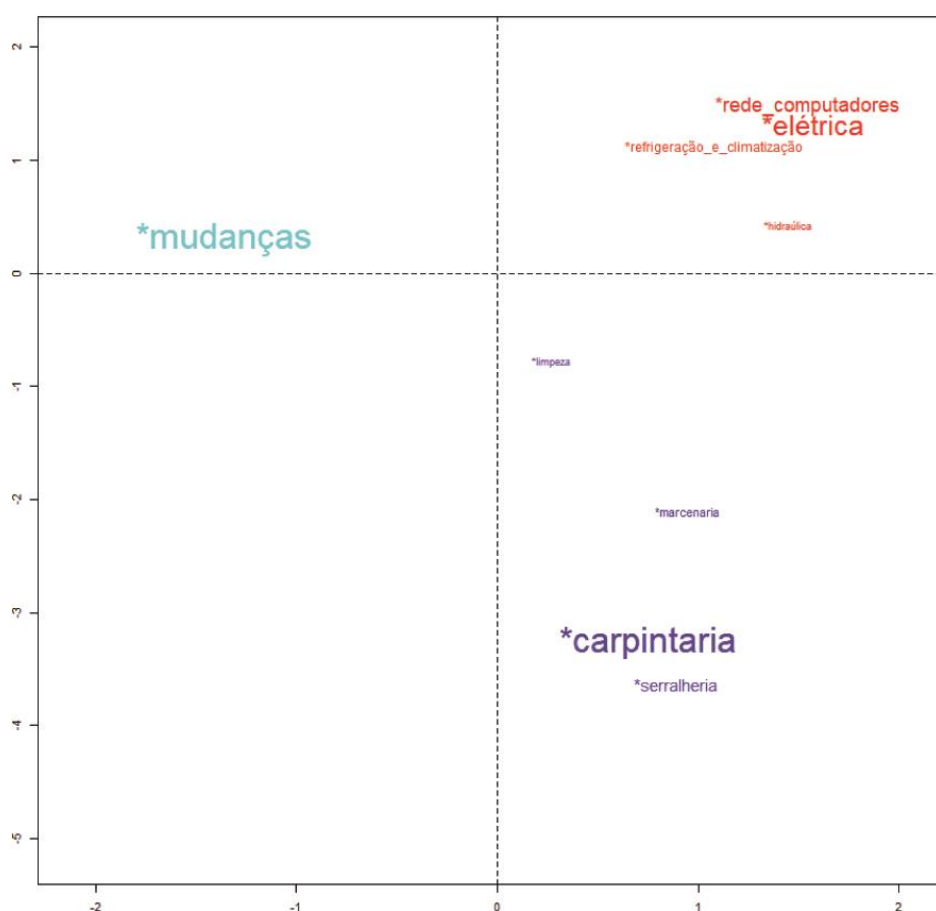
Figura 31 - Dendrograma CHD



Fonte: Elaborada pela autora com base no relatório fornecido pelo *software* IRAMUTEQ.

Essas classes estão correlacionadas da seguinte forma: classe 1 – classe 4 e classe 2 – classe 3, cujas relações, representadas na Figura 31, são visíveis de forma gráfica no dendrograma CHD com a porcentagem de Unidades de Contexto Elementar (UCE), o que significa que é possível visualizar as palavras que obtiveram maior porcentagem quanto à frequência média entre elas. Por meio dos gráficos apresentados a seguir identificam-se as relações de proximidade das categorias (Figura 32) e a relação de proximidade das palavras distribuídas em cada uma delas (Figura 33).

Figura 32 - Gráficos CHD proximidade de categorias



Fonte: Elaborada pela autora com base no relatório fornecido pelo *software* IRAMUTEQ.

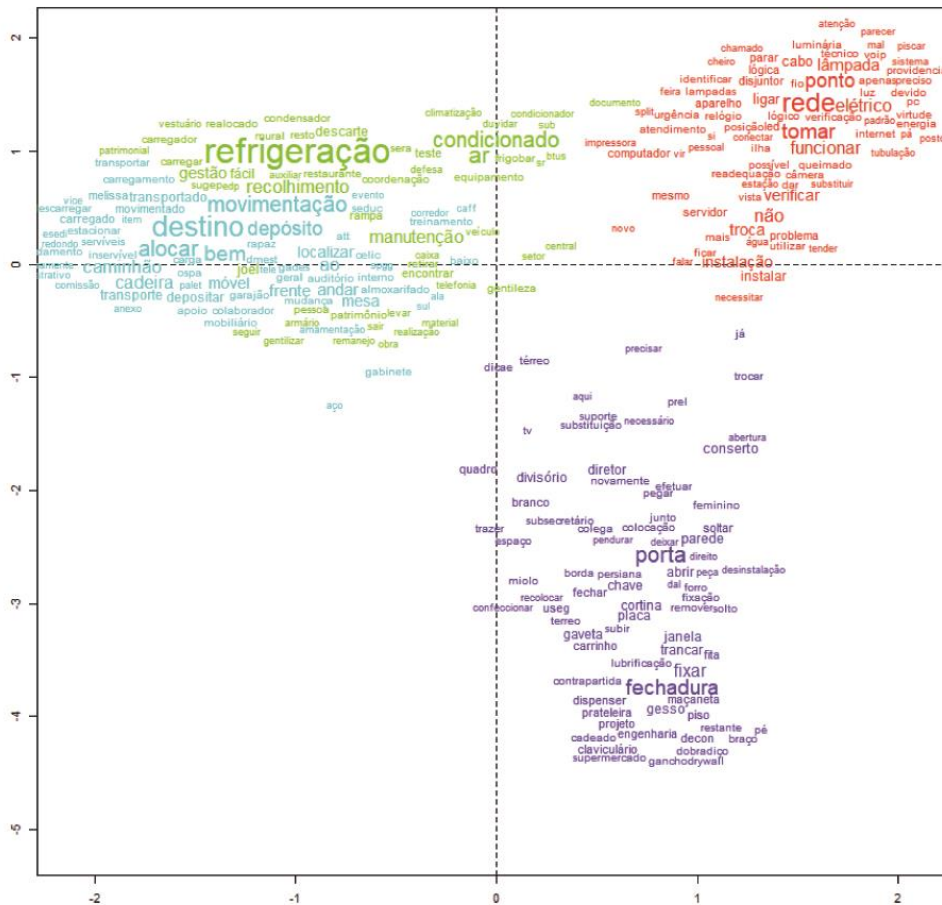
Pode-se observar, a partir dessa análise, que as intervenções de manutenções solicitadas pelos servidores estão relacionadas a **dois principais blocos de atividades**.

O **primeiro bloco** (52,9%) é provocado por questões vinculadas a consertos e intervenções de infraestrutura. Na **classe 1**, os chamados caracterizam funções de

manutenção que podem estar vinculadas a questões de infraestrutura da edificação, como consertos em geral, elétricos, hidrossanitários e da rede lógica. A **classe 4** retrata intervenções ligadas a ajustes de divisórias e de esquadrias internas, reparos de gesso e fixação de elementos.

O **segundo bloco** (47,1%) é provocado por questões vinculadas a mudanças, movimentações e descartes. É composto pela **classe 3**, cujas atividades retratam situações de movimentação, deslocamento e transporte de mobiliários e equipamentos, e pela **classe 2**, que representa as questões de manutenção dos ar-condicionados, recolhimento e descartes para depósito.

Figura 33 - Gráficos CHD proximidade de palavras



Fonte: Elaborada pela autora com base no relatório fornecido pelo software IRAMUTEQ.

Assim, ao se analisar os registros textuais incorporados às aberturas de chamados para manutenções no SIS, observa-se maior frequência de unidades de contexto associadas às atividades de reparo de funções elétricas e lógicas do setor. Essa observação, quando comparada com o número de recorrências de categorias e

subcategorias (conforme a Figura 30), que destacam a categoria **Mudança** como a mais frequente, sugere que pode haver divergência na definição correta da categoria ao abrir-se o protocolo de manutenção.

#### 4.1.4 Equipamentos IoT e sensores

Segundo os dados disponibilizados para a pesquisa, o CAFF possui 143 câmeras de monitoramento interno, mantendo informações registradas no sistema durante 27 dias. Seu uso é intermitente e a equipe de segurança utiliza as imagens disponíveis para acompanhamento e atuação.

Está em fase de elaboração do termo de referência um projeto que prevê segurança para o CAFF e prédios anexos (Escola de Educação Infantil do CAFF [ESEDI], Manutenção e SEDUC) por meio de contratação de sistema de circuito fechado de televisão (CFTV) com integração com sistema de controle de acesso e sinalização digital interna para os prédios. A nova solução renovará os equipamentos do CFTV, dotando-os de inteligência para análise de vídeo e monitoramento 24x7 (suporte de um ambiente de tecnologia da informação [TI] durante 24 horas por dia, nos sete dias da semana), e integrará o controle de acesso com catracas liberadas prioritariamente por biometria facial. A nova instalação permitirá o controle do fluxo de pessoas nos prédios e facilitará o pronto atendimento em caso de incidentes. Quanto ao sistema de climatização, os ares-condicionados não têm integração com sistemas inteligentes, impossibilitando o monitoramento da eficiência dos aparelhos.

O Quadro 27 resume as tecnologias identificadas para o ordenamento de atividades da SUAD, com a indicação do componente e da habilidade conforme indicado em Boje *et al.* (2020), e qual a utilização atribuída ao *software/hardware* e se existe integração com outros sistemas.

Quadro 27 - Tecnologias identificadas para ordenamento de atividades

Componente (Boje <i>et al.</i> , 2020)	Software/hardware	Utilização	Habilidade (Boje <i>et al.</i> , 2020)	Status de integração
Dados	Sistema Integrado de Solicitações (SIS)	Captura das condições físicas para manutenções do setor	Armazenamento de conhecimentos	Não integrado
Dados	Câmeras de monitoramento (modelo não identificado)	Sistema de monitoramento interno	Sistema IoT	Não integrado

Fonte: Elaborado pela autora.

Os componentes identificados não têm integração com outros sistemas, todavia, as informações armazenadas sobre a captura das condições físicas para manutenções do setor podem ser utilizadas para aprimoramento de processos. O gerenciamento dessas ocorrências ocorre por meio de *softwares computer-aided facility management* (CAFM – gerenciamento de instalações auxiliado por computador) associados ao uso de *application programming interface* (API – interface de programação de aplicações), como indicado em Fialho *et al.* (2022). Por exemplo, para melhoramento dos processos e combinação de tarefas, uma possibilidade seria automatizar o fechamento dos chamados quando as tarefas fossem executadas e finalizadas, ou mesmo programar ocorrências combinadas ao executar determinados reparos – o sistema automaticamente identifica a necessidade de chamados de limpeza e transporte. A fim de programar manutenções preditivas, por exemplo, a identificação de falhas no sistema elétrico e de rede poderia ser feita por meio do processamento de dados coletados de dispositivos inteligentes ou sensores que possam medir a potência nominal dos circuitos, identificando quando haverá uma provável falha. Para validar a prioridade das ocorrências, sistemas de algoritmos de aprendizado profundo (*deep learning*), como em Hosamo *et al.* (2022), poderiam ser utilizados, visto que a prioridade da ocorrência é indicada pelos próprios servidores e não segue critérios estabelecidos.

## 4.2 MODELAGEM VIRTUAL CAFF–SUAD (U2)

A segunda unidade de análise (U2) consistiu em **observar diretamente** o processo de captura do **componente físico** e a criação do **componente virtual**, resultado do processo de levantamento cadastral digital conforme especificado no edital nº 0071/2022 (Rio Grande do Sul, 2022b). O modelo digital gerado para a SUAD foi definido como a amostra para ilustrar a identificação das características dessa etapa de criação do GD.

### 4.2.1 Captura da realidade

O processo de captura da realidade foi executado pela empresa vencedora do edital nº 0071/2022 (Rio Grande do Sul, 2022b). O escaneamento a *laser* contratado visava, de forma geral, obter o levantamento cadastral digital das fachadas externas e dos

interiores do CAFF, gerando, a partir do levantamento, o sistema de visualização de nuvens de pontos e imagens 360° coloridas.

Segundo a proposta apresentada pela empresa vencedora, utilizou-se o *scanner* terrestre FARO FOCUS S150 (Figura 34) e, de acordo com a descrição fornecida pela empresa na carta de apresentação da proposta, o equipamento

[...] possui campo de visão 360° horizontal 300° vertical, varredura por pulso *laser*, com velocidade de leitura de 1 milhão de pontos/segundo, alcance de 150 m, *laser* classe 1 (não prejudicial à visão humana, precisão angular de 19 segundos e linear a 25 m de 3,5mm). O sistema aplicado no *laser scanner* fará o alinhamento das cenas em RT, permitindo o controle de qualidade e precisão do registro das cenas ainda no local, evitando retornos às áreas e ambientes já acessados. (Rio Grande do Sul, 2022b, p. 6).

Figura 34 - Sistema de escaneamento utilizado

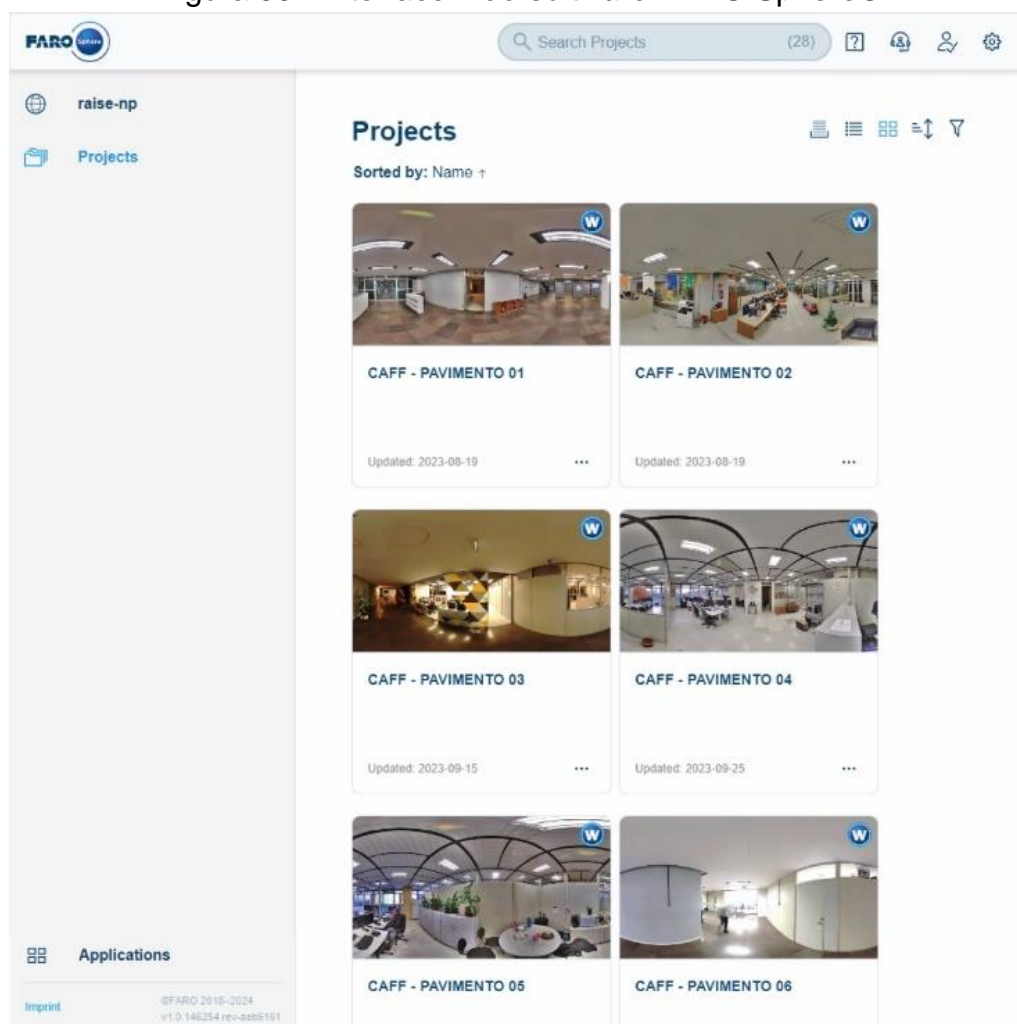


Fonte: Faro... (c2024, documento *on-line*).

Para manipulação dos dados brutos obtidos foi empregado o *software* FARO Sphere®, o qual permite alinhar ortogonalmente os escaneamentos e aplicar o sistema de coordenadas local à nuvem de pontos. Para remoção de artefatos e interferências não pertinentes ao registro foi utilizado o *software* Recap, da Autodesk. A nuvem de pontos foi disponibilizada no *software* FARO Sphere®, organizada por andares e fachadas externas da edificação junto às fotos 360°. A partir da interface inicial, é possível acessar as capturas de cada andar separadamente (Figura 35).

Disponibiliza-se o *link*<sup>6</sup> contendo o vídeo da captura de tela registrada pela pesquisadora para descrever a interface do *software*.<sup>7</sup>

Figura 35 - Interface 1 do *software* FARO Sphere®



Fonte: Elaborada pela autora com base no *software* FARO Sphere®.

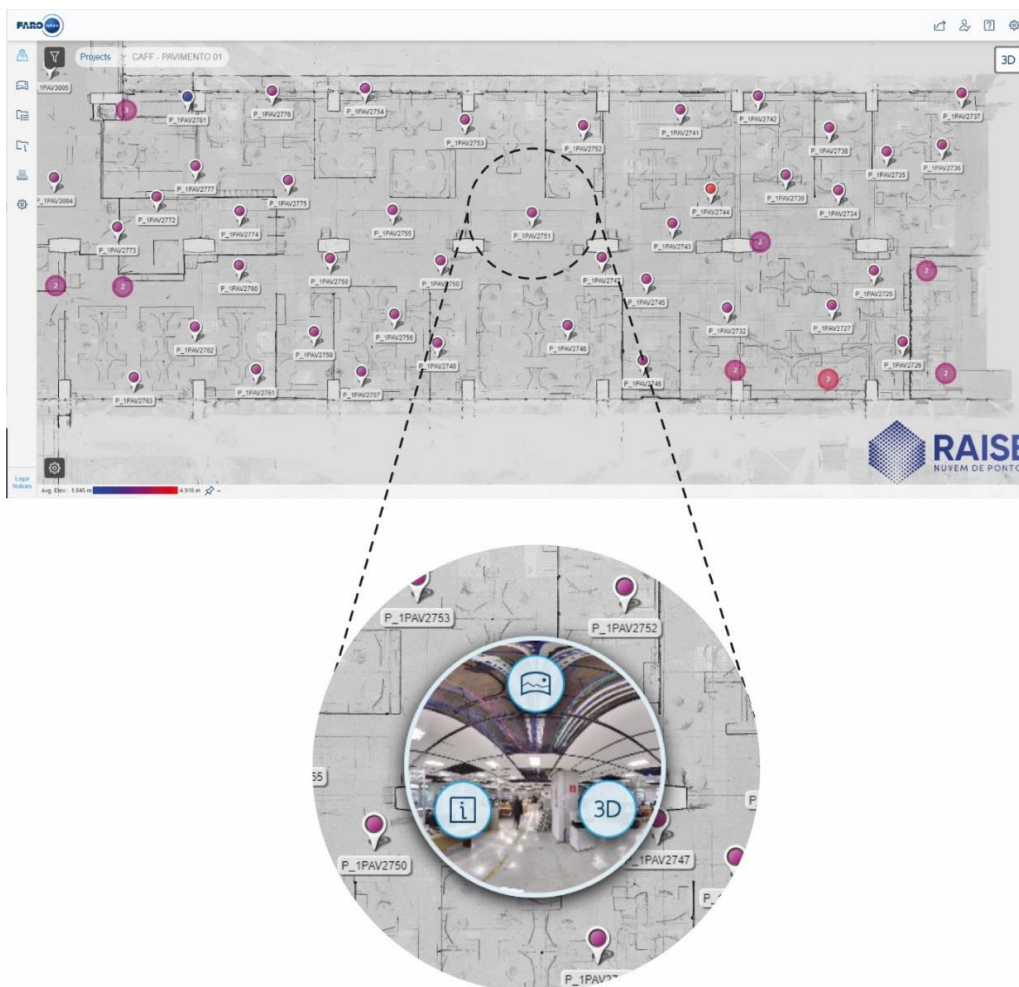
Ao acessar os andares, tem-se uma visão de topo do ambiente; as setas de localização representam os locais onde o *laser* foi posicionado para a captura da nuvem de pontos e das imagens 360°. Ao acioná-las, liberam-se as opções de acesso à imagem 360° ou à visualização 3D da captura, assim como às informações gerais relativas à imagem. A Figura 36 demonstra esse estágio, o ambiente visualizado é a SUAD.

<sup>6</sup> Registro em formato de vídeo da navegação da nuvem de pontos a partir do *software* FARO Sphere®, captura de tela da pesquisadora. Disponível em: <https://youtu.be/E0nTET1X06I>. Acesso em: 22 fev. 2024.

<sup>7</sup> Dados de acesso ao *software* fornecidos pelo LaBIM/RS.



Figura 36 - Interface 2 do software FARO Sphere®



Fonte: Elaborada pela autora com base no software FARO Sphere®.

A próxima interface habilitada fornece acesso à imagem 360° sobreposta à nuvem de pontos capturada. A partir dessas imagens, é possível conferir medidas e navegar através das outras localizações capturadas, conforme a Figura 37.

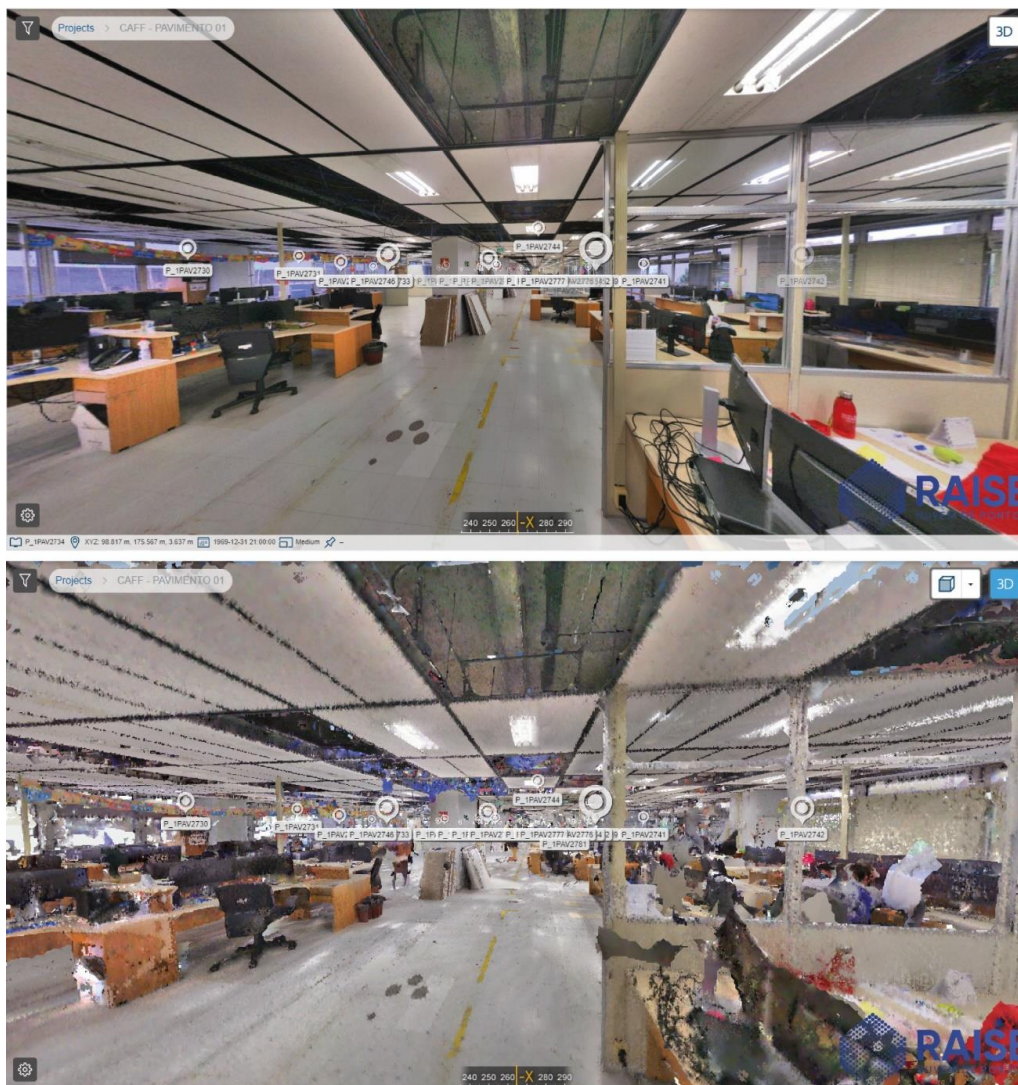
Ao navegar no aplicativo, percebe-se que a imagem 360° (Figura 37, parte superior) tem uma resolução apropriada para identificação de elementos do ambiente construído interno, porém a nuvem de pontos (Figura 37, parte inferior) disponibilizada via software é pouco nítida quando necessário ampliar, o que está relacionado à densidade de pontos<sup>8</sup> processados, definida pela empresa contratada em 1 ponto a cada 10 mm (ou 1 ponto por cm<sup>2</sup>). Segundo a empresa contratada, e conforme descrito

<sup>8</sup> Densidade de pontos é a quantidade de pontos mostrados na tela em um determinado intervalo de distância.



na proposta, o aplicativo é utilizado prioritariamente para a entrega, a visualização e a navegação das fotos panorâmicas coloridas.

Figura 37 - Interface 3 do *software* FARO Sphere®



Fonte: Elaborada pela autora com base no *software* FARO Sphere®.

A nuvem de pontos destinada à importação para modelagem 3D foi disponibilizada em um arquivo contendo a nuvem de pontos unificada com representação em cores RGB e a mesma densidade, no formato \*RCS (para sistema Autodesk Revit). Além disso, a nuvem de pontos completa, incluindo fotos 360°, foi publicada diretamente em servidor *web* (Google Drive), que permite navegação, visualização e gerenciamento dos levantamentos com segurança padrão certificada SSL, com controle de acesso de usuários por *login* e senha, incluindo opção de

exportar diretamente do navegador áreas da nuvem de pontos nos formatos .RCP e .E57 ou imagens 360° em formato \*.jpg. Dessa forma, não há necessidade de instalar *softwares* ou aplicativos específicos nos computadores da instituição para visualizar a captura da realidade obtida (Rio Grande do Sul, 2022b).

Como forma de arquivo para a instituição, os arquivos também foram disponibilizados em mídia física SSD portátil, incluindo o relatório final de registro das cenas com a descrição dos valores de precisão para os eixos x, y, z separadamente.

Segundo descrito no termo de referência (Rio Grande do Sul, 2022b), com a contratação do escaneamento, pretendia-se contribuir para a elaboração do *As Built* da edificação, além de incorporar a ferramenta aos processos de levantamento cadastral realizados pelo corpo técnico do Estado. A expectativa também era minimizar os riscos enfrentados pelos profissionais durante um levantamento dessas proporções. Outros benefícios esperados incluíam a diminuição de erros humanos, a produção de um registro confiável para avaliação das condições existentes da edificação e do estado de conservação do imóvel, o suporte ao projeto de recuperação das fachadas, a documentação dos leiautes internos para estudos de alterações futuras, a identificação de mobiliário, equipamentos e acabamentos presentes nas dependências do CAFF, bem como a manutenção de um patrimônio histórico da arquitetura modernista brasileira em Porto Alegre por meio de uma representação digital precisa.

Essa iniciativa visava capacitar servidores técnicos na manipulação dos produtos gerados pelo *laser scanning*, assim como ampliar os conhecimentos BIM que fomentassem o trabalho remoto e colaborativo, otimizando recursos ao reduzir o tempo, o número de deslocamentos repetidos e o tamanho das equipes de trabalho.

Para compreender se os objetivos acerca da utilização dessa captura foram efetivos, a seção a seguir avança sobre o próximo estágio efetuado. Após a captura da realidade, a empresa vencedora do edital iniciou o processo de capacitação dos profissionais envolvidos do projeto-piloto da Estratégia BIMGov-RS.

#### 4.2.2 Capacitação de servidores

Para seleção do grupo de participantes da modelagem do CAFF, inicialmente, foi aplicada uma pesquisa que visava identificar o nível de conhecimento sobre BIM dos servidores. Foram convidados a participar todos os servidores técnicos distribuídos

em diversas secretarias. Foram obtidas 27 respostas, e a maioria dos servidores indicou domínio básico sobre conhecimentos BIM: utilizo em um nível básico (15); utilizo em um nível intermediário (9); e utilizo com domínio (3).

Após a identificação do nível de conhecimento dos servidores, eles foram sondados acerca do interesse em participar efetivamente do projeto. Antes das equipes serem distribuídas no grupo de trabalho, os servidores tiveram a oportunidade de participar de cursos de capacitação em BIM, disponibilizados de forma *on-line* com duração de 16 horas cada. Os temas abordados foram: fluxos de trabalho, conceituação básica, implantação, democratização, integração e interoperabilidade.

Os servidores selecionados foram entrevistados a fim de se obter informações sobre interesses e conhecimentos específicos que pudessem auxiliar na distribuição dos papéis de cada integrante da equipe. Os servidores foram cedidos pelas secretarias, via ofício da Portaria SPGG nº 280/2023 (Rio Grande do Sul, 2023), e a equipe foi constituída da seguinte forma: um servidor da SEHAB; seis servidores da SOP; três servidores da Secretaria de Justiça e Sistema Penal e Socioeducativo (SJSPPS); um servidor da SPGG; e dois servidores convidados do Corpo de Bombeiros Militar (CBM) e da Secretaria Assistência Social (SAS).

As equipes foram separadas por disciplinas (Quadro 28), sendo: estrutural, instalações (elétrica, hidrossanitário, PPCI e lógica), arquitetura e mobiliários. Para cada grupo de disciplina, foram distribuídos modeladores e um líder de modelagem. Além disso, um servidor recebeu a atribuição de coordenador, e o gerenciamento total do projeto ficou sob responsabilidade da gerente do LaBIM/RS.

Quadro 28 - Organograma da equipe de modelagem CAFF

Atribuições	Servidores distribuídos por disciplina			
<b>Gerenciamento</b>	Gerente do LaBIM/RS			
<b>Coordenação</b>	Servidor (1)			
<b>Líder de modelagem</b>	Estrutural	Instalações	Arquitetura	Família/Mobiliários
	Servidor (1)	Servidor (1)	Servidor (1)	Servidor (1)
<b>Modeladores</b>	Servidor (1)	Servidor (5)	Servidor (2)	Servidor (3)

Fonte: Elaborado pela autora com base nos relatórios de pesquisa.

A consultoria planejada tinha como objetivo realizar o nivelamento das equipes para utilização dos *softwares* Autodesk Revit, Recap e Navisworks. A estrutura dos conteúdos abordados teve algumas adaptações ao longo do período de execução, todas as aulas foram ministradas em formato híbrido e seguiram o cronograma disposto no Quadro 29.

Quadro 29 - Cronograma de consultorias

<b>Etapas</b>	<b>Escopo</b>
<b>Consultoria 1</b>	Encontro com a equipe de modelagem para apresentações sobre a estrutura das aulas, esclarecimentos, auxílio da configuração do local de trabalho, <i>softwares</i> e pareamento do nível de conhecimento dos servidores
<b>Consultoria 2</b>	Processo de criação de nuvens de pontos, ferramentas utilizadas, técnicas de escaneamento a <i>laser</i> e fotogrametria
<b>Consultoria 3</b>	Processo de organização e comunicação com utilização do <i>software</i> Navisworks para importar e visualizar modelos de diferentes disciplinas, bem como dos <i>softwares</i> para comunicação e identificação de questões do modelo ConstrufLOW e Bimcollab
<b>Consultoria 4</b>	Planejamento de modelos no <i>software</i> Revit focados em reformas
<b>Consultoria 5</b>	Planejamento de modelos visando levantamento de patrimônio
<b>Consultoria 6</b>	Organização de nuvens de pontos no Revit, determinando objetivos da modelagem, utilização da nuvem de pontos para identificação de áreas de intervenção, avaliação de condições existentes e planejamento de alterações necessárias. Planejamento de adaptações e ajustes de modelos existentes levando em consideração elementos estruturais e sistemas MEP (mecânica, elétrica e hidráulica) e demais elementos do projeto
<b>Consultoria 7</b>	Apresentação ALTOQI e aula de famílias com a servidora da SSPS
<b>Consultoria 8</b>	Aula de famílias com a servidora da SSPS
<b>Consultoria 9</b>	Aula ministrada pela pesquisadora com a apresentação de conceitos sobre GD <sup>9</sup>

Fonte: Elaborado pela autora com base nos relatórios de pesquisa.

Simultaneamente às consultorias ministradas, desenvolveu-se o Plano de Execução BIM (PEB) do modelo digital CAFF, contendo o cronograma das etapas seguintes de modelagem, as definições de parâmetros do modelo, as diretrizes de

<sup>9</sup> Matéria divulgada no *site* da SPGG sobre o acompanhamento da modelagem por meio da pesquisa. Disponível em: <https://caff.rs.gov.br/modelo-digital-do-caff-e-tema-de-pesquisa-de-mestrado/>. Acesso em: 22 fev. 2024.

modelagem, além dos relatórios de lições aprendidas e acompanhamento das etapas. Esse documento estava em desenvolvimento e durante a coleta de dados encontrava-se na segunda versão de revisões, por esse motivo, não foi incorporado à coleta de dados.

Para elaboração do PEB, valeu-se da consultoria especializada da empresa contratada, das trocas de informações entre os integrantes do grupo de trabalho do projeto-piloto, assim como da modelagem do 1º pavimento da edificação, entregue conforme indicado pelo termo de referência do edital de contratação.

O andar entregue modelado pela empresa é onde está locado o setor selecionado como amostra para o desenvolvimento desta pesquisa. A modelagem BIM relatada a seguir observa as condições que definiram o produto desta entrega e de que forma essa modelagem foi utilizada para dar suporte às demais etapas do processo. Além disso, observa-se de que forma essa modelagem virtual integra as questões norteadoras desta investigação, que se voltam ao ordenamento de atividades de operação e manutenções internas do ambiente construído.

#### 4.2.3 Modelo BIM – SUAD

O setor da edificação selecionado como amostra para o desenvolvimento desta pesquisa, a SUAD, foi modelado pela empresa contratada e, a partir desse modelo digital, esperava-se:

[...] Visualizar as condições existentes da edificação e seus sistemas; Identificar os usos e setorização dos espaços existentes; Levantar quantitativos de materiais e itens existentes; Projetar reformas e alterações futuras e extrair documentação técnica, como plantas, elevações, cortes, detalhes, especificações; Visualizar maquete digital para apresentação de alterações de *layout*, suporte nas reformas e alterações; Extração de quantitativos - levantamento/gestão de patrimônio; Auxiliar em medidas de segurança - zonas restritas, rotas de emergência, etc.; Registrar informações quanto a dados de desempenho, garantia, manutenção, etc. (Rio Grande do Sul, 2022b, p. 14).

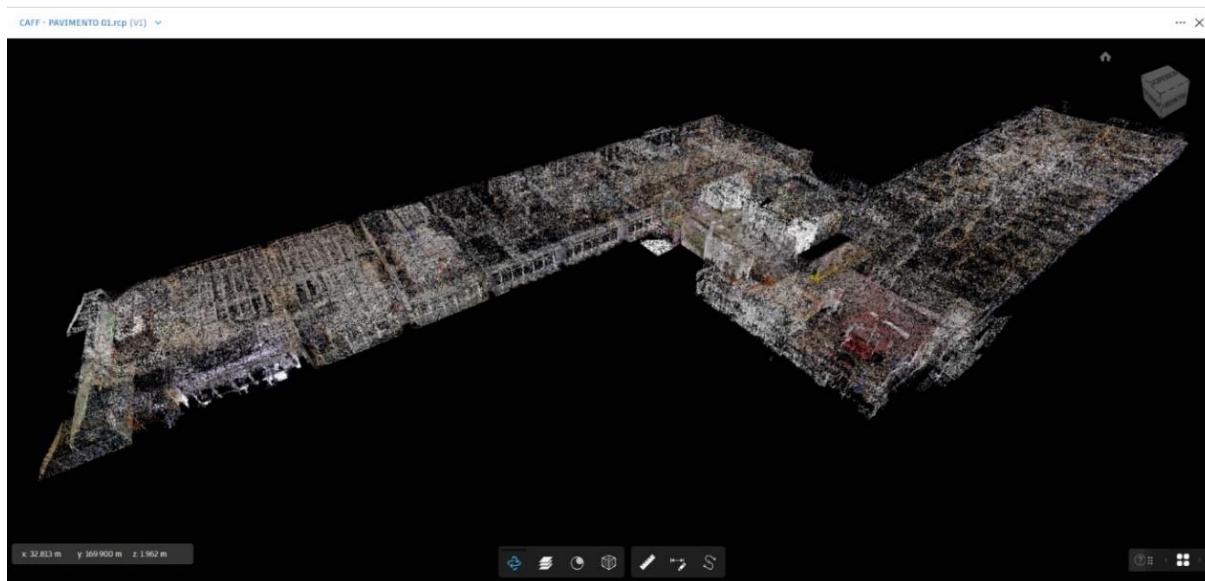
A modelagem BIM foi executada com base na nuvem de pontos<sup>10</sup> escaneada (Figura 38) e, conforme definido pelo termo de referência, o padrão de terminologias e classificações seguiu a NBR 15965-2 (ABNT, 2012) e a NBR 15965-4 (ABNT, 2021).

---

<sup>10</sup> Registro em formato de vídeo da navegação da nuvem de pontos pelo *software* Recap via ambiente comum de dados utilizado para organização do projeto-piloto (ACC). Captura de tela da pesquisadora. Disponível em: <https://youtu.be/ZrVAXGLeUqw>. Acesso em: 22 fev. 2024.



Figura 38 - Nuvem de pontos, base da modelagem 1º pavimento



Fonte: Elaborada pela autora – arquivo nuvem de pontos CAFF – Pavimento 01.rcp.

O nível de desenvolvimento mínimo estabelecido para modelagem foi ND200, e seguiram-se as indicações dispostas na coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras (CBIC). Também foi apontado que haveria adaptações de modelagem, quando necessário, para alguns elementos específicos, conforme os requisitos de modelagem (Rio Grande do Sul, 2022b). Os requisitos foram inicialmente definidos pelo termo de referência para concorrência das empresas (Rio Grande do Sul, 2022b, p. 16), conforme apresentado no Quadro 30.

Quadro 30 - Requisitos de modelagem 1º pavimento

(Continua)

Disciplinas	Detalhes	Exemplos
Arquitetura	<b>Paredes e divisórias:</b> localização, geometria, materiais, revestimentos	
	<b>Esquadrias:</b> portas e janelas (dimensões reais, localização, orientação da abertura, peitoril, materiais, fechaduras)	
	<b>Ambientes:</b> modelagem de ambientes, dimensões, usos, órgão, <i>layout</i>	
	<b>Mobiliário:</b> materiais, geometria real, quantidade, localização, orientação do elemento	Estações de trabalho, mesas de reunião, balcões, cadeiras, sinalização/ identidade visual, etc.
	<b>Equipamentos:</b> geometria, quantidade, localização e orientação do elemento	<i>Desktops</i> , monitores, impressoras, telas, micro-ondas, relógio ponto, etc.

(Conclusão)

Disciplinas	Detalhes	Exemplos
Arquitetura	<b>Equipamentos sanitários:</b> materiais, marca, geometria real, quantidade, localização, conectores e orientação do elemento	Pias, mictórios, metais
	<b>Pisos:</b> tipo, dimensões, quantidade, cor, acabamento, tamanho, peça, paginação, tipo de borda	
	<b>Forros:</b> tipo, quantidade, modelo, linha, cor, acabamento, espessura, tamanho peça, paginação	
Iluminação	Tipos de luminárias, material, geometria, localização, cor, lâmpadas (tipo, modelo, corrente, potência nominal), posição de funcionamento	
Climatização	<b>Dutos de ar central:</b> posição de saídas, dimensões, material	
	<b>Equipamentos de ar-condicionado:</b> tipo, dimensões, posição evaporadora, posição condensadora, ponto de tomada de energia, potência, voltagem, marca, posição de dreno	
PPCI	<b>Extintores:</b> tipo, localização	
	<b>Alarmes:</b> central, acionadores manuais e detectores de fumaça (localização, geometria)	
	<b>Hidrantes:</b> localização e dimensão	
	<b>Sinalização:</b> saída de emergência, equipamento, proibição, alerta (localização, tipo, dimensões)	
	<b>Iluminação de emergência:</b> localização, geometria, tipo	Autônoma 30 led
Estrutural	<b>Vigas:</b> geometria, material, posição e furações	
	<b>Pilares:</b> geometria, material e posição	
	<b>Lajes:</b> geometria, material, posição, aberturas	
	<b>Escadas:</b> geometria, tipo, material, posição (guarda-corpo, corrimão, acabamentos)	
Instalações	<b>Hidrossanitárias:</b> <i>shafts</i> , alimentadores, tubulações aparentes, registros, coletores, equipamentos, reservatórios (contendo dimensões, capacidade, material e uso)	Uso para consumo, de reuso, contenção ou reaproveitamento pluvial, ou de incêndio
	<b>Elétricas:</b> eletrodutos aparentes, eletrocalhas aparentes, posição luminárias, tomadas, interruptores	
	<b>Lógica:</b> salas de equipamentos de distribuição, rack, switch	<i>Patch panel</i> , eletrocalhas, eletrodutos, posição dos <i>pools</i> , posição dos pontos, equipamentos, categoria de cabeamento
	<b>Elevadores:</b> dimensões internas cabines, dimensões portas, tipo de abertura portas, painel indicador de pavimento, botoeira	

Fonte: Elaborado pela autora com base em Rio Grande do Sul (2022b).

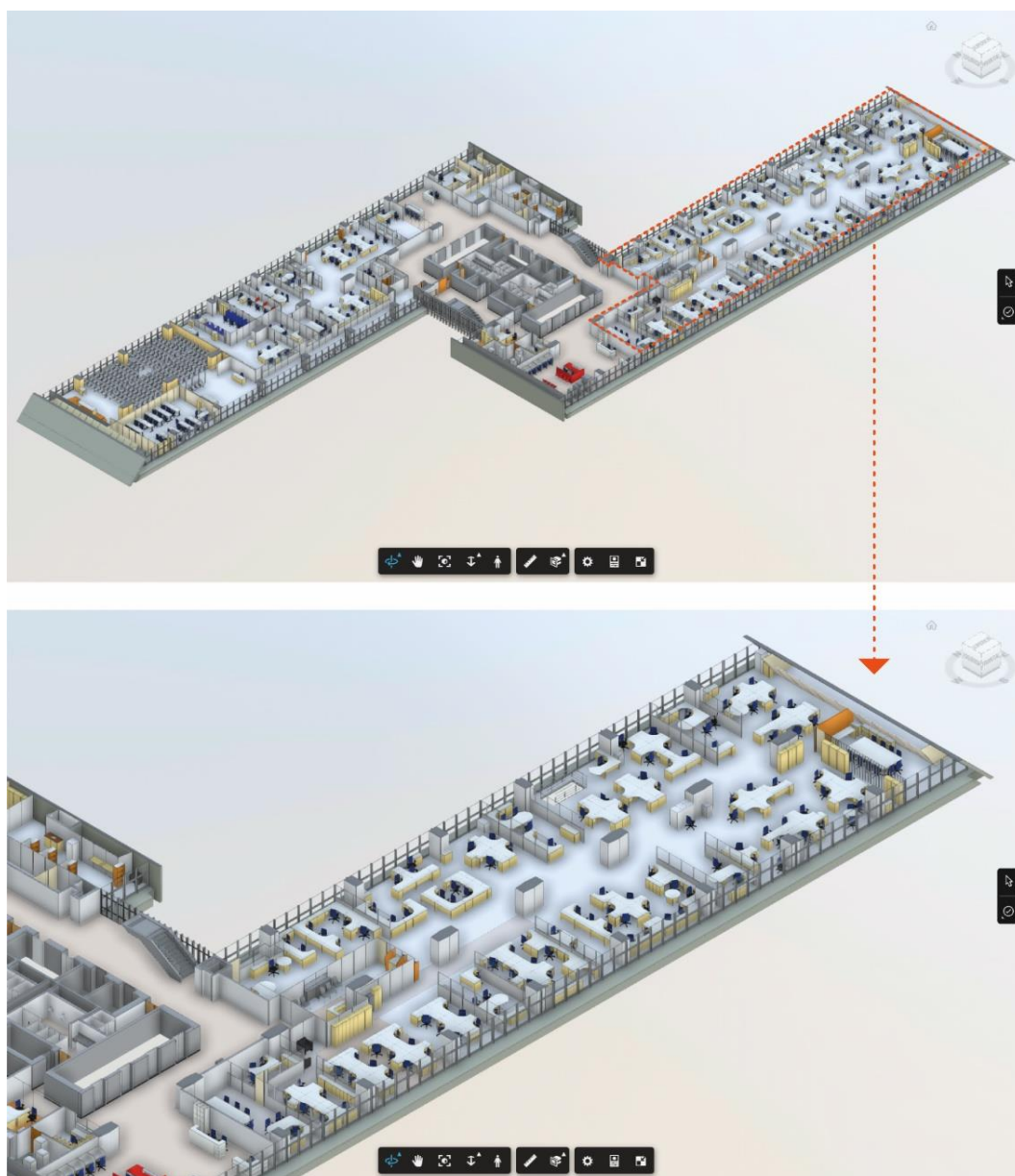
A empresa contratada fez algumas considerações sobre a modelagem. Em relação à modelagem estrutural, consideraram que apenas as estruturas visíveis seriam modeladas; os elementos estruturais embutidos em paredes de alvenaria ou *drywall* não seriam incluídos, a menos que o cliente fornecesse os projetos executivos.

Dessa forma, as estruturas embutidas seriam modeladas com base no que estava especificado nos projetos fornecidos.

A identificação de instalações embutidas não é possível a partir da nuvem de pontos (Figura 37), assim como interruptores, tomadas e equipamentos ocultos atrás de móveis não são visíveis e, portanto, não poderiam ser detalhados no modelo.

A primeira versão da modelagem (Figura 39) foi entregue em outubro de 2023, após ajustes alinhados com a coordenação do projeto-piloto, e a entrega final da modelagem completa do andar ocorreu em novembro de 2023.

Figura 39 - Primeira versão da modelagem 1º pavimento



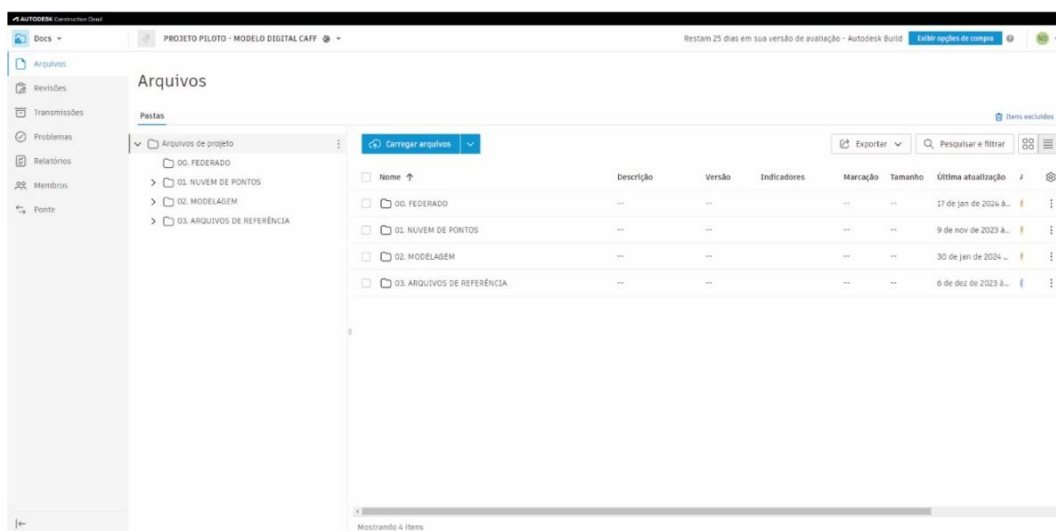
Fonte: Elaborada pela autora – arquivo CAFF-1PAV-ARQ-R00.



O modelo do 1º pavimento da edificação foi utilizado para dar suporte às demais etapas do projeto-piloto, organizar as modelagens dos pavimentos superiores e extrair os *templates*<sup>11</sup> para o desenvolvimento dos modelos de cada disciplina. Alguns deles demandaram um período maior para ajustes e elaboração, devido à necessidade de parametrização de informações. Por isso, ainda estavam em execução durante o período de coleta de dados e seguiram sendo atualizados à medida que o projeto-piloto avançava pelas etapas.

O ambiente comum de dados (CDE, do inglês *common data environment*) utilizado para organização e interoperabilidade dos projetos foi o Autodesk Construction Cloud (ACC).<sup>12</sup> Na plataforma,<sup>13</sup> é possível exercer uma conexão fluída entre as disciplinas, há controle de documentos e versões, os fluxos de aprovação de documentação são customizáveis e há controle de não conformidade no projeto. Também é possível visualizar o painel para acompanhamento das funções atribuídas a cada integrante da equipe (Gêmeos..., 2023). Até a etapa acompanhada durante a pesquisa, os projetos estavam sendo organizados no Autodesk Docs (Figura 40), que permite gerenciamento de documentação e gestão de informações de projeto.

Figura 40 - Interface CDE no Autodesk Docs



Fonte: Elaborada pela autora – acesso concedido ao CDE do projeto-piloto, modelo digital CAFF.

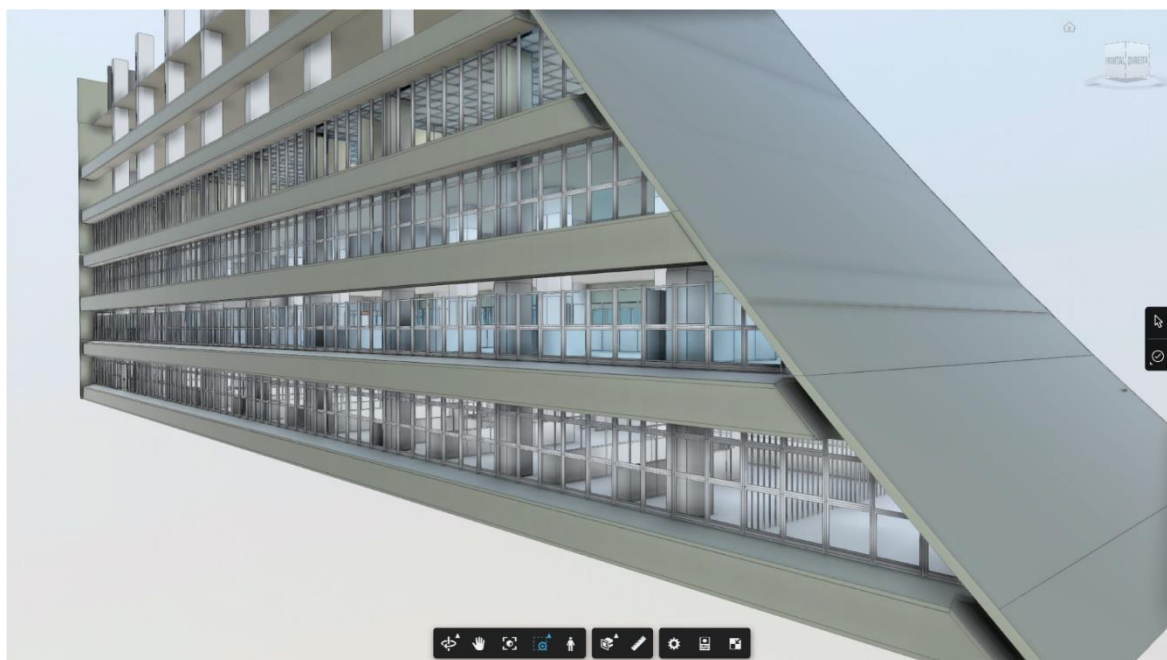
<sup>11</sup> Do inglês, modelo, gabarito ou padrão. Na modelagem da informação, é um arquivo que contém informações padronizadas e parâmetros de projeto predefinidos, sendo utilizado como base para novos projetos dentro de uma mesma disciplina.

<sup>12</sup> Acesso à plataforma obtido por licença estudantil.

<sup>13</sup> Registro em formato de vídeo da navegação do CDE utilizado para organização do projeto-piloto (ACC), captura de tela da pesquisadora. Disponível em: <https://youtu.be/CXNtLqFXq7A>. Acesso em: 22 fev. 2024.

Essa organização foi gerada pois a modelagem não é executada simultaneamente. O fluxo de modelagem é separado por disciplina e modeladores, dessa forma, cada integrante trabalha em arquivos separados, que são integrados pelo gerente de projeto e visualizados no arquivo federado<sup>14</sup> completo (Figura 41). Pelo tempo de interação da etapa observada, não foi possível identificar quais os recursos de interoperabilidade definidos para as informações do modelo nem de que forma o modelo irá interagir com projetos complementares externos, quando houver necessidade.

Figura 41 - Interface da visualização do modelo digital federado



Fonte: Elaborada pela autora – acesso concedido ao CDE do projeto-piloto, modelo digital CAFF.

Com o acompanhamento da etapa de modelagem do projeto-piloto, modelo digital CAFF, observou-se que a captura da realidade por meio da nuvem de pontos serviu ao propósito de facilitar a modelagem em aspectos como: agilidade do processo de captura das informações no local, segurança ao efetuar o levantamento, padronização das informações obtidas e possibilidade de aferir medidas tridimensionalmente por meio da nuvem de pontos e dos registros fotográficos.

---

<sup>14</sup> Modelo federado é o conjunto de modelos BIM de diferentes disciplinas, utilizado para fins de colaboração entre membros de um projeto.

Porém, destaca-se o alto esforço manual desempenhado para a modelagem do elemento virtual a partir da captura do elemento físico. Além disso, as informações geradas a partir do escaneamento são estáticas e exigem um processo de atualização que também é manual.

Um exemplo do impacto desse processo foi a alteração do leiaute da SUAD que ocorreu durante a execução desta investigação. O processo de escaneamento a *laser* foi iniciado em maio de 2023 (Paixão, [2023?]) e, nesse mesmo mês, foram aprovadas reformas de leiaute para a SUAD. Após o escaneamento a *laser* do setor, a reforma foi executada e houve ajustes no projeto. Por fim, quando a modelagem BIM do 1º pavimento foi entregue, em outubro de 2023, ela estava desatualizada com a realidade do ambiente.

Por esse motivo, iniciou-se o processo de ajuste da modelagem BIM como reformado (*As Built*) e, para isso, foram utilizados os projetos planejados da edificação (projetos 2D) em Autocad. A Figura 42 ilustra esse fluxo entre captura da nuvem de pontos, entrega da modelagem do 1º pavimento desatualizada, reforma finalizada e necessidade de atualização a partir do projeto aprovado.

Figura 42 - Fluxo modelagem BIM e reforma da SUAD



Fonte: Elaborada pela autora com base nos registros de observação.

Outros aspectos relatados pelos integrantes do projeto-piloto durante o processo de modelagem virtual e que puderam ser observados durante a investigação são descritos a seguir.

Em relação à **modelagem estrutural**, os integrantes relataram dificuldade para modelagem de alguns elementos, como escadas e detalhes de fachadas a partir da nuvem de pontos. Outro aspecto é que, para captura, foi utilizado somente o *laser* terrestre, dessa forma, à medida que a distância do pavimento térreo aumentava, a definição da nuvem diminuía, sendo mais difícil identificar os limites da laje. Além disso, a modelagem a partir da nuvem de pontos diretamente no *software* de modelagem onera tempo, pois os arquivos se tornam lentos para o desenvolvimento do modelo virtual.

A **modelagem hidrossanitária** valeu-se das imagens 360° capturadas para aferir as posições dos equipamentos, porém, existe uma dificuldade para desenvolver as tubulações escondidas. Os integrantes utilizaram documentos e registros 2D antigos, bem como a posição de ralos e equipamentos levantados para fazer suposições sobre o traçado das instalações.

Em relação à **modelagem do mobiliário**, as dificuldades encontradas estão associadas com a dificuldade de visualização na nuvem de pontos dos objetos que eventualmente ficam cobertos por outros elementos ou “pontos cegos” de alguns mobiliários. Para modelagem das famílias de mobiliários, os servidores valeram-se dos projetos 2D disponíveis pela marcenaria do CAFF e, quando necessário, visitaram o setor para conferência de medidas.

A **modelagem do PPCI** utilizou os extintores adicionados a partir da modelagem entregue do 1º pavimento, mas assim como o fluxo de alteração do leiaute (Figura 41), o PPCI da edificação está sendo executado diferentemente do levantamento da nuvem de pontos, por isso, até o momento da investigação, não foi utilizada a nuvem de pontos e estava sendo considerado executar *As Built* após o projeto-piloto ser finalizado. Durante o período de observação, o *template* dessa disciplina estava sendo ajustado.

De forma geral, observou-se um aprimoramento e nivelamento dos conhecimentos da equipe em relação às ferramentas utilizadas. Para alguns integrantes que utilizavam outros *softwares*, houve impacto no tempo de aprendizagem das novas ferramentas. Durante o período que a presente investigação alcançou acompanhar no LaBIM/RS, percebeu-se a integração e colaboração efetiva da equipe de modelagem do projeto-piloto CAFF.

O Quadro 31 resume as tecnologias identificadas para a modelagem virtual CAFF, setor SUAD, indicando o componente e a habilidade classificados conforme

Boje *et al.* (2020), qual a utilização atribuída ao *software/hardware* e se existe integração com outros sistemas.

Quadro 31 - Tecnologias identificadas para modelagem virtual CAFF (SUAD)

Componente (Boje <i>et al.</i> , 2020)	Software/hardware	Utilização	Habilidade (Boje <i>et al.</i> , 2020)	Status de integração
Físico	FARO Focus S150	Escaneamento a <i>laser</i> , geração de nuvem de pontos e imagens 360°	Sentido	Não integrado
Dados	FARO Sphere®	Navegação e visualização da nuvem de pontos e imagens 360°	Armazenamento dos conhecimentos	Não integrado
Dados	Autodesk Recap	Processamento e limpeza da nuvem de pontos	Armazenamento dos conhecimentos	Não integrado
Dados	Autodesk Revit	Modelagem das disciplinas	BIM	Não integrado
Dados	ACC	CDE	BIM	Não integrado
Dados	Autodesk Docs	Organização e gerenciamento de documentação e gestão de informações de projeto	BIM	Não integrado
Dados	Navisworks	Visualização da nuvem de pontos e modelos federados	BIM	Não integrado
Dados	Processador Intel® Xeon® W-1290 3.20 GHz e 3.19 GHz Memória RAM 64 GB (utilizável 63,8GB) Windows 20 Pro para workstations	Computadores utilizados para modelagem no projeto-piloto no LaBIM/RS	BIM	Não se aplica

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à modelagem virtual, os sensores utilizados para captura da realidade forneceram informações estáticas, pois, nesse caso, tinham como objetivo levantar as condições atuais da edificação para modelagem BIM. Após a modelagem executada, tem-se o componente virtual no qual será possível visualizar e integrar informações obtidas por meio de capturas de sensores dinâmicos e sistemas IoT, assim como os casos apresentados por Zaballos *et al.* (2020), Moretti *et al.* (2020) e Martins *et al.* (2022).

Destaca-se que, na equipe selecionada, não constam servidores responsáveis pela integração dos dados e das informações, por isso, para que o modelo virtual

evolua e seja utilizado para fins de simulação, prevenção e otimização (Boje *et al.*, 2020), deve-se considerar a integração de responsáveis por TI ou ciências da computação.

Quanto ao ordenamento das atividades identificados na unidade de análise anterior, a modelagem virtual não se baseou nessas informações para ser desenvolvida, os requisitos de modelagem foram definidos de acordo com as disciplinas abarcadas pela edificação. As disciplinas complementares (elétrica, hidrossanitária, estrutural, lógica e PPCI), modeladas virtualmente, não aparecem no sistema de solicitações, mesmo assim, todas elas têm impacto direto na relação dos usuários com a edificação em termos de segurança da ocupação, como é o caso do PPCI, que, inclusive, causou o risco de interdição da edificação em dezembro de 2023 (Milman, 2023). A utilização do modelo virtual integrado a sistemas de monitoramento dessas disciplinas complementares, para fins de manutenções preditivas, simulações e verificações, faz-se necessária.

As alterações de leiaute são situações recorrentes e existe uma variedade considerável de mobiliários padrão utilizados nas reformas de interiores do CAFF, por isso, foram designados modeladores voltados exclusivamente para o desenvolvimento dessa atividade, que se valeu de informações obtidas na nuvem de pontos e nos registros da marcenaria (CAFF, [2024?b]). Para essa situação, é possível sensorizar peças e mobiliários prontos que auxiliem o levantamento patrimonial e o controle de estoque desses objetos, utilizando sensortags, por exemplo, como em Khajavi *et al.* (2019). Também pode ser considerada a possibilidade de simular leiaute e utilização dos espaços a partir das informações coletadas por sensores de ocupação (Seghezzi *et al.*, 2021) ou a otimização do ambiente interno com o uso de algoritmos, como em Tan *et al.* (2022).

#### 4.3 NECESSIDADES DOS OCUPANTES (U3)

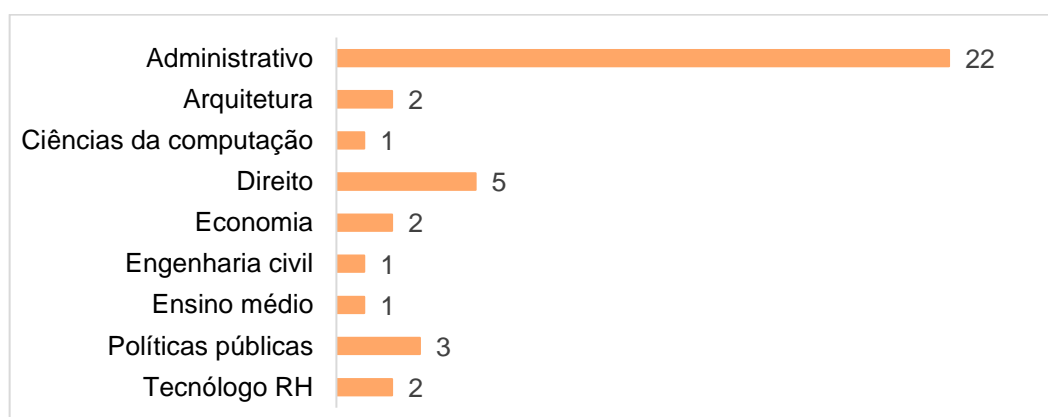
Na terceira unidade de análise (U3), considerando que diversos fatores (ambientais, pessoais e outros) têm impacto nas condições de conforto relacionadas ao espaço interno, um questionário foi projetado para obter o *feedback* dos ocupantes do setor em relação a tais aspectos. Busca-se estabelecer se existe relação entre impactos positivos ou negativos e os requisitos de operação e manutenção identificados em U1. Após a execução do teste piloto aferiu-se o tempo necessário para responder ao

questionário e manteve-se a estrutura de perguntas proposta, não foram identificadas dificuldades para o preenchimento. O questionário no formato original enviado está disponível no Apêndice J.

#### 4.3.1 Adesão dos participantes

O questionário foi enviado no dia 3 de janeiro de 2024 para 139 servidores e ficou disponível para o recebimento de respostas durante 20 dias corridos, sendo reenviado quatro vezes durante esse período. Obteve-se uma negativa de participação (sinalizado “não quero participar”) e 44 respostas positivas (sinalizado “sim, quero participar”), proporcionando, assim, uma adesão à pesquisa de 32,37%. A Figura 43 demonstra a heterogeneidade dos respondentes, que, em sua maioria, exercem funções ligadas à área administrativa.

Figura 43 - Área de atuação respondentes



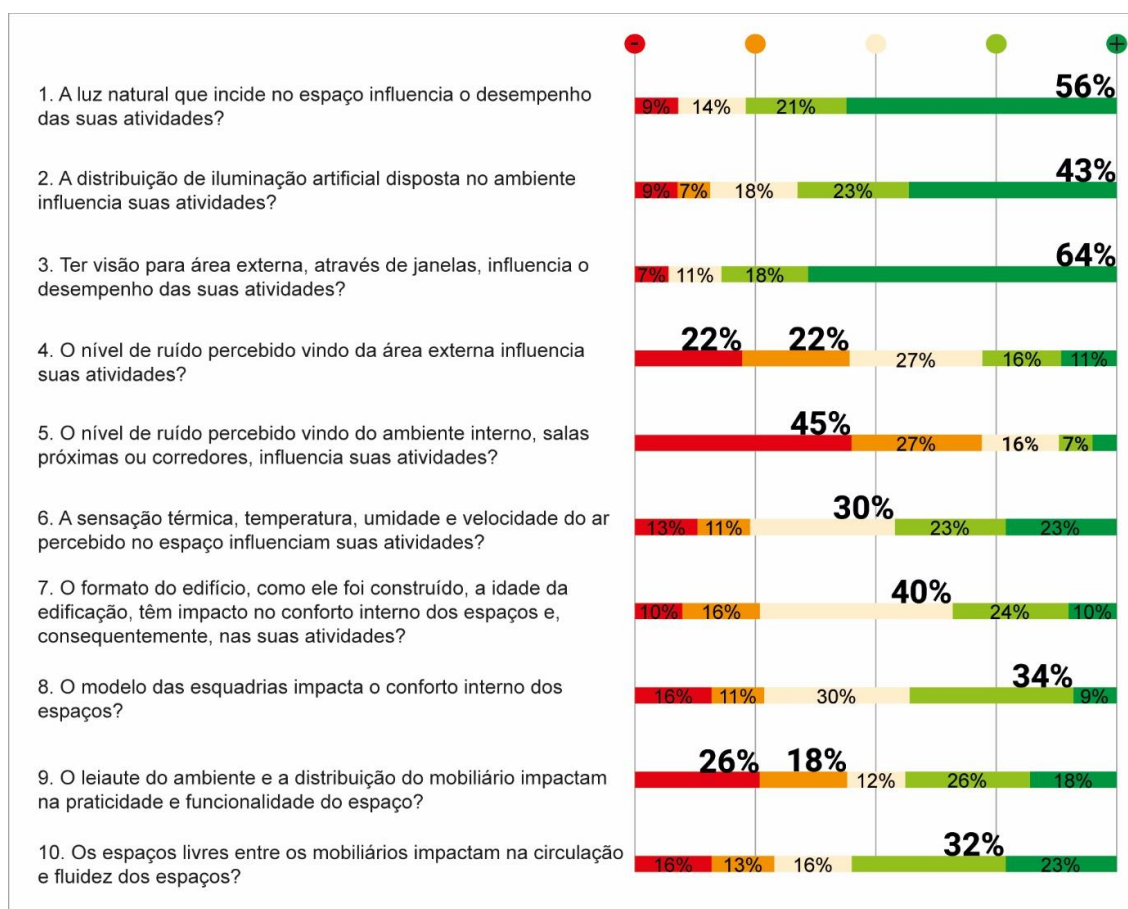
Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.3.2 Conforto ambiental

Na primeira seção, as questões foram estruturadas com perguntas que relacionavam fatores ambientais com confortos visual, acústico e térmico, atributos arquitetônicos do edifício, mobiliários e leiaute dos espaços. As perguntas eram fechadas e as respostas dispostas em escala Likert de 5 pontos, considerando: 1 – influencia negativamente; 2 – quase negativamente; 3 – indiferente; 4 – quase positivamente; e 5 – influencia positivamente. A Figura 44 demonstra graficamente as respostas obtidas na escala Likert com as respectivas porcentagens.



Figura 44 - Respostas ao questionário de conforto ambiental



Fonte: Elaborada pela autora.

Essa etapa visava identificar, com as questões abordadas, em um formato de avaliação pós-ocupação, conforme sugerido por Hosamo *et al.* (2023b), como as necessidades dos ocupantes estão sendo atendidas no espaço atual. Dessa forma, as respostas obtidas destacam algumas tendências.

As três primeiras questões tratam da interação do ocupante com a incidência de luz e a capacidade de visualização das áreas externas. Ambientes construídos dessa proporção enfrentam o desafio de posicionar estações de trabalho próximas a áreas naturalmente mais iluminadas, que em certos momentos podem sofrer com uma incidência excessiva de luz solar, o que prejudicaria o desempenho das atividades. Além disso, há áreas situadas mais ao centro das edificações, que, por sua vez, demandam a adequada instalação de iluminação artificial.

Por meio das respostas obtidas, nota-se a tendência dos ocupantes de considerarem que a luz natural que incide na SUAD influencia positivamente o desempenho das atividades. Eles também consideraram que a iluminação artificial disposta no ambiente tem influência positiva, ou seja, pode-se entender que, em



relação à iluminação natural, a orientação solar da edificação, bem como os grandes planos de esquadrias, proporciona conforto visual para os ocupantes, e as áreas nas quais é necessário maior incidência de luz artificial também são consideradas bem distribuídas. A terceira questão indica que os ocupantes consideram positivo ter visão para a área externa e isso pode influenciar suas atividades. Neste estágio percebeu-se a necessidade de identificar a localização dos respondentes em relação ao ambiente, indica-se para pesquisas futuras adicionar questões voltadas a obtenção deste dado ou capturá-lo através de sensores de localização.

A questão número 4 visava identificar se o nível de ruído vindo das áreas externas à edificação tinha influência nas atividades. A SUAD está localizada no 1º pavimento da edificação, ao lado da rampa de acesso ao edifício, sendo uma área de grande fluxo de entrada e saída de pessoas e utilizada como área de fumantes. Tem-se, assim, uma tendência negativa em relação aos ruídos externos percebidos no desempenho das atividades. Na questão número 5, os respondentes também consideraram que os ruídos percebidos internamente no ambiente influenciam de forma negativa o desempenho das atividades exercidas. As questões que relacionaram a sensação térmica e o formato da edificação foram consideradas neutras (30%) e com tendências positivas (40%), respectivamente. Na questão 6, não se analisou separadamente a qualidade do ar (CO<sub>2</sub>) e a qualidade térmica, assim, sugere-se um aprofundamento sobre esses fatores ao tratar sobre a sensação térmica do ambiente.

Quanto ao modelo das esquadrias, a maioria dos respondentes (34%) indicou de forma positiva a influência do formato para o desempenho de atividades; quanto ao leiaute do ambiente, identificou-se uma tendência negativa em relação à forma como a distribuição do leiaute impacta a praticidade e a funcionalidade do espaço. A última resposta relacionada ao conforto ambiental identificou uma tendência positiva em relação aos espaços livres entre os mobiliários, impactando positivamente sua fluidez.

Considerando-se as respostas obtidas no questionário, destacam-se duas tendências: a relação de percepção visual, incidências de iluminação natural e distribuição de luz artificial, que demonstraram uma tendência positiva; e a maneira como os ruídos, sejam internos ou externos, podem impactar a relação de conforto do espaço de forma negativa. Salienta-se também a relação de distribuição do leiaute, tendo em vista que o setor foi reformulado no mesmo período desta investigação, pois

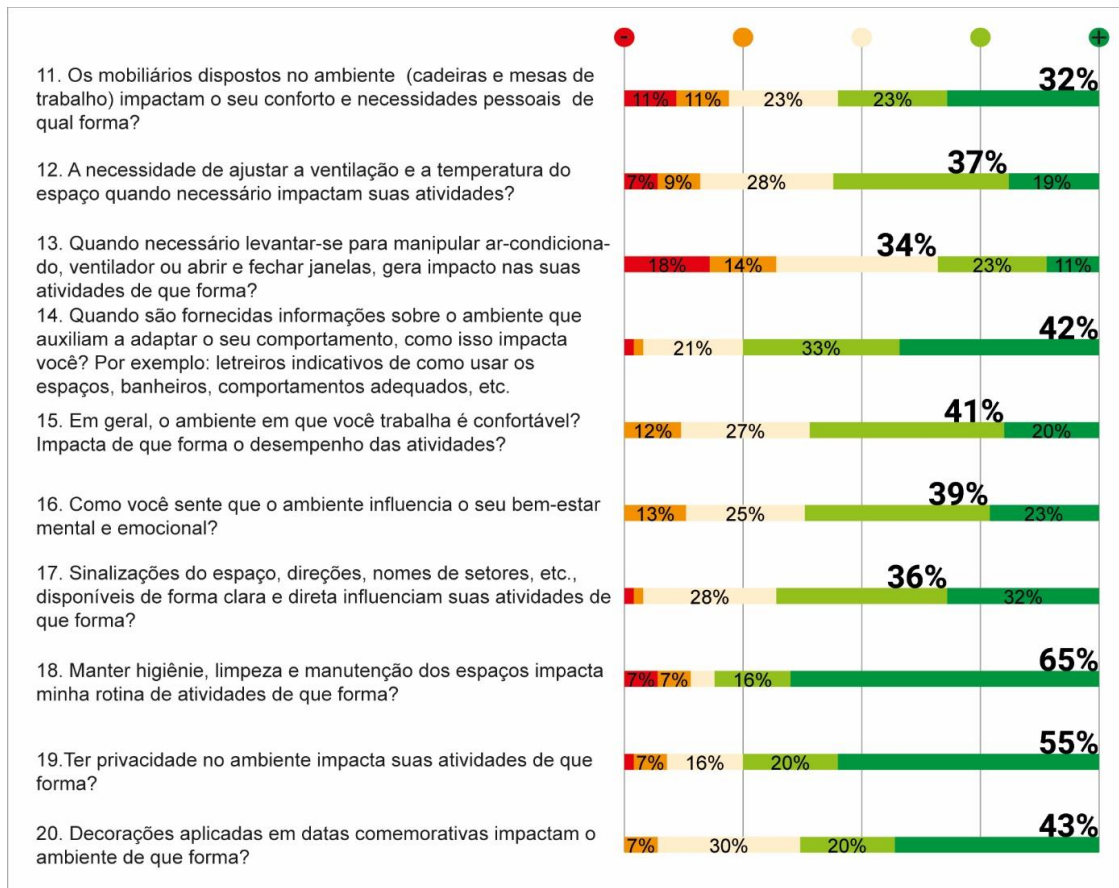
é possível que exista relação entre a nova distribuição e a tendência negativa identificada.

### 4.3.3 Fatores pessoais

Na segunda seção, as questões foram estruturadas com perguntas que relacionavam fatores comportamentais, condições mentais, informações espaciais, limpeza e privacidade. Foi indicado que as respostas deveriam refletir percepções pessoais sobre como os fatores citados podem influenciar as atividades desempenhadas dentro da edificação.

Assim como na seção anterior, as perguntas eram fechadas e as respostas dispostas em uma escala Likert de 5 pontos, considerando: 1 – influencia negativamente; 2 – quase negativamente; 3 – indiferente; 4 – quase positivamente; e 5 – influencia positivamente. A Figura 45 demonstra graficamente as respostas obtidas na escala Likert com as respectivas porcentagens.

Figura 45 - Respostas ao questionário de fatores pessoais



Fonte: Elaborada pela autora.

Nessa seção, de maneira geral, observou-se uma tendência dos participantes da pesquisa a percepções positivas relacionadas ao espaço. As questões de manutenção da higiene do local de trabalho, privacidade e decorações comemorativas (questões 18, 19 e 20) foram as que receberam maior porcentagem de indicação ao impacto positivo.

As questões que relacionaram a necessidade de manejo dos equipamentos de refrigeração, ventilação e das janelas (questões 12 e 13) indicaram uma tendência positiva relacionada à possibilidade de adequar a temperatura às necessidades pessoais, assim como uma relação neutra quando há necessidade de movimentar-se para que sejam efetuados os ajustes.

Em relação às sinaléticas dos espaços (questão 17) e indicações que auxiliam à adequação do comportamento ao local (questão 14), os respondentes sinalizaram tendências quase totalmente positivas.

A pergunta 11 visava identificar a satisfação dos ocupantes quanto a questões ergonômicas, que indicaram uma tendência positiva. Da mesma forma, de maneira geral (questões 15 e 16), os ocupantes consideraram que o ambiente influencia positivamente seu bem-estar, sendo confortável e contribuindo para o desempenho das atividades.

Nessa seção, o questionário indicava que os respondentes se baseassem em percepções pessoais a fim de considerar como determinadas ações influenciavam as atividades desempenhadas dentro da edificação. Os resultados mostraram uma tendência quase totalmente positiva relacionada às condições apresentadas. Comparando-se essa seção com os resultados da seção anterior e com as respostas dissertativas, nota-se um desequilíbrio das tendências, o que pode ter ocorrido pelo fato de os respondentes não terem compreendido exatamente o que se esperava obter com essa seção e também por ser uma avaliação direta às condições do setor, o que pode ter ocasionado receio nos participantes.

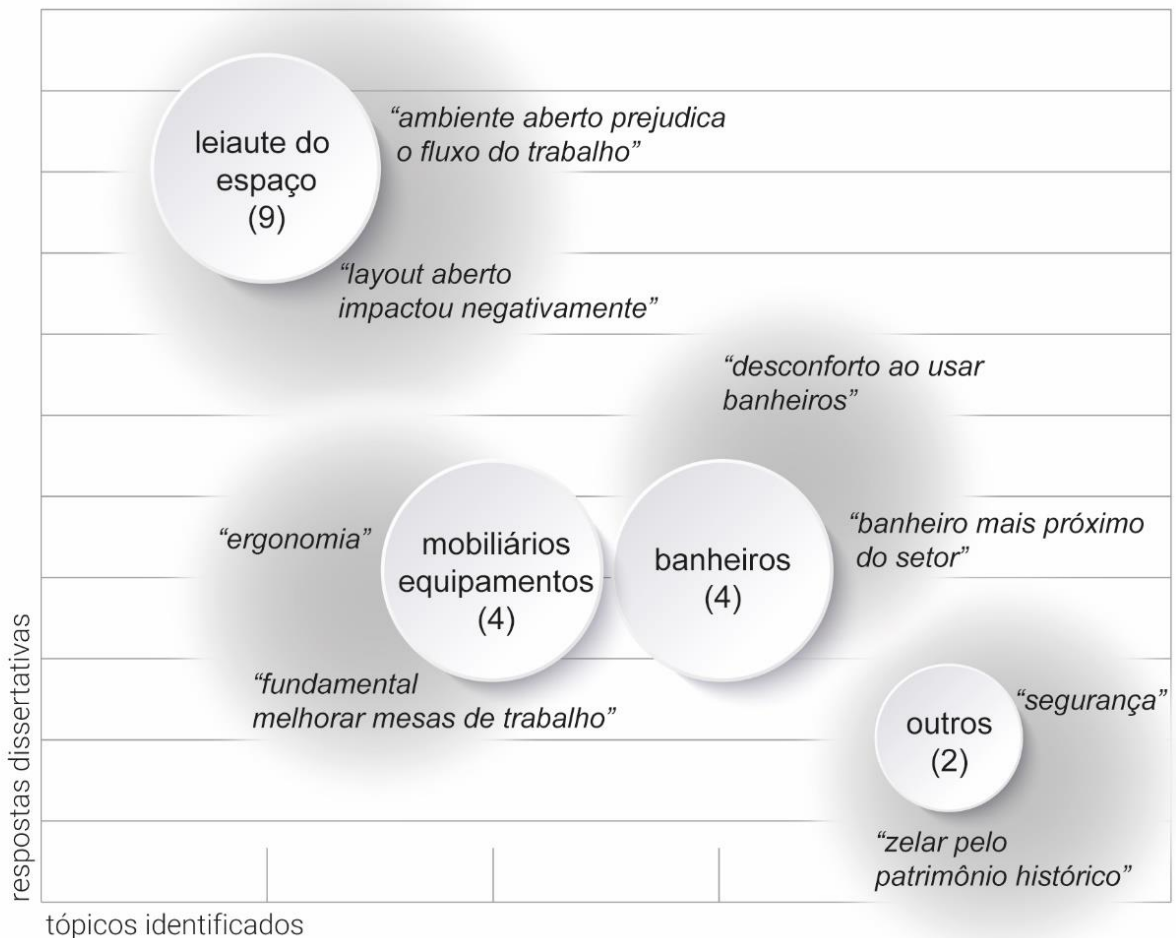
#### *4.3.4 Outros fatores*

A última seção dispôs uma questão aberta, visando identificar outros fatores que pudessem influenciar a sensação de conforto com o espaço e que não tivessem sido mencionados nas perguntas fechadas. As respostas foram analisadas e separadas por similaridade, sendo possível identificar os seguintes tópicos:

1. **Leiaute do espaço:** relatam que a configuração espacial aberta gera impactos no desempenho das tarefas devido aos ruídos percebidos no espaço.
2. **Mobiliários e equipamentos:** sinalizam a necessidade de melhorias nos mobiliários.
3. **Banheiros:** expõem a necessidade de melhorias nos banheiros da edificação. Os banheiros do CAFF estão localizados no centro da edificação, junto ao núcleo de circulação vertical, o que impacta no deslocamento dos ocupantes para fora do setor ao longo do período de trabalho (por estarem fora do setor selecionado para a pesquisa, essa demanda não foi considerada).
4. **Outros:** indica-se zelar pela manutenção do patrimônio histórico e segurança.

As respostas obtidas podem ser consultadas no Apêndice J. A Figura 46 apresenta as respostas separadas por similaridade.

Figura 46 - Gráfico de outros fatores identificados



Fonte: Elaborada pela autora.

Pode-se notar, a partir da aplicação do questionário, que as necessidades investigadas convergem para um mesmo direcionamento, ao tratar-se da relação do espaço com as necessidades dos ocupantes. Questões sobre conforto acústico, incidência de luz, limpeza e distribuição do espaço se destacam.

Uma das dificuldades identificadas na aplicação do questionário foi obter um número maior de respondentes. Ao analisar-se o grupo de atividades que causam impactos nas necessidades dos ocupantes, é possível sugerir a utilização de sensores para medir questões associadas aos confortos térmico, acústico e visual, como indicado por Bortolini *et al.* (2022) e Hosamo *et al.* (2023a, 2023b). Esses dados também podem ser obtidos por meio de sensores vestíveis, como indica Kim, Schiavon e Brager (2018).

Por fim, buscou-se identificar se existe relação entre as necessidades dos ocupantes e os requisitos de operação e manutenção exibidos na seção 4.1. O requisito relacionado à limpeza dos espaços se destacou na análise das recorrências de intervenções e pode ser associado à necessidade dos ocupantes que também salientam esse fator. As demais atividades internas destacadas vinculam-se a intervenções de funcionamento do sistema elétrico e de rede (por exemplo, alterações e ajustes de tomadas), e a questões de deslocamento e mudanças de objetos, porém, não é possível relacioná-las diretamente ao conforto dos ocupantes pelas respostas obtidas no questionário, mas é possível associá-las às necessidades dos ocupantes, visto que envolvem a usabilidade e a segurança do espaço.

Para monitoramento das necessidades dos ocupantes em relação ao ambiente interno não existem tecnologias implementadas – quando são enviados questionários que visam identificar relações desse tipo, a dificuldade é a mesma encontrada no âmbito desta investigação: obter um número significativo de respostas.

#### 4.4 NÍVEL DE EVOLUÇÃO E POSSIBILIDADES DE USO DE GÊMEOS DIGITAIS

A fim de alcançar o **objetivo específico 3** desta pesquisa, foram observadas as etapas do processo de criação do GD, identificando-se os componentes dos paradigmas físico-dados-virtual. Além disso, foram indicadas as tecnologias encontradas durante a observação do objeto de estudo. Dessa forma, o objetivo foi alcançado ao se identificar os elementos físicos, seu respectivo virtual e o manejo de dados entre eles. Adicionalmente, verificou-se se as necessidades dos ocupantes

estavam relacionadas ao manejo de dados e informações. A seguir, no Quadro 32, são resumidas as habilidades identificadas em cada unidade de análise observada, utilizando-se a estrutura de identificação das habilidades requeridas para cada componente, conforme apresentado por Boje *et al.* (2020).

Quadro 32 - Habilidades GD identificadas nas unidades de análise

Habilidade/ componente		U1	U2	U3	Descrição da habilidade
Físico	Sentido		●		A habilidade de observar o mundo físico em RT por meio do uso de sensores
	Monitoramento				A habilidade de acompanhar, informar e emitir avisos sobre alterações físicas relevantes
	Atuação				A habilidade de alterar/ativar/desativar componentes físicos com base em decisões/estímulos virtuais
Dados	BIM		●		A habilidade de integrar e consumir conjuntos de dados específicos de BIM em seus vários formatos e padrões
	IoT	●			A habilidade de integrar e compartilhar dados comunicados por dispositivos da IoT
	Conexão dos dados				A habilidade de integrar e compartilhar dados por meio de protocolos da <i>web</i> semântica
	Armazenamento dos conhecimentos	●	●	●	A habilidade de armazenar fatos sobre o sistema, suportar regras e capacidade de raciocínio
Virtual	Simular		●		A habilidade de aplicar modelos de simulação de engenharia de vários domínios de aplicação
	Prever				A habilidade de prever o comportamento do físico com base em simulações digitais e sensoriamento
	Otimizar				A habilidade de aplicar métodos de otimização e recomendar alocação inteligente de recursos de forma dinâmica
	Agência				A habilidade de delegar agentes de IA capazes de gerenciar (e atuar) no físico com base em dados digitais, seguindo comportamentos, protocolos e objetivos bem definidos

Nota: branco: não identificado; azul: parcialmente identificado; laranja: identificado.

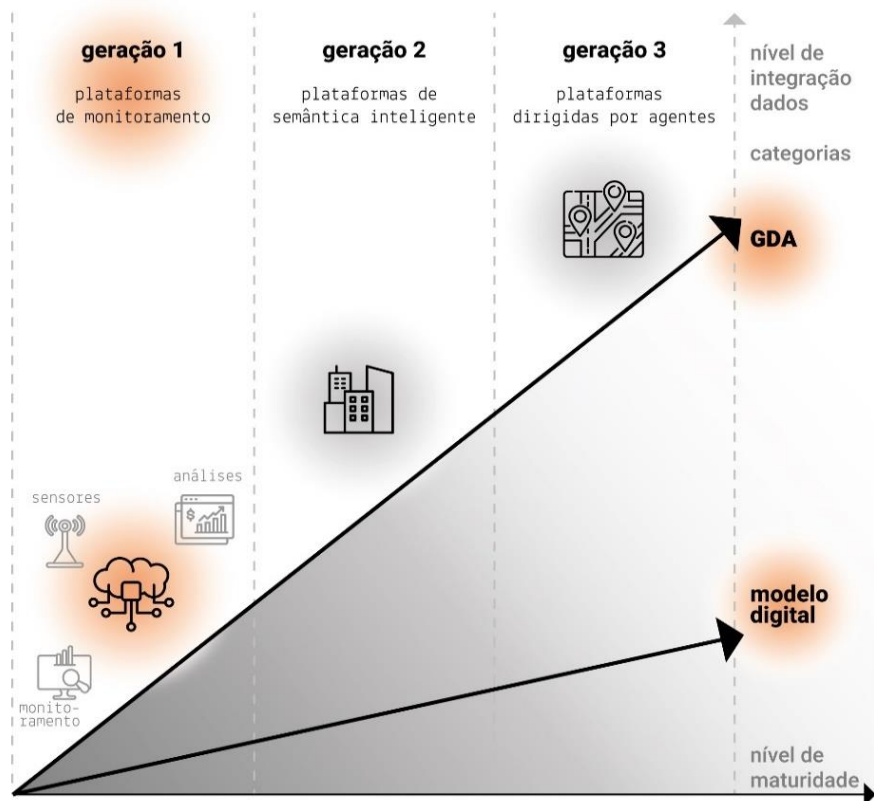
Fonte: Elaborado pela autora com base em Boje *et al.* (2020).

Organizar as habilidades por meio dessa estrutura permite identificar graficamente a maturidade encontrada no cenário desta investigação. As sinalizações de espaços em **laranja** indicam que a habilidade foi identificada; nota-se, porém, que há uma tendência ao acúmulo de dados e informações que não se integram aos

demais componentes. Identifica-se uma tendência parcial **em azul**, que demonstra, em relação ao ordenamento de atividades, a possibilidade de integrar ao SIS a captura de dados por meio de sistemas IoT, assim como identifica-se que, parcialmente, os recursos disponíveis por meio do modelo digital BIM do CAFF poderão ser utilizados para simulações – ambas as situações vão ao encontro do conceito apresentado por Kritzinger *et al.* (2018). Quanto ao **nível de integração**, o objeto investigado é considerado um **modelo digital**, no qual não ocorre a troca automatizada de dados entre físico e sua contraparte digital. Dessa forma, as alterações no estado do objeto físico não afetam o objeto digital, e vice-versa, como foi demonstrado no fluxo de atualização da modelagem apresentado na Figura 42.

Em relação à **maturidade alcançada**, conforme Boje *et al.* (2020), o objeto encontra-se associado à **geração 1**, considerada uma tentativa inicial de GD, na qual são utilizadas plataformas de monitoramento que proporcionam detecções do objeto físico, extraem-se relatórios e, a partir disso, são obtidos recursos de análise. A Figura 46 apresenta o gráfico de evolução dos GD associado à esta investigação.

Figura 47 - Nível de evolução dos gêmeos digitais CAFF (SUAD)



Fonte: Elaborada pela autora.

Outra perspectiva associada ao objeto em análise, visando classificá-lo e nivelá-lo, está relacionada ao tipo de **categoria**, conforme abordado por Grieves e Vickers (2017). Observa-se a possibilidade de associar o estudo de caso à criação de **gêmeos digitais agregados (GDA)**, visto que as funções requeridas para as atividades internas de operar e manter o ambiente construído exigem a combinação de mais de um GD.

Considerando que os GD são capazes de espelhar produtos, processos ou serviços, sendo possível replicar o mundo físico (Attaran; Celik, 2023), foram identificadas possibilidades de sua utilização para a gestão de atividades internas do ambiente construído. A seguir, no Quadro 33, são apresentadas as possibilidades identificadas a partir das unidades de análise observadas, classificadas quanto ao objeto espelhado: produto, processo ou serviço; condições a serem operadas por meio desse recurso; e possíveis falhas identificadas a serem resolvidas.

Quadro 33 - Possibilidades de criação de gêmeos digitais das unidades observadas

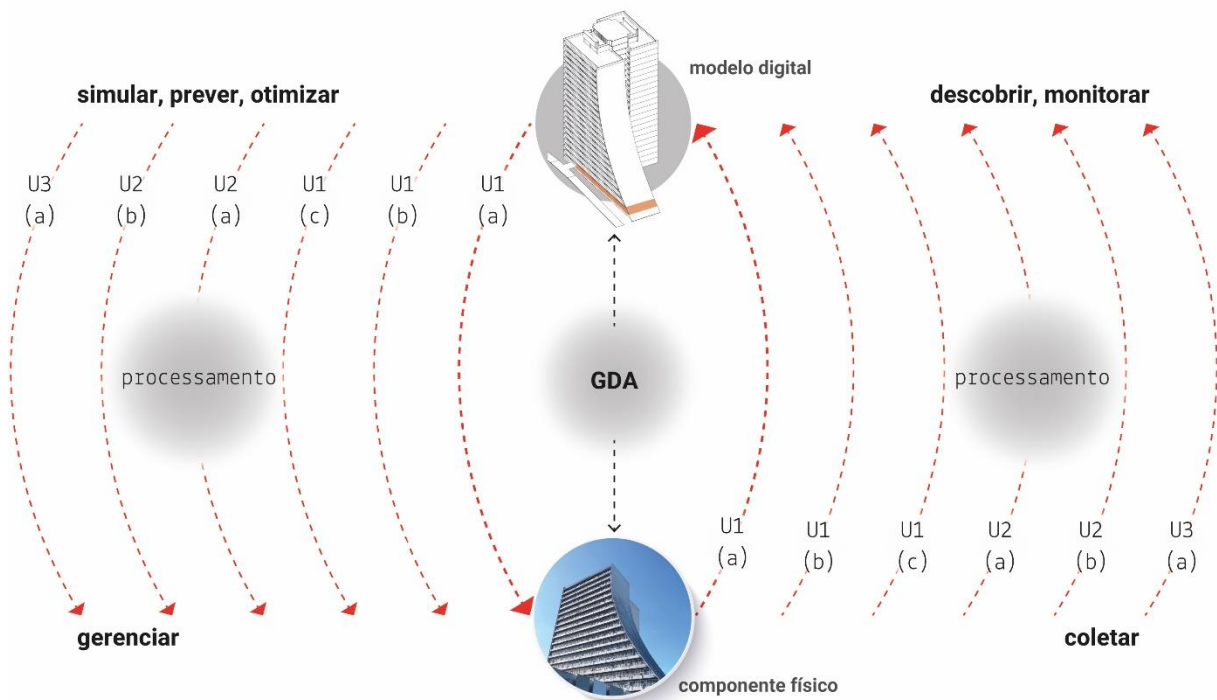
Unidade análise	Classificação GD	Condições operacionais	Ações esperadas
U1 (a)	Processo	Manutenção preditiva: melhoria de processos de solicitações de reformas SIS	Programar tarefas combinadas; automatizar o controle de encerramento de tarefas
U1 (b)	Produto	Manutenção preventiva: identificação de quando haverá uma falha nos sistemas elétrico e de rede	Prevenir a paralisação das atividades pela ocorrência de falhas
U1 (c)	Processo	Ações de funcionamento: validação de prioridade das solicitações abertas (níveis de urgência alto, médio ou baixo)	Gerenciar a prioridade das ocorrências
U2 (a)	Produto	Manutenção preventiva: monitoramento e prevenção de falhas dos sistemas complementares que impactam a segurança dos usuários	Utilizar o modelo virtual integrado a sistemas de monitoramento das disciplinas complementares
U2 (b)	Produto	Alterações extemporâneas: monitoramento e simulação das alterações e movimentações de leiaute	Otimizar a distribuição dos espaços considerando as relações de necessidade dos ocupantes e de objetos para estoque
U3 (a)	Serviço	Alterações extemporâneas: análise do ambiente por meio dos dados de dispositivos IoT e sensores vestíveis	Simular alterações de uso monitorando as necessidades dos ocupantes, questões associadas aos confortos térmico, acústico e visual

Fonte: Elaborado pela autora.



A identificação dessas possibilidades ocorreu inicialmente por meio da observação das funções de operação e manutenção que poderiam ser monitoradas com a tecnologia GD. Posteriormente, buscou-se descobrir quais ações poderiam ser tomadas com base nessas informações, visando simulações, prevenções e otimizações do ambiente construído. Espera-se que os GD possam ser visualizados e integrados por meio da modelagem virtual obtida por meio do projeto-piloto CAFF. A Figura 48 ilustra graficamente essa possível condição.

Figura 48 - Gêmeos digitais agregados para operação e manutenção



Fonte: Elaborada pela autora.

A partir desse reconhecimento, torna-se necessário aprofundar ainda mais os conhecimentos e investigações sobre quais dados são necessários e possíveis capturar, bem como entender como serão processados para se transformarem em informações legíveis que possam ser utilizadas para o monitoramento do componente físico. A próxima seção conclui esta investigação com a apresentação de estruturas de criação de GD por camadas que podem ser aplicadas no ordenamento de atividades de operação e manutenção internas.

## 5 CONCLUIR

A fim de concluir a condução deste estudo de caso, apresenta-se este último capítulo, no qual compara-se a estrutura teórica das seções 2.4 e 2.5 com o objeto estudo em seu contexto real, identificando quais estágios foram alcançados por meio do projeto-piloto CAFF em desenvolvimento.

### 5.1 GEMINAÇÃO PARA O ORDENAMENTO DE ATIVIDADES

Baseando-se na identificação das etapas de criação do GD dispostas em cinco camadas por Tuhaise, Tah e Abanda (2023) e na estrutura de implementação de GD por camadas, proposta por Zhao *et al.* (2022), comparam-se as etapas observadas no estudo de caso, a fim de validar o problema de pesquisa que orientou esta investigação: *como a utilização de GD, por meio dos seus três componentes físico-dados-virtual, contribui para ordenar as atividades de operação e manutenção internas em edificações existentes?*

A partir da estrutura apresentada na seção 2.5, na qual descreveram-se as tecnologias e funcionalidades do processo de geminação, identificou-se que o estudo de caso analisado avançou por etapas necessárias para a geminação do ambiente construído, em concordância com Boje *et al.* (2020), que afirmam que a implementação do GD começa com o BIM. Por esse motivo, apresenta-se como exemplo, no Quadro 34, o conjunto de informações para identificação das atividades observadas no processo de modelagem virtual CAFF–SUAD.

Primeiramente, identificam-se os componentes: entidade física (SUAD), protocolo de conexão entre entidades física e virtual e modo de representação da entidade virtual. A seguir, dispõe-se as camadas da seguinte forma:

1. Aquisição de dados – coleção de dados capturados e conjunto de dados obtido.
2. Transmissão de dados – rede de comunicação e transmissão.
3. Modelagem digital.
4. Integração de dados/modelo – armazenamento dos dados; integração e fusão de dados modelados; processamento e análise dos dados; visualização dos dados.
5. Serviço – funcionalidade.

Quadro 34 - Identificação do processo de geminação CAFF (SUAD)

<b>Componentes do gêmeo digital – CAFF (SUAD)</b>				
<b>Entidade física</b>		<b>Protocolo de conexão entre físico e virtual</b>		<b>Entidade virtual</b>
Setor selecionado – SUAD		FARO Focus S150		Modelo BIM do setor
<b>Tecnologias para aquisição e transmissão de dados e modelagem digital</b>				
<b>(1) Aquisição de dados</b>		<b>(2) Transmissão de dados</b>		<b>(3) Modelagem digital</b>
Coleção de dados	Conjunto de dados	Rede e comunicação	Transmissão	Modelagem virtual (3D)
Sistema de monitoramento LIDAR, processamento FARO Sphere®, Recap	Conjunto de imagens e nuvem de pontos do ambiente físico	Rede local (LAN), internet	CDE (ACC), FARO Sphere®	Modelo BIM, Autodesk Revit
<b>Tecnologias para integração de dados/modelos e camadas de serviço</b>				
<b>(4) Integração de dados/modelo</b>				<b>(5) Serviço</b>
Armazenamento de dados	Integração e fusão de dados/modelos	Processamento e análise de dados	Visualização dos dados	Funcionalidade
Rede interna SPGG ACC	Autodesk Navisworks	Análise simples: análise de visibilidade	CDE ACC	Levantamento digital, modelo <i>as built</i> – CAFF (SUAD)

Fonte: Elaborado pela autora.

A organização disposta por meio da estrutura apresentada permite a identificação dos componentes e o ordenamento das ações e tecnologias necessárias para alcançar a funcionalidade pretendida para o GD. Selecionou-se, para fins de comparação e exemplificação desse processo, somente um exemplo relacionado à observação do objeto de estudo. No entanto, essa estrutura pode ser aplicada às outras unidades de análise, a fim de identificar os recursos necessários para avançar com a geminação do objeto de estudo. Além disso, as possibilidades apresentadas na seção 4.4 de GDA podem ser organizadas a partir dessa estrutura.

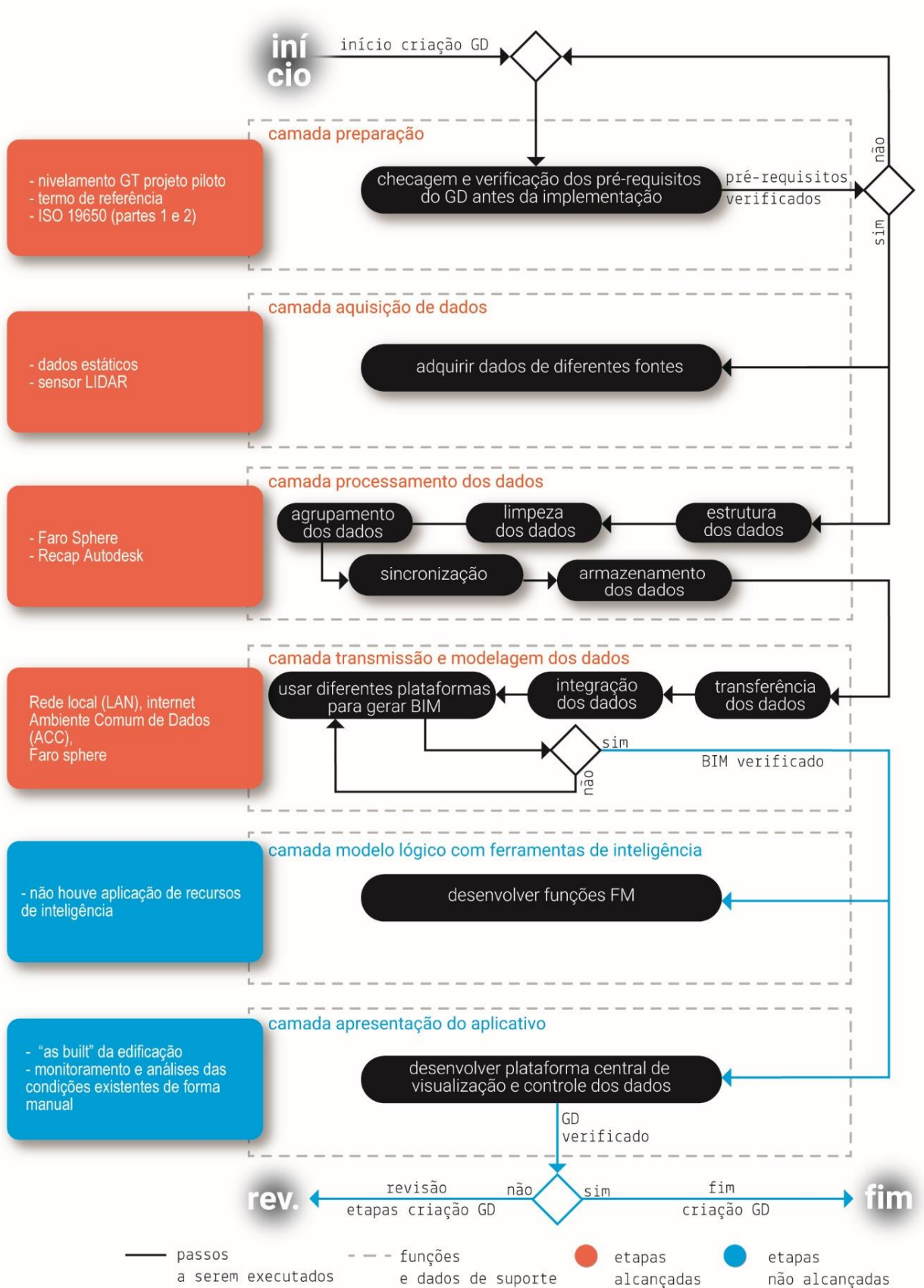
Aplicou-se também o exemplo observado ao *framework* de implantação proposto por Zhao *et al.* (2022) e adaptado nesta investigação, conforme identificado

na seção 2.5. As camadas dispostas nessa estrutura permitem organizar a criação do GD a partir dos seguintes tópicos:

- 1. Camada preparação:** dispõe os conhecimentos fundamentais para iniciar o processo de geminação e envolve a identificação de processo de interoperabilidade, princípios *gemini*, segurança de dados, estrutura para gestão da informação, ISO 19650 (1 e 2) e formato de dados abertos. Em relação ao objeto de estudo, podem ser associados a esta camada a redação e as definições que nortearam o edital de levantamento cadastral digital, a construção do termo de referência, a definição do grupo de trabalho do projeto-piloto e o nivelamento dos integrantes.
- 2. Camada de aquisição de dados:** suporta os dados capturados através de sensores, dispositivos IoT, informações de gestão do edifício e de outros modelos que possam ser integrados (COBie, IFC). Neste estágio, indica-se a captura da realidade apresentada na seção 4.2.1 (também poderiam ser integradas as recorrências de intervenções da seção 4.1.2).
- 3. Camada de processamento dos dados:** no objeto observado, ocorreu por meio do processamento das informações do escaneamento a *laser* que capturou a realidade do componente físico.
- 4. Camada de transmissão e modelagem dos dados:** ocorreu com o processo de capacitação da equipe de modeladores do projeto-piloto e por meio da entrega efetuada pela empresa contratada, conforme descrito na seção 4.2.3.
- 5. Camada modelo lógico com ferramentas de inteligência:** não foi alcançada pelo objeto de estudo observado. Neste estágio, são aplicados recursos de inteligência capazes de gerir as funções voltadas a operação e manutenção do ambiente.
- 6. Camada de apresentação do aplicativo:** nesta camada, são visualizadas as informações capazes de simular, analisar, prever e otimizar os elementos físicos. Esta camada foi parcialmente atingida, tendo em vista que as análises e simulações utilizadas não empregaram recursos de inteligência.

Buscou-se identificar, a partir da descrição das camadas, quais etapas do objeto de estudo foram alcançadas. A Figura 49 apresenta graficamente essa organização.

Figura 49 - Framework de implementado CAFF (SUAD)



Fonte: Elaborada pela autora com base em Zhao *et al.* (2022).

Ao situar os dados coletados no *framework* de implementação, notou-se a necessidade de revisitar etapas, assim, ao final da estrutura proposta para implementação de GD, adicionou-se um item de revisão das etapas de criação. Tendo em vista que as camadas são obrigatoriamente conectadas e dependentes, o processo pode ser reiniciado aferindo-se todos os pontos necessários até que seja alcançado o uso esperado da geminação. Afim de deixar a aplicação da estrutura mais clara, o processo proposto *bottom-up* proposto originalmente pelos autores, foi invertido, estimulando a leitura de cima para baixo.

Pode-se considerar que ambos os procedimentos forneceram uma estrutura conceitual para a criação de GD, que pode ser utilizada para organizar as ações necessárias para a aplicação das tecnologias para atividades internas de operação e manutenção de ambientes construídos. Ao longo desta investigação, refletiu-se sobre a ordem ideal para aplicação dessas estruturas e, embora o seu preenchimento não siga uma ordem fixa, à medida que o processo de geminação avança, as camadas devem ser revisadas, alteradas e preenchidas. Sugere-se também, ao iniciar o processo de geminação voltado a essas atividades, as seguintes reflexões:

1. Qual serviço busca-se simular, prevenir, otimizar ou gerir?
2. De que forma a tecnologia GD resolveria esse serviço?
3. Quais dados são necessários capturar, monitorar, ativar ou desativar?
4. De que forma esses dados serão coletados?
5. De que forma serão processados e armazenados?
6. Qual o conhecimento (informação) obtido por meio desses dados?
7. Agentes de IA são capazes de gerenciar essas informações?
8. De que forma esses dados serão visualizados no ambiente virtual?
9. Quais disciplinas são necessárias interoperar para implantação desse processo?

Diante desse contexto, refletiu-se sobre a possibilidade de utilizar essas estruturas para identificar e organizar conjuntos de atividades e tecnologias necessárias para transformar um ativo físico em um GD. O recorte da pesquisa abordou ambientes construídos internos, e foi possível compreender que, ao utilizar esse processo de criação como ferramenta, é possível ordenar a operação e a

manutenção das atividades internas de forma a transformar essas intervenções em processos otimizados, preventivos e inteligentes.

Para auxiliar esse processo de geminação (criação do GD), sugere-se a aplicação das três **estruturas conceituais** observadas por meio deste estudo, nas quais primeiramente identifica-se o uso do GD, após, as tecnologias necessárias para cada ação requerida do processo e, por fim, implementa-se a tecnologia, sendo cada uma delas dispostas da seguinte forma:

**1. Identificação das possibilidades de uso de GD:** busca-se identificar a falha para a qual o GD será uma possível solução. Para isso, classifica-se a natureza do GD (processo, produto ou serviço), as condições operacionais (ver seção 2.3) e a ação esperada para aplicação da tecnologia. Com isso, tem-se a falha identificada e a possível solução GD. O protótipo de aplicação dessa estrutura é apresentado na Figura 50.

Figura 50 - Identificação das possibilidades de uso do gêmeo digital

1. Identificação das possibilidades de uso do gêmeo digital

classificação gêmeo digital

processo

produto

serviço

condições operacionais

tipo

manutenção preventiva

manutenção corretiva

manutenção preditiva

alteração extemporânea

local

manutenção de campo

manutenção fora do local de utilização

manutenção remota

manutenção automática

funcionamento

afetando funcionamento

permitindo funcionamento

ação extemporânea

alteração de layout

alteração de uso

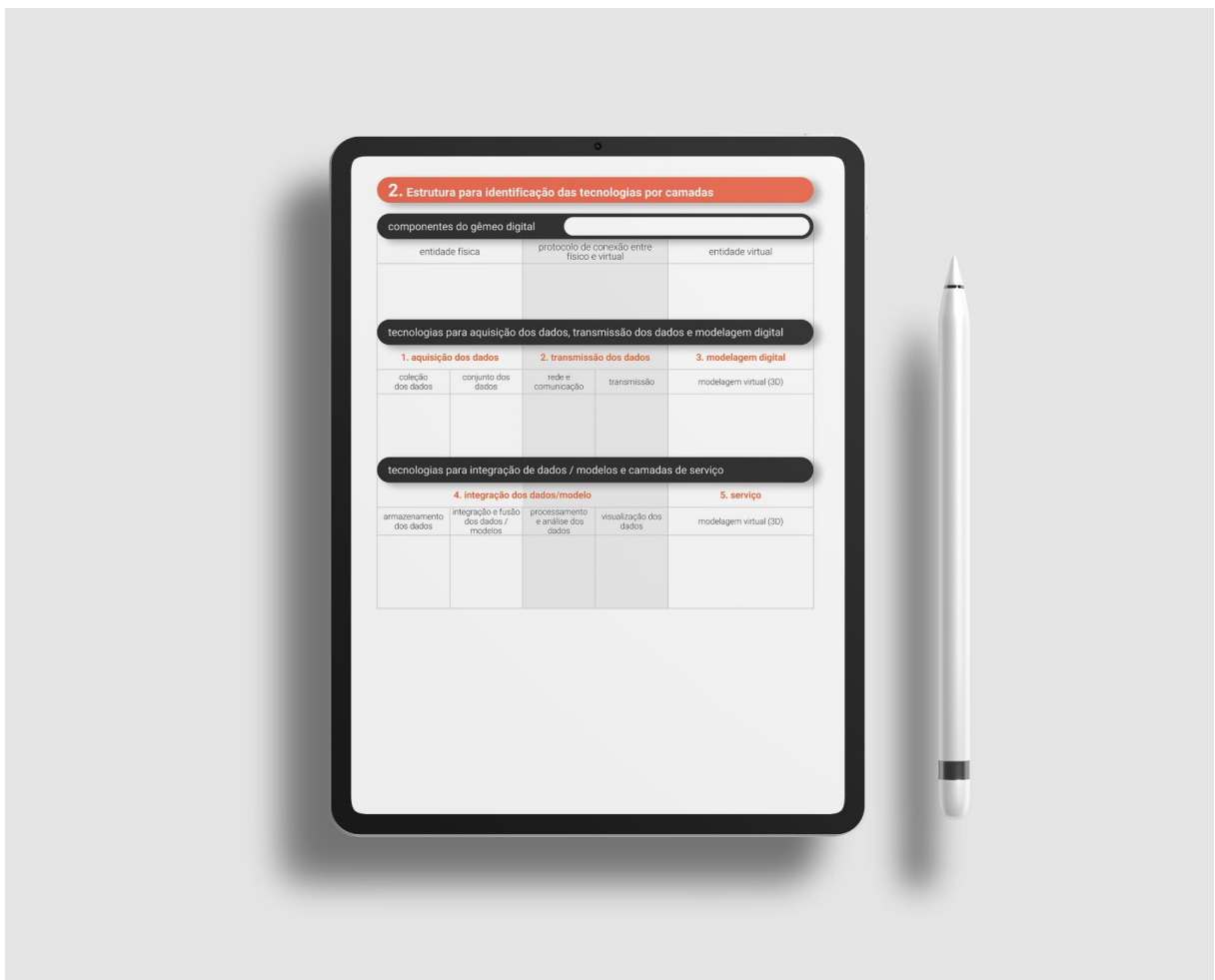
ações esperadas

O que o GD resolverá?

Fonte: Elaborada pela autora.

**2. Identificação das tecnologias por camadas:** identificadas a falha e a possível solução, parte-se para uma distribuição das camadas, a fim de identificar e planejar as tecnologias necessárias para geminação. Dessa forma, investigam-se as possibilidades para aquisição dos dados, quais protocolos serão utilizados para transmissão, como essas informações serão visualizadas e integradas conforme o que se espera alcançar. O protótipo dessa estrutura é apresentado na Figura 51.

Figura 51 - Estrutura para identificação das tecnologias por camadas

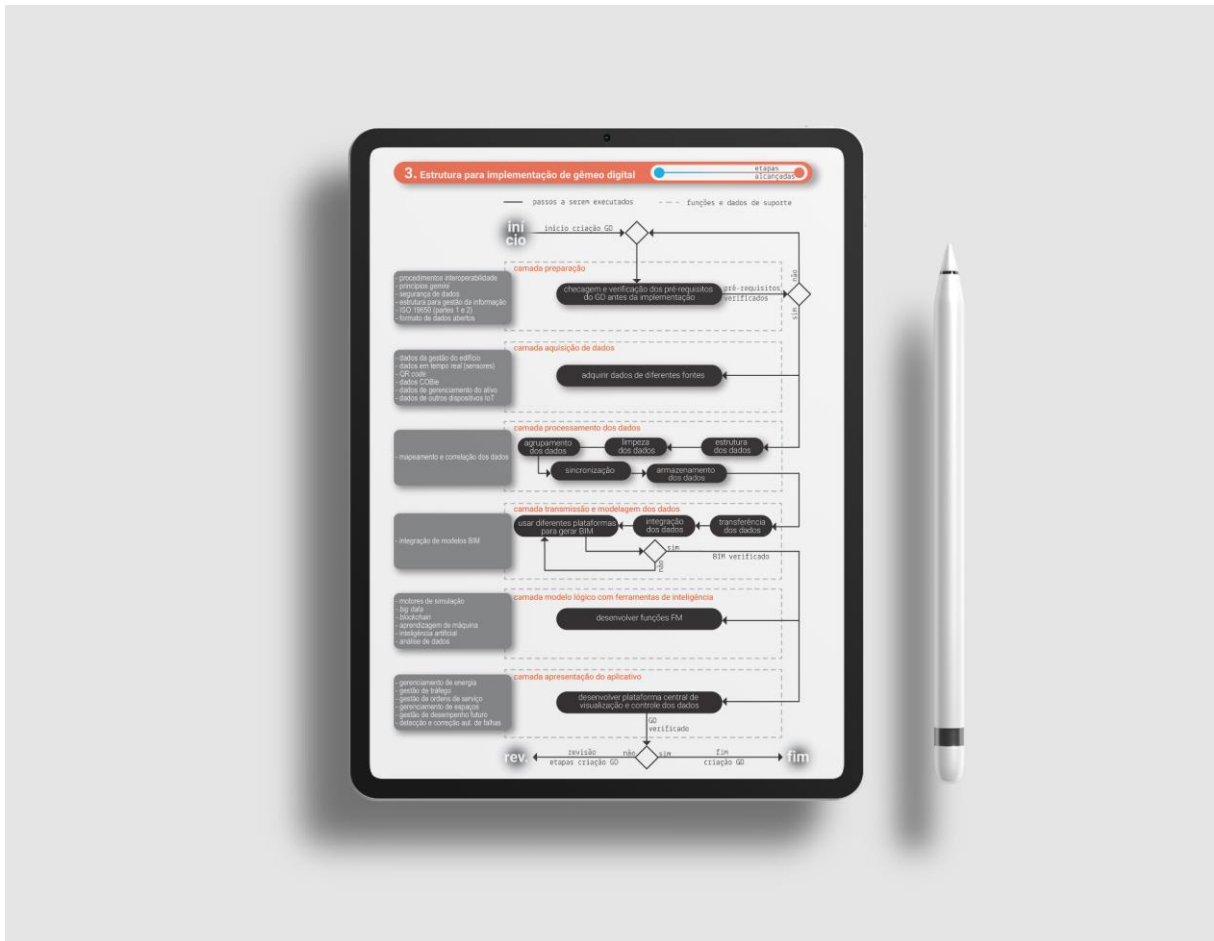


Fonte: Elaborada pela autora.

**3. Estrutura para implementação de GD:** nesse estágio, quando esclarecidos o uso e as tecnologias necessárias para implementação, utiliza-se a estrutura para validar as etapas alcançadas, revisando o processo de geminação sempre que necessário. O protótipo dessa estrutura é apresentado na Figura 52.



Figura 52 - Estrutura para implementação de gêmeo digital



Fonte: Elaborada pela autora.

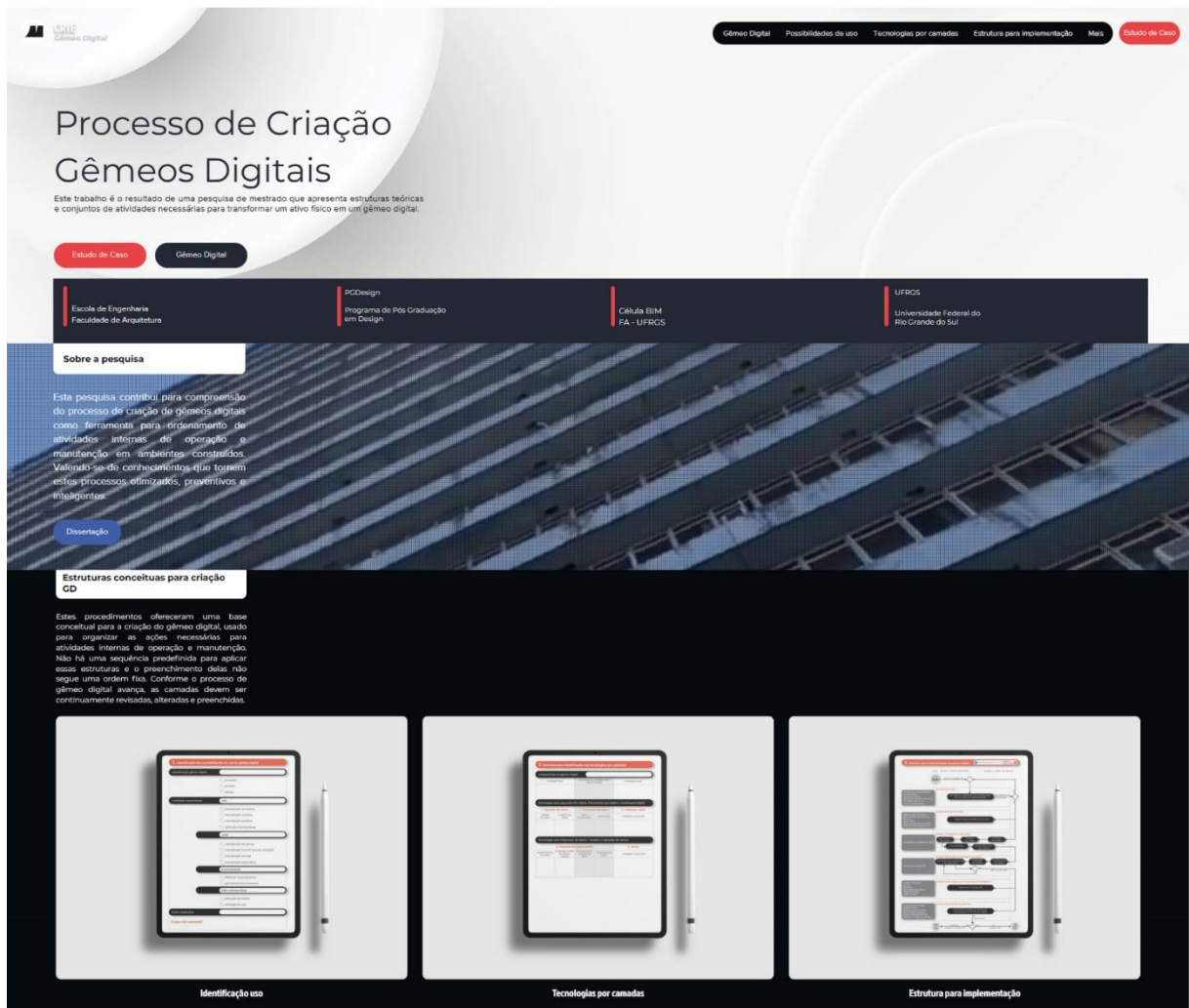
Por fim, alcançou-se o **objetivo específico 4** desta investigação, comparando-se as estruturas teóricas de criação de GD com as etapas observadas no objeto de estudo selecionado, confirmando a hipótese indicada como solução para a pergunta-problema que orientou esta investigação – de que por meio dos processos e etapas de criação de GD, é possível ordenar atividades de operação e manutenção internas em edificação existentes, baseando-se em simulações, previsão de acontecimentos, análises hipotéticas e otimizações. Quanto às necessidades dos ocupantes, é possível implementar GD voltados exclusivamente para o conforto interno do ambiente que impactam os usuários, bem como tomar decisões a partir de requisitos direcionados ao conforto e a níveis de satisfação dos ocupantes, relacionando os níveis com as condições operacionais requeridas pela manutenção de edifícios existentes.

## 5.2 CRIE GÊMEO DIGITAL

Com o intuito de organizar os conhecimentos necessários para a utilização das estruturas conceituais apresentadas, desenvolveu-se um *site* para divulgação dos conteúdos. A aplicação foi intitulada CRIE Gêmeo Digital e espera-se que sirva como um facilitador da disseminação e divulgação dos conhecimentos adquiridos ao longo desta investigação. A Figura 53 ilustra a interface inicial do *site*, que foi criado utilizando-se a plataforma *on-line* com recursos gratuitos Wix.com, cujo domínio “criegemeodigital.com” foi adquirido e pertence à pesquisadora.

A interface inicial apresenta as motivações da pesquisa e contém uma aba que direciona para o repositório da universidade, onde o documento final da dissertação ficará armazenado após sua homologação

Figura 53 - Interface inicial CRIE Gêmeo Digital



Fonte: Elaborada pela autora.

A segunda interface, apresentada na Figura 54, expõe a aba “Gêmeo digital”, onde apresenta-se a descrição da tecnologia, do paradigma físico-dados-virtual e como ocorre a interação dos usuários e IA.

Figura 54 - Interface descrições

The screenshot displays the 'Gêmeo Digital' interface with a dark theme. At the top, there is a navigation bar with the logo 'CRIE Gêmeo Digital' and menu items: 'Gêmeo Digital', 'Possibilidades de uso', 'Tecnologias por camadas', 'Estrutura para implementação', 'Mais', and a red 'Estudo de Caso' button. The main content area is divided into two sections:

**Fluxo**  
 O paradigma físico-dados-virtual configura os componentes essenciais para a criação de um gêmeo digital. A partir do objeto físico, é possível identificar as atividades necessárias para as operações e manutenções do espaço. Essas informações coletadas têm influência na geração do modelo virtual. Por meio desse modelo virtual, é viável realizar simulações, previsões e avaliações dos impactos relacionados ao espaço físico.

The diagram for 'Fluxo' shows a cycle: 'O físico' leads to 'coleta', which feeds into 'dados'. 'dados' goes to 'processamento', which feeds into 'O virtual'. 'O virtual' leads to 'descobertas', which feeds into 'gerenciamento', which feeds back into 'O físico'. A legend at the bottom indicates: 'seta física' (solid arrow), 'seta virtual' (dashed arrow), and 'seta de dados' (dotted arrow).

**Interação usuários e IA**  
 Para a interação entre físico e virtual, considera-se atribuir ao componente dados os usuários que são utilizadores e parte do sistema do gêmeo digital, bem como a IA, que permitirá ao gêmeo digital executar tarefas com mínima ou nenhuma supervisão humana. Ao intermediar o fluxo de descobertas e gerenciamento, as necessidades dos ocupantes podem ser utilizadas para avaliar e aprimorar as possibilidades de gestão do espaço.

The diagram for 'Interação' shows a cycle: 'usuário' interacts with 'gêmeo digital'. 'gêmeo digital' interacts with 'inteligência'. 'inteligência' interacts with 'O físico'. 'O físico' interacts back with 'usuário'.

At the bottom right, contact information is provided: 'Contato da pesquisadora', 'natalia.diehl@ufpr.br', '+55 51 99623 9703', 'PGDesign - UFRGS', and 'criegemeodigital@gmail.com'.

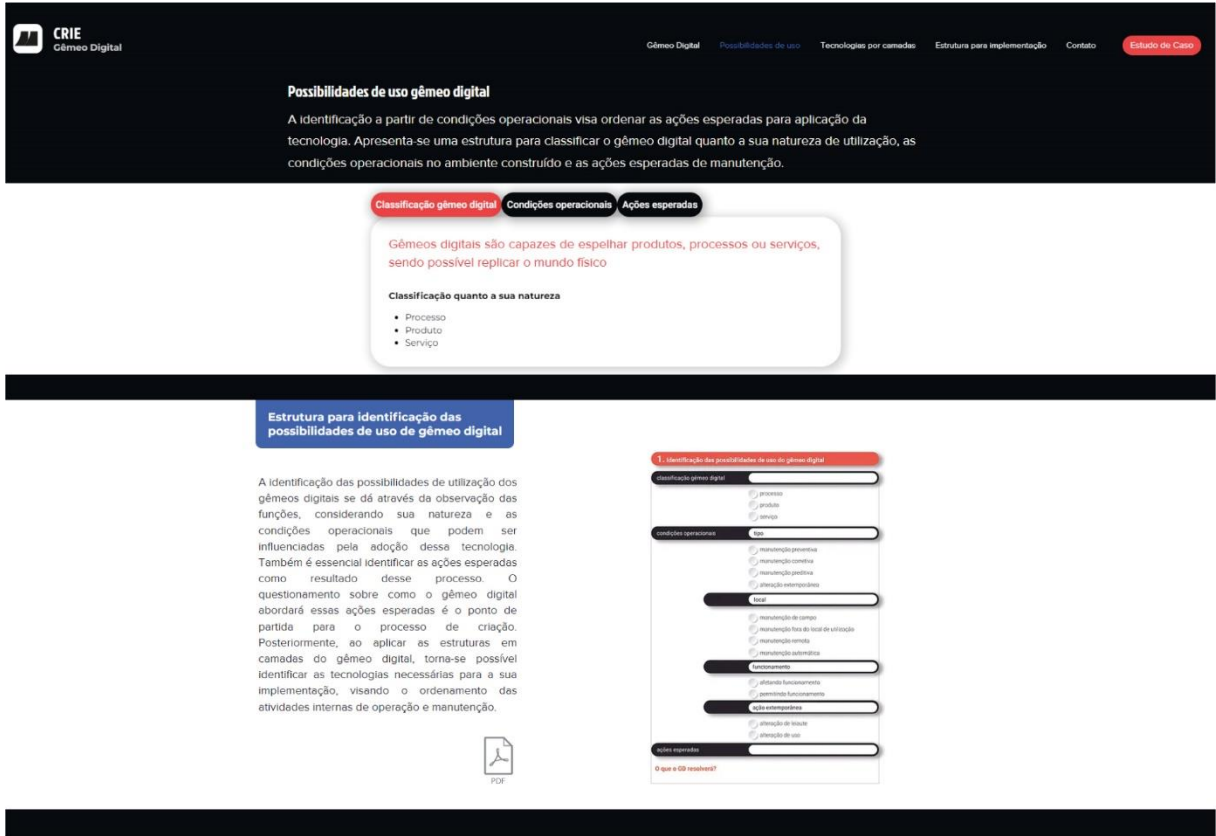
Fonte: Elaborada pela autora.

Para promover os esclarecimentos necessários quanto ao uso das estruturas conceituais de criação GD, distribui-se uma seção contendo conhecimentos que poderão auxiliar na utilização das estruturas propostas.

As seções são nomeadas como: Possibilidades de uso, tecnologias por camadas e estrutura para implementação. Além dos esclarecimentos, é disponibilizado para *download* o arquivo em .pdf e o exemplo de preenchimento da estrutura com as informações coletadas no estudo de caso. A Figura 55 apresenta esta interface.

A ferramenta servirá como ambiente virtual de divulgação da investigação e dos resultados desta pesquisa. Para visualizar a aplicação, acesse: <https://www.criegemeodigital.com/>.

Figura 55 - Seção das estruturas conceituais



Fonte: Elaborada pela autora.

A seguir apresentam-se as considerações finais alcançadas por esta investigação.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo, compreendeu-se como o processo de criação de um GD pode contribuir para a otimização das atividades internas de operação e manutenção em ambientes construídos. Primeiramente, observaram-se possíveis otimizações no SIS para intervenções em reformas e manutenções. Depois, identificaram-se correlações entre solicitações de ocorrências mais frequentes e as necessidades dos ocupantes.

Reconheceu-se a necessidade de GDA, integrando vários GD de processos, produtos e serviços para a operação e a manutenção de ambientes construídos. Nesse contexto, foram identificadas oportunidades de avanço do projeto-piloto CAFF utilizando GD para a manutenção preditiva de falhas relacionadas ao objeto observado (SUAD). Além disso, percebeu-se que as estruturas conceituais

apresentadas podem auxiliar a formar equipes e a identificar as tecnologias necessárias para implementar um GD.

Entende-se que, embora seja possível capturar praticamente qualquer condição física através de sensores e dispositivos, o caminho oposto ainda não é tão simples. Inevitavelmente, muitas das ações que envolvem operar e manter ambientes construídos estão atribuídas ao emprego de seres humanos. Interferir em condições físicas existentes a partir do virtual requer, além de planejamento, novos materiais e processos. Dessa forma, espera-se que os conhecimentos apresentados possam apoiar a criação de termos de referência que orientem contratações para a implementação da tecnologia de GD para o aprimoramento da manutenção de ativos públicos.

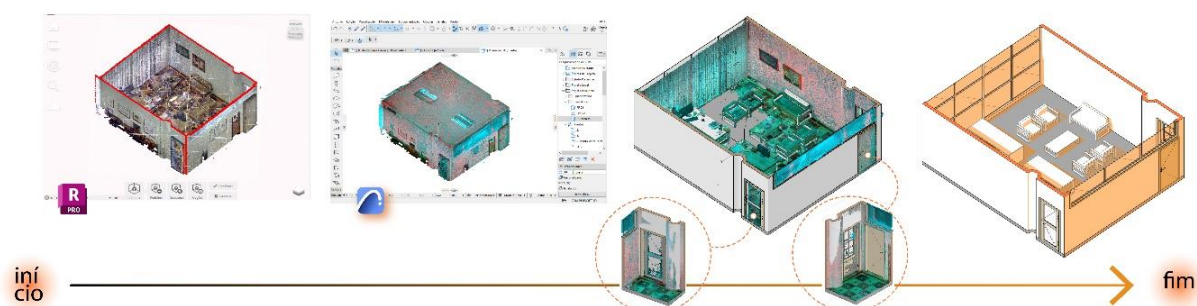
A tecnologia de GD gera questionamentos e dúvidas quanto ao seu alcance e aplicação no ambiente construído e, por esse motivo, esta pesquisa fez-se importante ao comparar, de forma contextual, em que estágio os conhecimentos acerca dessa temática se encontram. Espera-se também que os conhecimentos adquiridos ao longo desta investigação sirvam ao propósito de otimizar operações e manutenções internas de edificações existentes, bem como ampliem o interesse e a evolução do tema de forma interdisciplinar.

Uma das ações almejadas desde o início desta investigação foi promover a interação entre esferas de interesse diversos por meio do modelo tríplice hélice. Uma demonstração do que foi alcançado com esta pesquisa dispõe-se no trabalho intitulado “Oficina de modelagem com nuvem de pontos: integração de captura da realidade ao BIM” (Figura 56), reconhecido e premiado como o melhor na categoria de Materiais Didáticos Desenvolvidos do Encontro Nacional sobre o Ensino de BIM – EneBIM 2023 (Diehl *et al.*, 2023a).

A abordagem empregada na oficina aplicou os conhecimentos adquiridos ao longo do processo de imersão inicial, durante o qual foram acompanhadas as aulas de capacitação destinadas aos servidores participantes do projeto-piloto Estratégia BIMGov-RS, ministradas pela empresa vencedora do edital de levantamento cadastral digital do CAFF.

O suporte oferecido pelo LaBIM/RS possibilitou à pesquisadora realizar uma investigação aprofundada sobre o tema proposto, valendo-se de todos os recursos disponíveis para essa finalidade.

Figura 56 - Fluxo de trabalho apresentado no EneBIM 2023



Fonte: Adaptada de Diehl *et al.* (2023a).

Nota-se, que o modelo de aplicação tríplice hélice, proporciona benefícios à academia ao contornar a dificuldade de acesso aos recursos necessários para a implementação de tecnologias associadas ao ensino, por meio dos recursos disponíveis nas instituições públicas. Paralelamente, também beneficia os setores público e privado que acolherão, no futuro, os estudantes formados nessas instituições, os quais se converterão em pesquisadores, funcionários públicos e profissionais atuantes no mercado de trabalho.

No andamento da pesquisa, buscou-se tratar o estudo de caso de forma metódica e sistemática, avaliando com seriedade os dados empíricos obtidos. Mesmo assim, em virtude do tempo disposto para o desenvolvimento deste trabalho, não foi possível alcançar todo o potencial e descobertas que o caso em análise poderia prover. Desse modo, a partir da metodologia aplicada nesta investigação, são necessárias algumas considerações a respeito da potencial expansão do estudo de caso único, que, segundo Yin (2015), pode ser utilizado como caso-piloto, ponto de partida para um estudo de casos múltiplos. Sugere-se que esta investigação possa ser integrada a um *corpus* de análise mais amplo, visando encontrar em outras entidades públicas a replicação dos fatos observados e comparados por meio deste estudo.

Outras formas de continuidade desta pesquisa podem ocorrer por meio das seguintes reflexões: embora seja possível testar e generalizar teorias a partir de estudos de caso único, compreende-se a necessidade de um aprofundamento nas teorias que fundamentam a definição de diretrizes para operar e manter os ambientes construídos internos com o uso de GD. Indica-se também valer-se do processo de criação de GD como ferramenta ativa para o ensino de diferentes campos de atuação,

como design, arquitetura, engenharias e ciências da computação, promovendo a integração dessas áreas, visto que a necessidade de colaboração entre equipes e tecnologias de disciplinas distintas foi um desafio observado no processo de aplicação de GD no contexto de ambientes construídos. Por fim, há possibilidade de continuidade da investigação com experimentos práticos, tanto de GD individuais quanto GDA, executando protótipos de processos de aplicação de GD capazes de coletar dados, processar informações, avaliar descobertas, simular intervenções e provocar melhorias em ambientes construídos existentes, tornando-os, dessa forma, sistemas operáveis inteligentes.

## REFERÊNCIAS

AGRAWAL, A. *et al.* Digital twin: Where do humans fit in? **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 148, 104749, abr. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580523000092>. Acesso em: 19 jul. 2023.

AKANMU, A. A.; ANUMBA, C. J.; OGUNSEIJU, O. O. Towards next generation cyber-physical systems and digital twins for construction. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 26, p. 505-525, 26 jul. 2021.

ALTOHAMI, A. B. A. *et al.* Investigating approaches of integrating BIM, IoT, and facility management for renovating existing buildings: A review. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 7, 3930, 2 abr. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/7/3930>. Acesso em: 19 jul. 2023.

AROWOIYA, V. A.; MOEHLER, R. C.; FANG, Y. Digital twin technology for thermal comfort and energy efficiency in buildings: A state-of-the-art and future directions. **Energy and Built Environment**, [s. l.], maio 2023. No prelo.

ARSLAN, M.; CRUZ, C.; GINHAC, D. Visualizing intrusions in dynamic building environments for worker safety. **Safety Science**, [s. l.], v. 120, p. 428-446, dez. 2019.

ARUP. **Digital twin report**. London: ARUP, 2019a. Disponível em: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/digital-twin-towards-a-meaningful-framework>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ARUP. **Project reference: Water cube pilot**. London: ARUP, 2019b. Disponível em: <https://www.arupneuron.com/project-reference-water-cube-pilot/>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15965-2**: sistema de classificação da informação da construção. Parte 2: Características dos objetos da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15965-4**: sistema de classificação da informação da construção. Parte 4: Recursos da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ATTARAN, M.; CELIK, B. G. Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. **Decision Analytics Journal**, [s. l.], v. 6, 100165, mar. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277266222300005X>. Acesso em: 19 jul. 2023.

BANFI, F. *et al.* Digital twin and cloud BIM-XR platform development: From scan-to-BIM-to-DT process to a 4D multi-user live app to improve building comfort, efficiency



and costs. **Energies**, Basel, v. 15, n. 12, 4497, 20 jun. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/12/4497>. Acesso em: 19 jul. 2023.

BARATTO, R. Resultado da oficina de desenho urbano “Rua para as Pessoas”, em Porto Alegre. *In*: ARCHDAILY Brasil. [S. l.], 16 mar. 2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-182913/resultado-da-oficina-de-desenho-urbano-rua-para-as-pessoas-em-porto-alegre>. Acesso em: 20 fev. 2024.

BOJE, C. *et al.* Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 114, 103179, jun. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580519314785>. Acesso em: 19 jul. 2023.

BORTH, M.; VERRIET, J.; MULLER, G. Digital twin strategies for SoS: 4 challenges and 4 architecture setups for digital twins of SoS. *In*: ANNUAL CONFERENCE SYSTEM OF SYSTEMS ENGINEERING (SoSE), 14., 2019, Anchorage. **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2019.

BOLTON, A. *et al.* **The gemini principles**: Guiding values for the national digital twin and information management framework. London: Centre for Digital Built Britain and Digital Framework Task Group, 2018. Disponível em: <https://www.cdbb.cam.ac.uk/system/files/documents/TheGeminiPrinciples.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2023.

BORTOLINI, R. *et al.* Digital twins' applications for building energy efficiency: A review. **Energies**, Basel, v. 15, n. 19, 7002, 23 set. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/19/7002>. Acesso em: 19 jul. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 9.983 de 22 de agosto de 2019**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=9983&ano=2019&ato=0f2MzZU9keZpWT946>. Acesso em: 19 jul. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm). Acesso em: 19 jul. 2023.

CASINI, M. Extended reality for smart building operation and maintenance: A review. **Energies**, Basel, v. 15, n. 10, 3785, 20 maio 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/10/3785>. Acesso em: 19 jul. 2023.

CENTRO ADMINISTRATIVO FERNANDO FERRARI (CAFF). [Fotos]. Porto Alegre, [2023?a]. Disponível em: <https://caff.rs.gov.br/historia/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

CENTRO ADMINISTRATIVO FERNANDO FERRARI (CAFF). História. Porto Alegre, [2024?a]. Disponível em: <https://caff.rs.gov.br/caff-centro-adm-fernando-ferrari/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

CENTRO ADMINISTRATIVO FERNANDO FERRARI (CAFF). Mapa do CAFF. Porto Alegre, [2023?b]. Disponível em: <https://caff.rs.gov.br/mapa-do-caff/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

CENTRO ADMINISTRATIVO FERNANDO FERRARI (CAFF). Marcenaria. Porto Alegre, [2024?b]. Disponível em: <https://caff.rs.gov.br/mapa-do-caff/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

CENTRO Administrativo Fernando Ferrari é totalmente liberado para retomada das atividades a partir desta quinta, 26. **Governo do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 26 jan. 2023. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/centro-administrativo-fernando-ferrari-e-totalmente-liberado-para-retomada-das-atividades-a-partir-desta-quinta-26>. Acesso em: 20 fev. 2024.

CHARLES René Hugaud, Ivanio Fontoura, Leopoldo Costanzo, Luiz Carlos Macchi e Cairo Albuquerque: Centro Administrativo do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. **Revista Projeto**, São Paulo, 30 set. 2020. Disponível em: <https://revistaprojeto.com.br/acervo/charles-rene-hugaud-ivanio-fontoura-leopoldo-costanzo-luiz-carlos-macchi-e-cairo-albuquerque-centro-administrativo-do-estado-do-rio-grande-do-sul-porto-alegre/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

COSTA, G. *et al.* A ventilation early warning system (VEWS) for diaphanous workspaces considering COVID-19 and future pandemics scenarios. **Heliyon**, Amsterdam, v. 9, n. 3, e14640, mar. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023018479>. Acesso em: 19 jul. 2023.

D'AMICO, R. D. *et al.* Cognitive digital twin: An approach to improve the maintenance management. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, Paris, v. 38, p. 613-630, ago. 2022.

DANIOTTI, B. *et al.* The development of a BIM-based interoperable toolkit for efficient renovation in buildings: From BIM to digital twin. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 2, p. 231, 17 fev. 2022.

DELGADO, M. D.; OYEDELE, L. Digital twins for the built environment: Learning from conceptual and process models in manufacturing. **Advanced Engineering Informatics**, Amsterdam, v. 49, 101332, ago. 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/352437867\\_Digital\\_Twins\\_for\\_the\\_built\\_environment\\_learning\\_from\\_conceptual\\_and\\_process\\_models\\_in\\_manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/352437867_Digital_Twins_for_the_built_environment_learning_from_conceptual_and_process_models_in_manufacturing). Acesso em: 19 jul. 2023.

DENG, M.; MENASSA, C. C.; KAMAT, V. R. 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**, [s. l.], v. 26, p. 58-83, 3 fev. 2021.

DIEHL, N. C. *et al.* Oficina de modelagem com nuvem de pontos: integração de captura da realidade ao BIM. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM*, 5., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023a. 1 pôster eletrônico. Disponível

em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/3425/3996>. Acesso em: 8 nov. 2023.

DIEHL, N. C. *et al.* BIM para reconstrução do existente: revisão sistemática. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO*, 13., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023b. p. 1-10. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/2948/2741>. Acesso em: 8 nov. 2023.

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

EL-DIN, M. N. *et al.* Digital twins for construction assets using BIM standard specifications. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 12, 2155, 7 dez. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/12/2155>. Acesso em: 19 jul. 2023.

EL MOKHTARI, K.; PANUSHEV, I.; MCARTHUR, J. J. Development of a cognitive digital twin for building management and operations. **Frontiers in Built Environment**, [s. l.], v. 8, 856873, 16 maio 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2022.856873/full>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ELYASI, N.; BELLINI, A.; KLUNGSETH, N. J. Digital transformation in facility management: An analysis of the challenges and benefits of implementing digital twins in the use phase of a building. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 1176, n. 1, 012001, 1 maio 2023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1176/1/012001/pdf>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. Hélice tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 31, n. 90, p. 23-48, ago. 2017.

FARO – Terrestrial scanner Focus S150 / S350 Plus. *In: G2Metric*. Israel, c2024. Disponível em: <https://www.g2metric.co.il/product/faro-laser-scanner-focus-s150-s350/>. Acesso em: 22 fev. 2024.

FIALHO, B. C. *et al.* Development of a BIM and IoT-based smart lighting maintenance system prototype for universities' FM sector. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 2, 99, 20 jan. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/2/99>. Acesso em: 19 jul. 2023.

FOTLAND, G.; HASKINS, C.; RØLVÅG, T. Trade study to select best alternative for cable and pulley simulation for cranes on offshore vessels. **Systems Engineering**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 177-188, 2020.

GABOR, T. *et al.* A simulation-based architecture for smart cyber-physical systems.

*In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMIC COMPUTING (ICAC), Wuerzburg, 2016. **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2016.

GARCIA, A. *et al.* Aplicação de gêmeos digitais na indústria da construção: estado da arte. *In*: CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 4., 2022, Braga. **PTBIM**. Braga: Universidade do Minho, 2022. p. 522-533. vol. 1.

GÊMEOS digitais: gestão de dados para integração de BIM e IoT | Webinar MAPData. Americana, 27 set. 2023. 1 vídeo (45 min 30 s). Publicado pelo Canal MAPDataBR. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=RVFBME-pw\\_U](https://www.youtube.com/watch?v=RVFBME-pw_U). Acesso em: 23 fev. 2024.

GIBBS, G. **Análise de dados qualitativos**. (Métodos de pesquisa; coord. Uwe Flick). Porto Alegre: Artmed, 2009. *E-book*.

GLOBAL MARKETING INSIGHTS (GMI). **Digital Twin Market**. Delaware: GMI, 2023. Disponível em: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-twin-market>. Acesso em: 19 jul. 2023.

GRIEVES, M. Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. **Digital Twin White Paper**, [s. l.], 2014. Disponível em: <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2023.

GRIEVES, M. W.; VICKERS, J. H. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *In*: KAHLEN, F-J.; FLUMERFELT, S.; ALVES, A. (eds.). **Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches**. Cham: Springer Nature, 2017. p. 85-113.

GRIEVES, M. W. Virtually intelligent product systems: Digital and physical twins. *In*: FLUMERFELT, S. *et al.* (Eds.). **Complex systems engineering: Theory and practice**. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2019. p. 175-200.

GRUPO Flug. Serviços. [S. l.], c2024. Disponível em: <https://grupoflug.com/servicos/>. Acesso em: 19 fev. 2024.

HARODE, A.; ENSAFI, M.; THABET, W. Linking BIM to power BI and HoloLens 2 to support facility management: A case study approach. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 6, 852, 18 jun. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/6/852>. Acesso em: 19 jul. 2023.

HARODE, A.; THABET, W.; DONGRE, P. A tool-based system architecture for a digital twin: A case study in a healthcare facility. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 28, p. 107-137, 28 fev. 2023.

HEATON, J.; PARLIKAD, A. K.; SCHOOLING, J. Design and development of BIM models to support operations and maintenance. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 111, p. 172-186, out. 2019.

HOCHHALTER, J. *et al.* **Coupling damage-sensing particles to the digital twin concept**. Hampton, VA: National Aeronautics and Space Administration; Langley Research Center, 2014. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20140006408/downloads/20140006408.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2024.

HUSEIEN, G. F.; SHAH, K. W. A review on 5G technology for smart energy management and smart buildings in Singapore. **Energy and AI**, [s. l.], v. 7, 100116, jan. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546821000653>. Acesso em: 19 jul. 2023.

HOSAMO, H. *et al.* Digital twin of HVAC system (HVACDT) for multiobjective optimization of energy consumption and thermal comfort based on BIM framework with ANN-MOGA. **Advances in Building Energy Research**, Boca Raton, v. 17, n. 2, p. 125-171, 4 mar. 2022.

HOSAMO, H. H. *et al.* Digital twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 281, 112732, fev. 2023a. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822009033>. Acesso em: 19 jul. 2023.

HOSAMO, H. H. *et al.* Improving building occupant comfort through a digital twin approach: A Bayesian network model and predictive maintenance method. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 288, 112992, jun. 2023b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778823002220>. Acesso em: 19 jul. 2023.

INTERNATIONAL FACILITY MANAGEMENT ASSOCIATION (IFMA). **What is facility management?** Houston, c2023. Disponível em: <https://www.ifma.org/about/what-is-fm/>. Acesso em: 19 jul. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 41011:2017. International Standard Facility Management–Vocabulary**. Geneva: ISO, 2017.

INTERNET das coisas em favor da segurança. **Petrobras**. Rio de Janeiro, 8 fev. 2024. Disponível em: [https://nossaenergia.petrobras.com.br/w/inovacao/internet-das-coisas-em-favor-da-seguranca?p\\_l\\_back\\_url=%2Fresultado-da-busca%3Fq%3Ddigital%2520twins%26delta%3D4%26start%3D1](https://nossaenergia.petrobras.com.br/w/inovacao/internet-das-coisas-em-favor-da-seguranca?p_l_back_url=%2Fresultado-da-busca%3Fq%3Ddigital%2520twins%26delta%3D4%26start%3D1). Acesso em: 21 fev. 2024.

KHAJAVI, S. H. *et al.* Digital twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings. **IEEE Access**, [s. l.], v. 7, p. 147406-147419, 2019.

KIM, J.; SCHIAVON, S.; BRAGER, G. Personal comfort models: A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control. **Building and Environment**, [s. l.], v. 132, p. 114-124, mar. 2018.

KRITZINGER, W. *et al.* Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 51, n. 11, p. 1016-1022, 2018.

LEE, A. *et al.* **nD modelling road map**: A vision for nD-Enabled construction. Salford: University of Salford, 2005.

LEE, J. *et al.* Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. **Manufacturing Letters**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 38-41, 2013.

LU, Q. *et al.* Developing a digital twin at building and city levels: Case study of west Cambridge campus. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 05020004, maio 2020a. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/337008077\\_Developing\\_a\\_dynamic\\_digital\\_twin\\_at\\_building\\_and\\_city\\_levels\\_A\\_case\\_study\\_of\\_the\\_West\\_Cambridge\\_campus](https://www.researchgate.net/publication/337008077_Developing_a_dynamic_digital_twin_at_building_and_city_levels_A_case_study_of_the_West_Cambridge_campus). Acesso em: 19 jul. 2023.

LU, Q. *et al.* Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 118, 103277, out. 2020b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520303654>. Acesso em: 19 jul. 2023.

LU, Q. *et al.* Moving from building information models to digital twins for operation and maintenance. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction**, [s. l.], v. 174, n. 2, p. 46-56, 1 jun. 2021.

LUO, W. *et al.* Digital twin modeling method for CNC machine tool. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING, SENSING AND CONTROL (ICNSC), 15., Zhuhai, 2018, p. 1-4. **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2018.

LUZ, M. S. B. **O arquiteto que calculava**: operações extemporâneas de Paulo Mendes da Rocha. 2022. 157 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

MACHADO, R. Exposição marca os 25 anos de existência do Centro Administrativo Fernando Ferrari. **Governo do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 30 mar. 2012. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/exposicao-marca-os-25-anos-de-existencia-do-centro-administrativo-fernando-ferrari>. Acesso em: 20 fev. 2024.

MANNINO, A.; DEJACO, M. C.; CECCONI, F. R. Building information modelling and internet of things integration for facility management: Literature review and future needs. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 7, 3062, 30 mar. 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/350487244\\_Building\\_Information\\_Modelling\\_and\\_Internet\\_of\\_Things\\_Integration\\_for\\_Facility\\_Management-Literature\\_Review\\_and\\_Future\\_Needs](https://www.researchgate.net/publication/350487244_Building_Information_Modelling_and_Internet_of_Things_Integration_for_Facility_Management-Literature_Review_and_Future_Needs). Acesso em: 19 jul. 2023.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2022. *E-book*.

MARTINS, P. N. *et al.* Digital twin para a gestão inteligente de edifícios: o caso do Smart Office do Built Colab. *In*: CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING

INFORMATION MODELLING, 4., 2022, Braga. **PTBIM**. Braga: Universidade do Minho, 2022. p. 494-505. vol. 1.

MESCHINI, S. *et al.* Toward cognitive digital twins using a BIM-GIS asset management system for a diffused university. **Frontiers in Built Environment**, [s. l.], v. 8, 959475, 1 dez. 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/365942275\\_Toward\\_cognitive\\_digital\\_twins\\_using\\_a\\_BIM-GIS\\_asset\\_management\\_system\\_for\\_a\\_diffused\\_university](https://www.researchgate.net/publication/365942275_Toward_cognitive_digital_twins_using_a_BIM-GIS_asset_management_system_for_a_diffused_university). Acesso em: 19 jul. 2023.

MIHAI, S. *et al.* Digital twins: A survey on enabling technologies, challenges, trends and future prospects. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 2255-2291, 2022.

MILMAN, G. Sem plano de prevenção contra incêndio, Centro Administrativo pode ser interditado a partir de 2024, diz Corpo de Bombeiros. *In*: GZH. Porto Alegre, 5 dez. 2023. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2023/12/sem-plano-de-prevencao-contra-incendio-centro-administrativo-pode-ser-interditado-a-partir-de-2024-diz-corpo-de-bombeiros-clpsk2j95001p012td0phe1uk.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

MOHER, D. *et al.* Principais itens para relatar revisões sistemáticas e metanálises: a recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 335-342, jun. 2015.

MORENO, J. V. *et al.* Dynamic data feeding into BIM for facility management: A prototype application to a university building. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 5, 645, 12 maio 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/5/645>. Acesso em: 19 jul. 2023.

MORETTI, N. *et al.* An openBIM approach to IoT integration with incomplete as-built data. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 22, 8287, jan. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/22/8287>. Acesso em: 19 jul. 2023.

MORETTI, N. *et al.* GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 130, 103859, out. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580521003101>. Acesso em: 19 jul. 2023.

MUSEU NACIONAL VIVE. **Vídeo detalha o escaneamento 3D do Palácio de São Cristóvão**. Rio de Janeiro: Museu Nacional Vive, 20 dez. 2021. Disponível em: <https://museunacionalvive.org.br/video-revela-detalhes-sobre-escaneamento-a-laser-do-paco/>. Acesso em: 19 fev. 2024.

OPOKU, D.-G. J. *et al.* Barriers to the adoption of digital twin in the construction industry: A literature review. **Informatics**, Basel, v. 10, n. 1, 14, 28 jan. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9709/10/1/14>. Acesso em: 19 jul. 2023.

OPOKU, D.-G. J. *et al.* Digital twin application in the construction industry: A literature review. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 40, 102726, ago. 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221005842>. Acesso em: 19 jul. 2023.

OPOKU, D.-G. J. *et al.* Drivers for digital twin adoption in the construction industry: A systematic literature review. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 2, 113, 24 jan. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/2/113>. Acesso em: 19 jul. 2023.

PAGE, M. J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 31, n. 2, e2022107, jul. 2022. Disponível em: [http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1679-49742022000201700&lng=pt&nrm=iso](http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742022000201700&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 19 jul. 2023.

PAIXÃO, K. Escaneamento em 3D do CAFF tem início em Porto Alegre. *In: CENTRO ADMINISTRATIVO FERNANDO FERRARI (CAFF)*. Porto Alegre, [maio 2023?]. Disponível em: <https://caff.rs.gov.br/escaneamento-em-3d-do-caff-tem-inicio-em-porto-alegre/>. Acesso em: 23 fev. 2024.

PAIXÃO, K. Laboratório de estudos de tecnologias BIM (LaBIM) é inaugurado no CAFF. *In: CENTRO ADMINISTRATIVO FERNANDO FERRARI (CAFF)*. Porto Alegre, 5 de jul. 2023. Disponível em: <https://caff.rs.gov.br/laboratorio-de-estudos-de-tecnologias-bim-labim-e-inaugurado-no-caff/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

PENG, Y. *et al.* Digital twin hospital buildings: An exemplary case study through continuous lifecycle integration. **Advances in Civil Engineering**, [s. l.], v. 2020, p. 1-13, 19 nov. 2020.

PERFORM Systematic Literature Reviews. [S. l.], c2021. Disponível em: <https://parsif.al/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

PERRIER, N. *et al.* Construction 4.0: A survey of research trends. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 25, p. 416-437, 8 set. 2020.

PRATI, A. Porto Alegre – Procergs – Centro Administrativo – DAER – IPE – 1972. *In: PRATI.com.br*. Porto Alegre, 26 maio 2016. Disponível em: <https://prati.com.br/porto-alegre/porto-alegre-procergs-centro-administrativo-daer-ipe-1972.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RADZI, A. R. *et al.* Relationship between digital twin and building information modeling: A systematic review and future directions. **Construction Innovation**, Bingley, 26 jan. 2023. No prelo. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/CI-07-2022-0183/full/html>. Acesso em: 19 jul. 2023.

RASHEED, A.; SAN, O.; KVAMSDAL, T. Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 21980-22012, 2020.



RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 56.311, de 12 de janeiro de 2022.** Institui a Estratégia Estadual de Fomento e Implantação do Building Information Modeling - BIM. Porto Alegre: Assembleia Legislativa, 2022a. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/rs/decreto-n-56311-2022-rio-grande-do-sul-institui-a-estrategia-estadual-de-fomento-e-implantacao-do-building-information-modeling-bim>. Acesso em: 19 jul. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG). **Edital de licitação nº 0071/2022.** Termo de referência para contratação dos serviços de levantamento por nuvem de pontos e modelagem BIM do Centro Administrativo Fernando Ferrari – CAFF. Porto Alegre, SPGG, jul. 2022b. Disponível em: [https://www.compras.rs.gov.br/editais/0071\\_2022/295403](https://www.compras.rs.gov.br/editais/0071_2022/295403). Acesso em: 28 jul. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Secretária de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG). **Portaria SPGG nº 280/2023.** Porto Alegre: SPGG, 13 nov. 2023. Disponível em: <https://www.diariooficial.rs.gov.br/materia?id=923110>. Acesso em: 23 fev. 2024.

ROSEN, R. *et al.* About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. **IFAC-PapersOnLine**, Amsterdam, v. 48, n. 3, p. 567-572, 2015.

RUSCHEL, R. C.; FERREIRA, S. L. Rede de células BIM ANTAC. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM, 4, 2022, Porto Alegre. **Anais eletrônicos** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/1952>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SACKS, R. *et al.* **Manual de BIM:** um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2021. *E-book*.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. D. P B. **Metodologia de pesquisa.** 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013. *E-book*.

SCHÖNFELDER, P. *et al.* Automating the retrospective generation of As-is BIM models using machine learning. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 152, 104937, ago. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580523001978>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO. Estrutura administrativa. Porto Alegre, [2024?]. Disponível em: <https://planejamento.rs.gov.br/estrutura-administrativa>. Acesso em: 20 fev. 2024.

SEGHEZZI, E. *et al.* Towards an occupancy-oriented digital twin for facility management: Test campaign and sensors assessment. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 7, 3108, 31 mar. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/7/3108>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SHAFTO, M. *et al.* NASA technology roadmap: Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. **Technology Area 11 – National Aeronautics and Space Administration**, Washington, DC, 2010.

SHISHEHGARKHANEH, M. B. *et al.* Internet of things (IoT), building information modeling (BIM), and digital twin (DT) in construction industry: A review, bibliometric, and network analysis. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 10, 1503, 22 set. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/10/1503>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SICCARDI, S.; VILLA, V. Trends in adopting BIM, IoT and DT for facility management: A scientometric analysis and keyword co-occurrence network review. **Buildings**, Basel, v. 13, n. 1, 15, 21 dez. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/15>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SIMON, G. Após ser interditado, sindicalistas impedem ingresso no Centro Administrativo do RS. *In*: PORTOIMAGEM. Porto Alegre, 10 jul. 2013. Disponível em: <https://portoimagem.wordpress.com/2013/07/10/apos-ser-interditado-sindicalistas-impedem-ingresso-no-centro-administrativo-do-rs/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

SPHERE. Pilot series. [S. l.], [2023?]. Disponível em: <https://sphere-project.eu/pilots/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

SOMMERVILLE, I. *Engenharia de software*. 10 ed. [S. l.]: Addison Wesley, 2010.

SOUZA, M. A. R. *et al.* O uso do *software* IRAMUTEQ na análise de dados em pesquisas qualitativas. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, São Paulo, v. 52, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/reeusp/a/pPCgsCCgX7t7mZWfp6QfCcC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 fev. 2024.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 357-375, 1 maio 2009.

TAGLIABUE, L. C. *et al.* Leveraging digital twin for sustainability assessment of an educational building. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 2, 480, 6 jan. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/480>. Acesso em: 19 jul. 2023.

TAN, Y. *et al.* Digital twin-driven approach to improving energy efficiency of indoor lighting based on computer vision and dynamic BIM. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 270, 112271, set. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877882200442X>. Acesso em: 19 jul. 2023.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (TJRS). Departamento de Infraestrutura – DINFRA. Porto Alegre, [2024?]. Disponível em: <https://www.tjrs.jus.br/novo/institucional/direcoes/dilog-direcao-de-logistica/departamento-de-infraestrutura-dinfra/>. Acesso em: 19 fev. 2024.

TUEGEL, E. The airframe digital twin: Some challenges to realization. *In*: AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC STRUCTURES, STRUCTURAL DYNAMICS AND MATERIALS CONFERENCE, 53., 2012, Honolulu. **Anais [...]**. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-1812>. Acesso em: 17 fev. 2024.

TUHAISE, V. V.; TAH, J. H. M.; ABANDA, F. H. Technologies for digital twin applications in construction. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 152, 104931, ago. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580523001917>. Acesso em: 19 jul. 2023.

VILLA, V. *et al.* IoT open-source architecture for the maintenance of building facilities. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 12, 5374, 9 jun. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/12/5374>. Acesso em: 19 jul. 2023.

WANG, T. *et al.* Digital twin-enabled built environment sensing and monitoring through semantic enrichment of BIM with SensorML. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 144, 104625, dez. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522004952>. Acesso em: 19 jul. 2023.

WELCOME to the preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) website! [S. l.], c2021. Disponível em: <https://prisma-statement.org/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

WILDENAUER, A. *et al.* Building-as-a-service: Theoretical foundations and conceptual framework. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 10, 1594, 2 out. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/10/1594>. Acesso em: 19 jul. 2023.

XIE, X. *et al.* Visualised inspection system for monitoring environmental anomalies during daily operation and maintenance. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 27, n. 8, p. 1835-1852, 8 jul. 2020.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. *E-book*.

ZABALLOS, A. *et al.* A smart campus' digital twin for sustainable comfort monitoring. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 21, 9196, 5 nov. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9196>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ZHAO, J. *et al.* Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 49, 104028, maio 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710222000419>. Acesso em: 19 jul. 2023.

## APÊNDICE A – RELATÓRIO COMPLETO RSL (ESTUDOS PRÉVIOS)

(Continua)

Autor/ano	Artigo	Contribuições	Tópicos
Boje <i>et al.</i> (2020)	<i>Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research</i>	Análise das aplicações do BIM (níveis BIM) durante a fase de construção; destaque para limites e requisitos necessários para geração dos GD, com a proposta de três níveis de evolução	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Paradigma físico-dados-virtual</li> <li>● Geração GD três níveis</li> <li>● Tabela de habilidades GD</li> </ul>
Rasheed, San e Kvamsda (2020)	<i>Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective</i>	Revisão de metodologias e técnicas relacionadas à construção de GD, identificando o papel que os <i>stakeholders</i> devem assumir para explorar o seu potencial: 1) gêmeo virtual: criação de representação virtual de ativo físico ou dispositivos na nuvem; 2) gêmeo preditivo: modelos baseados em física, dados ou híbridos, operando o gêmeo virtual para prever o comportamento do ativo físico; 3) projeção gêmea: integração de percepções geradas pelo gêmeo preditivo nas operações e processos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Relatório sobre o papel dos GD e esquema de partes interessadas e possíveis contribuições</li> </ul>
Altohami <i>et al.</i> (2021)	<i>Investigating approaches of integrating BIM, IoT, and facility management for renovating existing buildings: A review</i>	Integração BIM-IoT; monitoramento de edificações inteligentes e estrutura BIM com integração de sensores para melhorar o desempenho do edifício para a perspectiva dos ocupantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Integração BIM, IoT e requisitos dos ocupantes</li> </ul>
Delgado e Oyedele (2021)	<i>Digital twins for the built environment: Learning from conceptual and process models in manufacturing</i>	Comparam e explicita as principais diferenças entre BIM e GD; propõe tais tecnologias como complementares para AECO	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelos conceituais processo GD para ambiente construído</li> </ul>
Deng, Menassa e Kamat (2021)	<i>From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry</i>	A base da integração BIM e IoT levou a utilização de GD para a construção; contribuições sobre integração BIM-IoT para ambientes internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento do ambiente interno</li> <li>● Gestão do espaço</li> <li>● Estudo de caso West Cambridge Campus</li> </ul>
Mannino, Dejaco e Cecconi (2021)	<i>Building information modelling and internet of things integration for facility management-literature review and future needs</i>	Competência central de FM, que se concentra na proteção do meio ambiente e das pessoas que usam a instalação, minimizando riscos e responsabilidades e impactando positivamente todas as partes interessadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BIM</li> <li>● IoT</li> <li>● FM</li> <li>● WSN</li> </ul>

(Continuação)

Autor/ano	Artigo	Contribuições	Tópicos
Opoku <i>et al.</i> (2021)	<i>Digital twin application in the construction industry: A literature review</i>	Na fase de operação e manutenção, a tecnologia de GD é aplicada no gerenciamento de instalações, gerenciamento de manutenção, monitoramento, processos logísticos e simulação energética do projeto; apresentam a oportunidade de lidar proativamente com os desafios antes que eles ocorram	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Quadro de tecnologias relacionadas a dados</li> <li>● Modelagem de alta fidelidade</li> <li>● Simulação baseada em modelos</li> </ul>
Shishehgarkh aneh <i>et al.</i> (2022)	<i>Internet of things (IoT), building information modeling (BIM), and digital twin (DT) in construction industry: A review, bibliometric, and network analysis</i>	O desenvolvimento de estruturas de GD geralmente envolve a integração da IoT, BIM e modelos de elementos finitos; essas estruturas fornecem atualizações praticamente em RT para melhorar o gerenciamento da construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BIM</li> <li>● IoT</li> <li>● Ontologia</li> <li>● Web semântica</li> </ul>
Bortolini <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twins' applications for building energy efficiency: A review</i>	Revisão das aplicações de GD para eficiência energética na construção, tópicos, otimização do projeto, conforto dos ocupantes, operação e manutenção, simulação, consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conforto dos ocupantes</li> </ul>
Casini (2022)	<i>Extended reality for smart building operation and maintenance: A review</i>	Revisão das tecnologias e aplicações de VR, AR e MR para operação e manutenção de edifícios inteligentes; define realidades estendidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tecnologia realidade estendida</li> </ul>
D'Amico <i>et al.</i> (2022)	<i>Cognitive digital twin: An approach to improve the maintenance management</i>	Classificação dos formatos e protocolos de comunicação	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Protocolos de troca de dados</li> <li>● Base de dados</li> <li>● Ferramentas empregadas para virtualização</li> </ul>
El-Din <i>et al.</i> (2022)	<i>Digital twins for construction assets using BIM standard specifications</i>	Uma estrutura para o desenvolvimento de GD para ativos de construção usando o padrão BIM ISO 19650, consiste em quatro partes: 1) PIM; 2) AIM; 3) Monitoramento CDE, IoT/WSN; 4) uso dos dados coletados	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Padrões de gerenciamento de informações BIM existentes ISO 19650</li> </ul>
Opoku <i>et al.</i> (2022)	<i>Drivers for digital twin adoption in the construction industry: A systematic literature review</i>	50 agentes para adoção de GD na construção e categorias de adoção; orientados à produção, ao conceito, à preservação e ao sucesso operacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Categorias de adoção do GD</li> <li>● Orientado à preservação e ao sucesso operacional</li> </ul>

(Continuação)

Autor/ano	Artigo	Contribuições	Tópicos
Siccardi e Villa (2022)	<i>Trends in adopting BIM, IoT and DT for facility management: A scientometric analysis and keyword co-occurrence network review</i>	Transformação digital no setor da construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceitos FM, BIM, IoT e GD</li> </ul>
Arowoia, Moehler e Fang (2023)	<i>Digital twin technology for thermal comfort and energy efficiency in buildings: A state-of-the-art and future directions</i>	Revisão de GD para conforto térmico e consumo de energia para edifícios existentes; previsão do consumo de energia usando algoritmos como ANN, IA e YOLOv4; adoção de GD para facilitar as sensações térmicas e interação com ocupantes; aprimoramento de soluções centradas no ser humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IA</li> <li>• ANN</li> <li>• (YOLOv4)</li> </ul>
Attaran e Celik (2023)	<i>Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities</i>	Revisão de GD em diferentes setores e como agilizam a automação inteligente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Níveis de integração</li> <li>• Modelo digital, sombra digital e GD</li> <li>• Tecnologias de GD, IA, IoT, computação de nuvem e realidade estendida</li> </ul>
Opoku <i>et al.</i> (2023)	<i>Barriers to the adoption of digital twin in the construction industry: A literature review</i>	Identifica 30 barreiras para aplicação do GD e as incorpora em uma estrutura classificada para aprimorar o roteiro para a adoção de GD na construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barreiras relacionadas a indústria, tecnologia, empresa de construção e orientadas para as partes interessadas</li> </ul>
Radzi <i>et al.</i> (2023)	<i>Relationship between digital twin and building information modeling: A systematic review and future directions</i>	Tabela de diferença BIM e GD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BIM como subconjunto GD</li> </ul>
Schönfelder <i>et al.</i> (2023)	<i>Automating the retrospective generation of as-is BIM models using machine learning</i>	Geração de ML para geração de <i>as-is</i> e <i>as-built</i> BIM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algoritmos de aprendizado de máquina</li> <li>• Fonte de dados para modelagem da edificação existente, nuvem de pontos, desenhos, imagens e textos</li> </ul>

(Conclusão)

Autor/ano	Artigo	Contribuições	Tópicos
Tuhaise, Tah e Abanda (2023)	<i>Technologies for digital twin applications in construction</i>	Identifica as principais tecnologias para a criação de GD na construção; camada de aquisição de dados	<ul style="list-style-type: none"><li>● Camada de aquisição de dados</li><li>● Camada de transmissão de dados</li><li>● Camadas de modelagem digital</li></ul>

## APÊNDICE B – RELATÓRIO COMPLETO DAS PUBLICAÇÕES INCLUÍDAS

(Continua)

Autor/ano	Artigo	Contribuições	Tópicos
Kim, Schiavon e Brager (2018)	<i>Personal comfort models: A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control</i>	Métricas para coleta de dados baseada em modelos de conforto pessoal; aspectos climáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coleta de dados modelos de conforto pessoal</li> </ul>
Khajavi et al. (2019)	<i>Digital twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings</i>	Sensortags aplicados a fachada do edifício; sensores iBeacon station NRF 51822; gateway Raspberry Pi3B+; comunicação BLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensores</li> <li>● iBeacon</li> <li>● Gateway Raspberry</li> <li>● Comunicação BLE</li> </ul>
Arslan, Cruz e Ginhac (2019)	<i>Visualizing intrusions in dynamic building environments for worker safety</i>	Beacons BLE; IFC; Dynamo; BIM Revit	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BLE beacons</li> <li>● IFC</li> <li>● Dynamo</li> <li>● Revit</li> </ul>
Zaballos et al. (2020)	<i>A smart campus' digital twin for sustainable comfort monitoring</i>	Plataformas IoT; parâmetros de monitoramento ambiental e sensores associados; caso Smart Campus	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Plataformas IoT</li> <li>● Parâmetros de monitoramento ambiental</li> </ul>
Moretti et al. (2020)	<i>An openBIM approach to IoT integration with incomplete as-built data</i>	Sensores; sistema open BIM IFC; caso West Cambridge	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensores</li> <li>● Sistemas open BIM</li> <li>● IFC</li> </ul>
Seghezzi et al. (2021)	<i>Towards an occupancy-oriented digital twin for facility management: Test campaign and sensors assessment</i>	Teste de sensores para ocupação no ambiente construído interno; análise preliminar para planejamento de aplicação de sensores	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensores de monitoramento de ocupação do ambiente interno</li> </ul>
Moretti et al. (2021)	<i>GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making</i>	Uso de coordenadas GeoBIM para mapeamento interno e identificação das condições dos espaços internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coordenadas GeoBIM para mapeamento interno</li> <li>● Condicionantes dos espaços internos</li> </ul>
Garcia et al. (2022)	<i>Aplicação de gêmeos digitais na indústria da construção: estado da arte</i>	Dispositivos, conectividade, dados e processamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dispositivos</li> <li>● Conectividade</li> <li>● Processamento</li> </ul>
Martins et al. (2022)	<i>Digital twin para a gestão inteligente de edifícios: o caso do Smart Office do Built Colab</i>	Criação GD ambiente construído: 1) Scan to BIM; 2) sensorização; 3) integração dos dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Scan to BIM</li> <li>● Sensores</li> <li>● Integração de dados</li> </ul>



(Continuação)

Autor/ano	Artigo	Contribuições	Tópicos
Daniotti et al. (2022)	<i>The development of a BIM-based interoperable toolkit for efficient renovation in buildings: From BIM to digital twin</i>	BIM4EEB; Sphere plataforma GD	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BIM4EEB</li> <li>● Sphere plataforma GD</li> </ul>
Tan et al. (2022)	<i>Digital twin-driven approach to improving energy efficiency of indoor lighting based on computer vision and dynamic BIM</i>	Sensores de percepção de pedestres; algoritmo YOLOv4	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensores de percepção de pedestres</li> <li>● Algoritmo YOLOv4</li> </ul>
Wildenauer et al. (2022)	<i>Building-as-a-service: Theoretical foundations and conceptual framework</i>	Estrutura de aplicação conceitual GD; conceito BaaS – usuários se tornam destinatários dos serviços gerados pelo edifício	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conceito BaaS</li> </ul>
Zhao et al. (2022)	<i>Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes</i>	Estrutura de aplicação conceitual GD	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estrutura conceitual de GD para operação e manutenção</li> </ul>
Fialho et al. (2022)	<i>Development of a BIM and IoT-based smart lighting maintenance system prototype for universities' FM sector</i>	Manutenção reativa; equipe multidisciplinar para criação do protótipo; CAFM; API; Revit; Dynamo	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Manutenção reativa</li> <li>● CAFM</li> <li>● API</li> <li>● Revit</li> <li>● Dynamo</li> </ul>
Hosamo et al. (2022)	<i>Digital twin of HVAC system (HVACDT) for multiobjective optimization of energy consumption and thermal comfort based on BIM framework with ANN-MOGA</i>	ANN em um modelo Simulink e um algoritmo genético multiobjetivo (MOGA) são usados para melhorar o sistema HVAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ANN</li> <li>● Algoritmo MOGA</li> <li>● Manutenção de sistemas HVAC</li> </ul>
Agrawal et al. (2023)	<i>Digital twin: Where do humans fit in?</i>	Níveis de automação GD e interação humana	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Níveis de automação</li> <li>● Interação humana</li> </ul>
Hosamo et al. (2023a)	<i>Digital twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings</i>	Conforto dos ocupantes é avaliado por meio de um modelo probabilístico baseado em redes Bayesianas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conforto dos ocupantes</li> <li>● Redes Bayesianas</li> </ul>
Harode, Thabet e Dongre (2023)	<i>A tool-based system architecture for a digital twin: A case study in a healthcare facility</i>	Estudo de caso GD de uma sala de cirurgia, unidade de saúde, usando o Power BI Desktop e os serviços do Azure	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Power BI Desktop</li> <li>● Serviços Azure</li> </ul>

(Conclusão)

Autor/ano	Artigo	Contribuições	Tópicos
Hosamo <i>et al.</i> (2023b)	<i>Improving building occupant comfort through a digital twin approach: A Bayesian network model and predictive maintenance method</i>	Modelo de rede Bayesiana para avaliar os níveis de conforto dos ocupantes; propõe integração GD e BIM com dados de sensores em RT, <i>feedback</i> dos ocupantes e um modelo probabilístico de conforto dos ocupantes é usado para prever problemas de HVAC que influenciam no conforto	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conforto dos ocupantes</li> <li>● Redes bayesianas</li> <li>● Manutenção do sistema HVAC</li> </ul>

## APÊNDICE C – GRUPOS DE TECNOLOGIAS IDENTIFICADOS NAS PUBLICAÇÕES

(Continua)

(1) Aquisição de dados		(2) Transmissão de dados		(3) Modelagem digital	
Sensores BLE	Khajavi <i>et al.</i> (2019)	AWS plataforma	Zaballos <i>et al.</i> (2020)	Autodesk Revit	D'Amico <i>et al.</i> (2022) Fialho <i>et al.</i> (2022)
Câmeras	Garcia <i>et al.</i> (2022)	Microsoft Azure IoT Hub		Dynamo	Fialho <i>et al.</i> (2022)
Drones		IBM watson IoT plataforma		BIM4EEB	Daniotti <i>et al.</i> (2022)
Etiquetas		Google IoT plataforma			
Laser		Kaa IoT plataforma			
LiDAR	Martins <i>et al.</i> (2022)	ThingSpeak			
GPS	Moretti <i>et al.</i> (2021)	Carriots			
Históricos do ambiente (BMS)	Wildenauer <i>et al.</i> (2022)	Temboo			
Beacons	Arslan, Cruz e Ginhac (2019)	Thingier.io			
Tecnologias vestíveis	Attaran e Celik (2023)	Sentilo			
		ADSL	Garcia <i>et al.</i> (2022)		
		Fibra ótica			
		GPRS			
		3G/4G/5G			
		Wi-Fi			
		RFID			
		Bluetooth			
		ZigBee	Khajavi <i>et al.</i> (2019)		
		API	Fialho <i>et al.</i> (2022)		
		Protocolos de transferência de dados	D'Amico <i>et al.</i> (2022)		

(Conclusão)

<b>(4) Integração de dados/modelo</b>			
Cloud fog	Garcia <i>et al.</i> (2022)	Dasher 360, autodesk	Khajavi <i>et al.</i> (2019)
<i>Big data</i>	Garcia <i>et al.</i> (2022)	Ecodomus	Khajavi <i>et al.</i> (2019)
Microsoft Azure	Attaran e Celik (2023)	Plataforma SophyAI	Seghezzi <i>et al.</i> (2021)
Google cloud	Attaran e Celik (2023)	Aplicativo SmartLab	Fialho <i>et al.</i> (2022)
IA	Garcia <i>et al.</i> (2022)	Autodesk Tandem	
		Predix da General Electric	
		IA ou humanos	Agrawal <i>et al.</i> (2023)
		Sphere plataforma GD	Sphere ([2023?])
		Algoritmo YOLOv4	
		Algoritmo MOGA	Hosamo <i>et al.</i> (2022)
		ANN	Hosamo <i>et al.</i> (2022)
		Machine learning	Hosamo <i>et al.</i> (2022)

## APÊNDICE D – PROTOCOLO PARA ESTUDO DE CASO ÚNICO INTEGRADO (Yin, 2015)

### ETAPA A – VISÃO GERAL DO ESTUDO DE CASO

#### 1. Introdução e objeto de estudo

- a. Apresentação do estudo de caso: Centro Administrativo Fernando Ferrari (CAFF).
- b. Localização: Av. Borges de Medeiros, 1501 – Centro Histórico, Porto Alegre – RS, CEP: 90020-020.
- c. Cidade: Porto Alegre.
- d. Ocupantes: aproximadamente 4 mil servidores.
- e. Relevância do caso para a área de estudo: o objeto selecionado representa benefício para ser incorporado à pesquisa, pois estabelece, por meio do edital nº 0071/2022 (Rio Grande do Sul, 2022b), o projeto-piloto da Estratégia BIMGov-RS, que objetiva criar um modelo digital que represente com fidelidade o prédio CAFF, tornando-o GD.
- f. Finalidade do estudo de caso único: monitorar o processo de criação do modelo virtual do CAFF. A seleção de um setor permitirá coletar dados de uma amostra para investigação sobre os requisitos dos ocupantes e identificação das intervenções ao ambiente físico.
- g. Público-alvo: acadêmicos, profissionais e entidades que operam e executam nessa área de atuação.

#### 2. Contexto e delimitação

- a. Descrição do setor: SUAD, localizada no 1º andar do CAFF, ala Sul.
- b. Organização e indivíduos: setores disponíveis em planta no termo de referência (Rio Grande do Sul, 2022b); aferir quantidade de ocupantes do setor.
- h. Justificativa para a escolha: requer-se a delimitação em virtude do tempo destinado para o desenvolvimento da pesquisa; o setor selecionado será entregue modelado pela empresa contratante de acordo com escopo definido em edital (Rio Grande do Sul, 2022b).

#### 3. Procedimentos éticos

- a. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice F).
- b. Termo de Concordância da Instituição (Apêndice G).

## **ETAPA B – PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS**

### **Unidade 1 – Análise de documentos**

- a. Descrição da análise de documentos como fonte de dados.
- b. Identificação dos documentos a serem analisados.
- c. Método de coleta e análise dos dados.
- d. Participantes envolvidos.
- e. Cronograma das atividades.
- f. Recursos necessários.

### **Unidade 2 – Observação**

- a. Descrição da observação direta como fonte de dados.
- b. Procedimentos para condução da observação.
- c. Aspectos a serem observados.
- d. Participantes envolvidos.
- e. Cronograma das atividades.
- f. Recursos necessários.

### **Unidade 3 – Questionário**

- a. Descrição do questionário como fonte de dados.
- b. Elaboração do questionário.
- c. Seleção da amostra e procedimentos de aplicação.
- d. Participantes envolvidos.
- e. Cronograma das atividades.
- f. Recursos necessários.

## **ETAPA C – QUESTÕES DE COLETA DE DADOS**

### **Unidade 1 – Análise de documentos**

- Levantamento de histórico de reformas e manutenções.
- Levantamento de sensores disponíveis na edificação.

### **Unidade 2 – Observação**

- Identificação de potencialidades e dificuldades na etapa de modelagem digital.
- Ferramentas utilizadas para processamento de dados.
- Ferramentas utilizadas para interoperabilidade.

### **Unidade 3 – Questionário**

- Identificação de questões de conforto dos ocupantes (conforme levantamento bibliográfico).
- Fatores ambientais e não ambientais.
- Outros fatores.

## **ETAPA D – GUIA PARA O RELATÓRIO DO ESTUDO DE CASO**

O relatório do estudo de caso será em formato de dissertação de mestrado da pesquisadora.

**APÊNDICE E – ORÇAMENTO DA PESQUISA**

<b>Itens</b>	<b>Descrição das atividades</b>	<b>Valores</b>
<b>Equipamentos</b>		
Computador	Será utilizado computador pessoal da pesquisadora	R\$ -
<b>Licenças</b>		
Visualizador Autodesk <i>on-line</i>	Licença educacional válida até julho de 2024	R\$ -
<b>Deslocamentos</b>		
Diárias de deslocamento	15 diárias no valor de R\$30,00/dia	R\$ 450,00
<b>Observações</b>		
Todos os valores serão financiados com os recursos pessoais da pesquisadora; não estão previstos ressarcimentos aos participantes, uma vez que não há custos associados à participação.		

## APÊNDICE F – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO

### TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO

Esta pesquisa tem como objetivo compreender como o processo de criação de Gêmeo Digital (GD) pode contribuir para o ordenamento das atividades internas de operação e manutenção em ambientes construídos. Para atender este objetivo, adota-se a uma abordagem que se baseia na tríade de elementos que constituem um GD, a saber: o componente físico, os dados e a representação virtual. Estes elementos são delineados na pesquisa da seguinte maneira:

O componente físico é representado integralmente pela edificação existente escolhida como estudo de caso, que é o Centro Administrativo Fernando Ferrari (CAFF). Para fins de eficiência na condução da pesquisa em tempo hábil, seleciona-se por conveniência a Subsecretaria Administrativa (SUAD) como amostra representativa do conjunto.

O componente virtual é retratado pelo modelo digital da edificação, o qual é resultado do processo de levantamento cadastral digital contratado pela instituição, conforme especificado no edital nº 0071/2022. Consequentemente, o modelo digital do setor SUAD foi escolhido como amostra para análise.

Ao componente dados são atribuídas duas perspectivas: a primeira busca identificar os requisitos que norteiam as operações e manutenções do setor selecionado SUAD, enquanto a segunda procura estabelecer se existe relação entre impactos positivos ou negativos, dos fatores que influenciam o conforto e as necessidades dos ocupantes com os requisitos de operação e manutenção.

Nesse contexto, com o propósito de viabilizar a realização da pesquisa nesta instituição, solicita-se a autorização da Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul (SPGG). Devido às características deste estudo, que envolve múltiplas unidades de análise distribuídas em diferentes setores da instituição, descreve-se os procedimentos que serão adotados para cada setor:

1. Observação: Neste procedimento (unidade de análise 1), a pesquisadora tem como objetivo acompanhar, coletar e analisar os dados resultantes da etapa de modelagem do CAFF, conforme especificado no edital nº 0071/2022, que estabelece o levantamento cadastral digital da edificação. A etapa de modelagem é conduzida no Laboratório de Estudos de Tecnologias BIM do Estado do Rio Grande do Sul (LaBIM-RS), uma iniciativa do projeto BIMGov-RS.
2. Análise documental: Este procedimento (unidade de análise 2) tem como objetivo identificar os requisitos de operação e manutenção que estão relacionados ao setor selecionado, a Subsecretaria Administrativa (SUAD). Para isso, a pesquisadora analisará documentos que incluem registros de histórico de reformas, relatórios de manutenção e intervenções, bem como a avaliação de possíveis sensores disponíveis no local. Essas informações são de responsabilidade do Departamento de Gestão de Serviços do Complexo Administrativo do Estado (DCGAE).
3. Questionário: Este procedimento (unidade de análise 3) visa identificar se o impacto, seja este positivo ou negativo, de fatores que influenciam o conforto e as necessidades dos ocupantes no setor selecionado, a Subsecretaria



Administrativa (SUAD), está relacionado com os requisitos de operação e manutenção obtidos por meio da análise documental. A pesquisadora aplicará questionário on-line para avaliar o impacto dos fatores que influenciam as necessidades dos ocupantes do setor. As perguntas formuladas serão avaliadas em questionário piloto aplicado aos gestores do setor, caso necessário serão ajustadas de acordo com as indicações. Aproximadamente 140 ocupantes serão convidados a responder esse questionário, e um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) será utilizado para obter autorização dos participantes.

Os participantes do estudo serão claramente informados de que sua contribuição é voluntária e pode ser interrompida em qualquer tempo sem nenhum prejuízo. A qualquer momento, tanto os participantes quanto os responsáveis pela instituição poderão solicitar informações sobre os procedimentos ou outros assuntos relacionados a este estudo. Este projeto foi aprovado pela Comissão de Pesquisa da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (COMPESQ\_ARQ UFRGS). Todos os cuidados serão tomados para garantir o sigilo e a confidencialidade das informações, preservando a identidade dos participantes, bem como da instituição envolvida. Os procedimentos utilizados nesta pesquisa obedecem aos critérios de ética na pesquisa com seres humanos conforme Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

Nenhum dos procedimentos realizados oferece riscos à dignidade dos participantes. Destaca-se que este trabalho visa à identificação de etapas do processo de criação de um gêmeo digital, não sendo necessária a identificação dos participantes do setor selecionado para pesquisa.

Estão previstas as seguintes medidas por parte da pesquisadora:

Não haverá custos de participação à instituição.

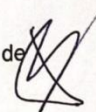
Reitera-se que todos os cuidados serão tomados para garantir o sigilo e a confidencialidade das informações, preservando a identidade dos participantes, dos diretores, gestores, funcionários, ocupantes e demais participantes. Assegura-se o sigilo dos dados de acordo com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais Lei nº 13.709/2018.

As informações servirão exclusivamente para fins de pesquisa com publicação em relatório e artigos relacionados à pesquisa, sendo armazenadas por cinco anos e, posteriormente, destruídas.

Todo o material desta pesquisa ficará sob responsabilidade da pesquisadora coordenadora do estudo, e será realizada a devolução dos resultados em forma de relatório para a instituição ao final da pesquisa.

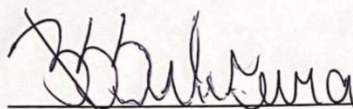
Por intermédio deste trabalho, espera-se contribuir com a compreensão das etapas necessárias para criação de um gêmeo digital de edificação existente, relacionando as atividades de operação e manutenção às necessidades dos ocupantes desta edificação.

Agradecemos a colaboração da instituição para a realização desta atividade de pesquisa e colocamo-nos à disposição para esclarecimentos adicionais.



Esta pesquisa é responsabilidade de Natália Cristina Diehl é e coordenada pela pesquisadora Dra. Léia Miotto Bruscato, professora permanente do Programa de Pós-graduação em Design da UFRGS. A equipe poderá ser contatada pelo telefone (51) 99623-9703. Mais informações podem ser obtidas com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS pelo telefone (51) 3308-3738.

Porto Alegre, 10 de outubro de 2023.

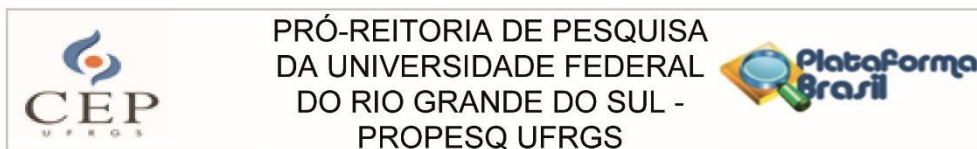


Bruno Silveira **BRUNO SILVEIRA**  
Secretário Adjunto de Planejamento,  
Governança e Gestão

Secretário da Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG)

Autoriza a realização da pesquisa nesta Instituição.

## APÊNDICE G – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Estudo de caso do processo criação de Gêmeo Digital aplicado ao Centro Administrativo Fernando Ferrari.

**Pesquisador:** Léia Miotto Bruscato

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 74867623.5.0000.5347

**Instituição Proponente:** Faculdade de Arquitetura UFRGS

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 6.541.552

#### Apresentação do Projeto:

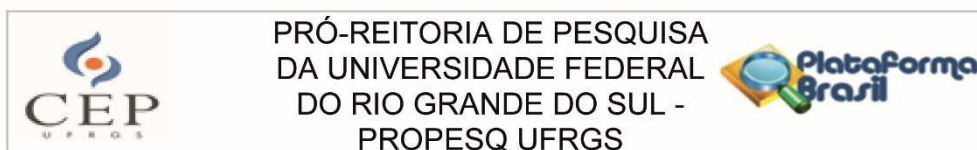
As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e "Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram retiradas do documento PB\_INFORMAÇÕES\_BÁSICAS\_DO\_PROJETO\_2199445.pdf pdf datado em 15/11/2023 e do projeto de pesquisa arquivo V2\_DIEHL\_N\_C\_Gemeos\_Digitais.docx.

#### Introdução:

O projeto coordenado pelo Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Léia Miotto Bruscato, contempla a pesquisa de mestrado da aluna Natalia Cristina Diehl, sobre "a necessidade de tornar as cidades mais sustentáveis", que "direciona a atenção para dois elementos fundamentais na composição urbana: as edificações e os usuários que as ocupam". Segundo as pesquisadoras "nesse contexto, destaca-se a complexa tarefa de transformar edificações existentes em sistemas inteligentes. Para enfrentar os desafios dessa transformação, o conceito de gêmeos digitais emerge de outras indústrias como uma possível solução para integração de áreas e tecnologias díspares. Este trabalho visa compreender como o processo de criação de gêmeos digitais pode guiar operações e manutenções internas do ambiente construído, utilizando as necessidades dos ocupantes como aferidor dos requisitos do processo. Observa-se que, para a geminação do ambiente construído, são necessários três elementos que, juntos, representam o paradigma físico-dados-virtual. Para cada um deles, são

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br





PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS

Continuação do Parecer: 6.541.552

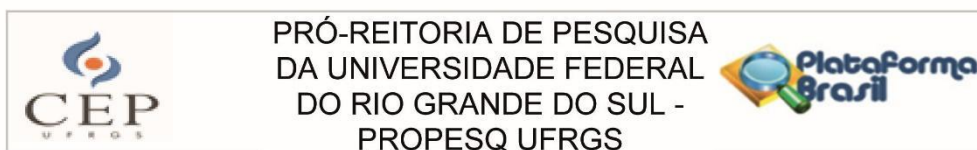
atribuídas tecnologias pertencentes a diferentes áreas de conhecimento, como arquitetura, ciências da computação, design e engenharias. Para que a integração entre elas seja possível, o conceito de gêmeos digitais (GD) emergiu da indústria e do design de produto.”

As pesquisadoras apontam que “o surgimento de tecnologias como modelagem de informações de construção (BIM, do inglês building information modeling), inteligência artificial (IA), computação em nuvem, internet das coisas (IoT, do inglês internet of things) e realidade estendida possibilitaram avanços relacionados ao ambiente construído, com destaque para aplicações em fases de operação e manutenção, o que resultou em melhorias tanto no desempenho das edificações como na relação dos usuários com os espaços.” “Para que ocorra a associação entre físico e digital, utilizam-se tecnologias diferentes, levando em consideração formatos de manejo de dados. Identificam-se três níveis de integração diferenciados: modelo digital, sombra digital e GD. Desse modo, para que seja possível a implementação de um GD, destaca-se componentes básicos, como: a existência de um objeto físico, o modelo virtual e a conexão de ambos via dados. Tais componentes estabelecem, o paradigma físico-dados-virtual, no qual, para cada um dos fatores, existem subpartes consideradas habilidades e características dispostas a facilitar funções que transcorrem durante todo ciclo de vida de um ativo físico, intercambiando tecnologias e ferramentas utilizadas em cada estágio. O conceito de GD está associado diretamente à tecnologia BIM, que permite que modelos virtuais de uma edificação sejam construídos de forma digital, fornecendo uma base de dados e informações detalhadas sobre o edifício, possibilitando a criação de um modelo digital preciso com informações geométricas, funcionais e comportamentais.

**Metodologia:**

O procedimento metodológico adotado para a pesquisa consiste em um estudo de caso único, envolvendo múltiplas unidades de análise, a coleta de dados será executada por meio das técnicas de análise documental, observação e questionário. O objeto da investigação compreende o processo de levantamento cadastral digital de um ativo físico pertencente ao Governo do Estado do Rio Grande do Sul – o Centro Administrativo Fernando Ferrari. As motivações para esta pesquisa fundamentam-se no modelo de inovação e desenvolvimento sustentável, tríplice hélice, que fomenta a interação entre academia, indústria e governo. Os métodos de pesquisa adotados foram levantamento bibliográfico e estudo de caso único integrado. Dessa forma, a fim de alcançar a compreensão da pergunta problema que orienta este estudo, como o conceito de GD pode guiar operações e manutenções internas do ambiente construído, amparando-se nas necessidades dos ocupantes, apresenta-se o desenho da pesquisa.

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 6.541.552

Adota-se uma abordagem que se baseia na tríade de elementos que constituem um GD, a saber o componente físico, os dados e a representação virtual. Estes elementos são delineados na pesquisa da seguinte maneira: o componente físico é representado integralmente pela edificação existente escolhida como estudo de caso, que é o centro administrativo Fernando Ferrari (CAFF) Para fins de eficiência na condução da pesquisa em tempo hábil, seleciona-se por conveniência a subsecretaria administrativa (SUAD) como amostra representativa do conjunto. O componente virtual é retratado pelo modelo digital da edificação, o qual é resultado do processo de levantamento cadastral digital contratado pela instituição, conforme especificado no edital N° 0071/2022. O modelo digital do setor SUAD foi escolhido como amostra para análise. Ao componente dado são atribuídas duas perspectivas: a primeira busca identificar os requisitos que norteiam as operações e manutenções do setor selecionado, enquanto a segunda procura estabelecer se existe relação entre impactos positivos ou negativos, dos fatores que influenciam o conforto e as necessidades dos ocupantes com os requisitos de operação e manutenção.

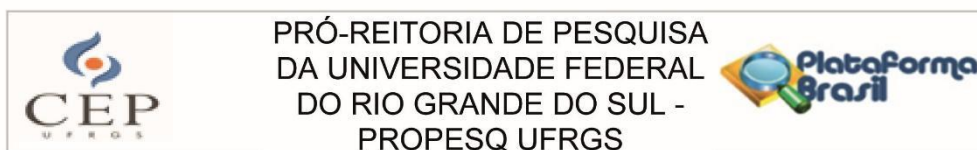
Os procedimentos de coleta de dados do estudo de caso estão distribuídos em diferentes unidades e análise, da seguinte maneira:

1. OBSERVAÇÃO: neste procedimento (UNIDADE DE ANÁLISE 1), a pesquisadora tem como objetivo acompanhar, coletar e analisar os dados resultantes da etapa de modelagem do CAFF, conforme especificado no edital N° 0071/2022, que estabelece o levantamento cadastral digital da edificação
2. ANÁLISE DOCUMENTAL: este procedimento (UNIDADE DE ANÁLISE 2) tem como objetivo identificar os requisitos de operação e manutenção que estão relacionados ao setor selecionado, a SUAD. Para isso, a pesquisadora analisará documentos que incluem registros de histórico de reformas, relatórios de manutenção e intervenções, bem como a avaliação de possíveis sensores disponíveis no local.
3. QUESTIONÁRIO: este procedimento (UNIDADE DE ANÁLISE 3) visa identificar se o impacto, seja este positivo ou negativo, de fatores que influenciam o conforto e as necessidades dos ocupantes no setor selecionado, a SUAD, está relacionado com os requisitos de operação e manutenção obtidos por meio da análise documental. A pesquisadora aplicará o questionário online para avaliar o impacto dos fatores que influenciam as necessidades dos ocupantes do setor.

Amostra: 151 participantes divididos em:

Grupo 1: 1 participante que realizará Análise documental Responsável pela gestão dos chamados da manutenção e DIEP, que disponibilizará os documentos a serem analisados

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br)



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS

Continuação do Parecer: 6.541.552

Grupo 2: 10 participantes que farão Observação direta Equipe multidisciplinar composta por arquitetos e engenheiros vinculados a diferentes secretarias, como Planejamento, Governança e Gestão (SPGG), Educação (SEDUC), Obras Públicas (SOP), Sistemas Penal.

Grupo 3: 140 participantes que responderão ao Questionário No setor estão dispostos 139 ocupantes, entre servidores e diretores.

**Cronograma:**

Questionário: de 20/12/2023 à 20/01/2024

Análise documental: de 20/12/2023 à 20/01/2024

Observação: de 20/12/2023 à 20/01/2024

Relatório Final: de 15/01/2024 à 15/02/2024

**Orçamento:**

Deslocamentos - 15 diárias no valor de R\$30,00/dia Capital R\$ 450,00

Total em R\$ R\$ 450,00. Financiamento próprio.

**Objetivo da Pesquisa:**

**Objetivo Primário:**

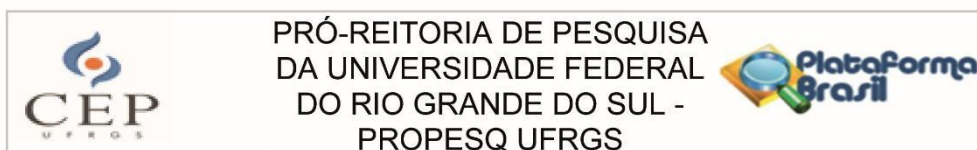
Compreender como o processo de criação de um gêmeo digital (GD), por meio dos seus três componentes físico-dados-virtual, potencializa o ordenamento das atividades de operação e manutenção internas em edificações existentes.

**Objetivos Secundários:**

- I. Identificar, na literatura, processos, tecnologias e áreas que compõem a criação de um GD para ambiente construído.
- II. Detectar as etapas e condicionantes do processo de criação de um GD, desde a definição do elemento físico, seu respectivo virtual e o manejo dos dados e informações entre eles.
- III. Identificar requisitos técnicos e funcionais relacionados com as necessidades dos ocupantes e o histórico de operações e manutenções internas realizadas no ambiente construído, que sejam condicionantes para criação de um GD.
- IV. Comparar a estrutura teórica de criação de GD com as etapas atendidas na criação de um GD em contexto real e local.
- V. Definir diretrizes para a criação e uso GD do ambiente construído, em etapas de operação e

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br





Continuação do Parecer: 6.541.552

manutenção internas.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

**Riscos:**

A presente pesquisa apresenta riscos mínimos em relação a possibilidade de danos à dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual do ser humano, segundo o Conselho Nacional de Saúde (2012). Especificamente neste estudo são considerados os riscos: quebra de sigilo, cansaço e/ou desconforto em responder ao questionário. Considera-se que tais riscos serão minimizados uma vez que durante a realização dos procedimentos, os participantes poderão interromper o preenchimento do questionário, voltando a respondê-lo quando sentirem-se confortáveis. Além disso, serão garantidos o anonimato e o sigilo das informações, além da utilização dos resultados exclusivamente para fins científicos.

**Benefícios:**

Serão indiretos. A presente pesquisa oferece como benefício a possibilidade de gerar conhecimentos referentes a criação de Gêmeos Digitais para ambiente construído, especificamente em etapas de reformas e manutenções de edificações, isso não afeta o bem-estar dos participantes de pesquisa, grupos ou coletividade. O projeto de pesquisa apresenta tema relevante relacionado à sustentabilidade das edificações.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Os pesquisadores apresentam seu projeto de forma clara, com referencial teórico relevante e estrutura metodológica que indica a exequibilidade do estudo.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

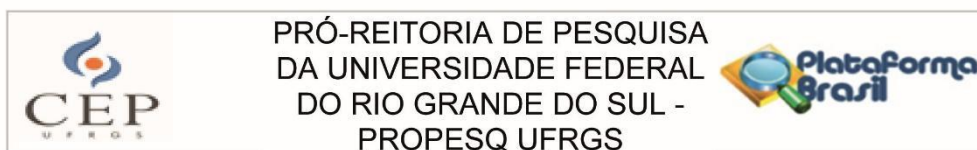
Entre os documentos apresentados todos estão em adequados.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Trata-se de uma resposta ao parecer consubstanciado CEP n.º 6.499.119, datado em 09/11/2023:

- 1) Solicita-se corrigir cronograma considerando a aprovação do CEP para a segunda versão da submissão. Prever tempo suficiente para a completa tramitação ética previamente ao início da coleta de dados.

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS

Continuação do Parecer: 6.541.552

RESPOSTA: O Cronograma apresentado na Plataforma Brasil e também em anexo ao projeto foi corrigido levando em consideração o período de análise do CEP. Previsão de início da coleta de dados para 20 de dezembro de 2023.

ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

2) De acordo com a Norma Operacional CNS n.º 001, de 2013, item 3.3.e, todos os protocolos de pesquisa devem conter, obrigatoriamente, orçamento que detalhe os recursos, as fontes e a destinação, bem como apresentar previsão de ressarcimento de despesas do participante e de seus acompanhantes, quando necessário. Sendo assim, solicita-se que seja apresentado orçamento financeiro detalhado, que especifique TODOS os recursos, as fontes e a destinação. Solicita-se descrever itens de orçamento.

RESPOSTA: Anexado ao projeto planilha contendo orçamento da pesquisa (Apêndice E) e adicionado ao Formulário da Plataforma Brasil.

ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

3) Esclarecer melhor os procedimentos de coleta de dados no item Metodologia do Formulário da Plataforma Brasil.

RESPOSTA: Adicionado no Formulário da Plataforma Brasil.

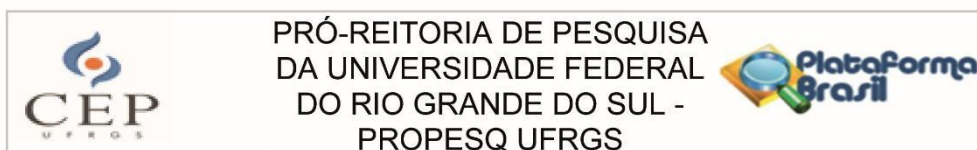
ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

4) Esclarecer como os participantes serão convidados ou o link como o questionário será divulgado. Vale lembrar que o convite para participar da pesquisa não deve ser feito com a utilização de listas que permitam a identificação dos convidados nem a visualização dos seus dados de contato (e-mail, telefone etc.) por terceiros. Assim, solicitam-se esclarecimentos acerca da forma de envio do convite e, se necessário, adequação (Carta Circular n.º 1/2021-CONEP/SECNS/MS, item 2.1).

• Qualquer convite individual, enviado por e-mail, só poderá ter um único remetente e destinatário, ou ser enviado na forma de lista oculta. Assim, solicitam-se esclarecimentos acerca

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br





Continuação do Parecer: 6.541.552

do convite pessoal e, caso necessário, adequação (Carta Circular n.º 1/2021-CONEP/SECNS/MS, item 2.1.1).

RESPOSTA: A aplicação do questionário será realizada via Google Forms. O questionário será enviado por email via link à Divisão de Recursos Humanos, para que seja enviado através do sistema interno da Instituição diretamente ao e-mail dos servidores das divisões e departamentos pertencentes à SUAD. Após o envio, a divisão de recursos humanos informará a pesquisadora a quantidade de participantes alcançados, para que assim, ao final da pesquisa possa ser aferido o número de participantes convidados e o número de respostas obtidas. Garante-se desta forma o anonimato dos participantes, visto que através do link do questionário não serão coletados e-mails nem quaisquer informações pessoais dos participantes. CONFORME corrigido no projeto Quadro 23 – Elaboração do questionário.

ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

5) Quando os Registros de Consentimento Livre e Esclarecido/TCLE forem documentais, devem ser apresentados, preferencialmente, na mesma formatação utilizada para visualização dos participantes da pesquisa. Solicita-se adequação (Carta Circular n.º 1/2021-CONEP/SECNS/MS, item 1.3), que o TCLE seja apresentado no formato digital através do link que o participante terá acesso.

RESPOSTA: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) conforme aprovação pelo Sistema CEP/CONEP, é apresentado na primeira página do questionário, informando ao participante todas explicações sobre os riscos e benefícios associados a pesquisa. CONFORME corrigido no projeto Quadro 23 – Elaboração do questionário.

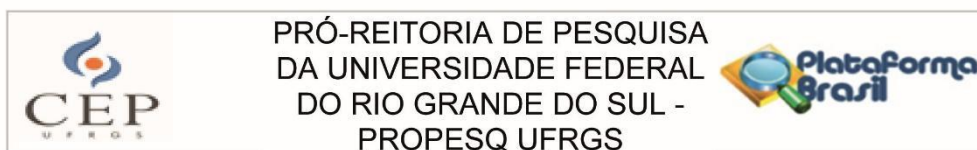
LINK formulário: <https://forms.gle/EE8U45i2JYovCY9SA>

ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

6) No TCLE, para informar ao participante sobre o CEP sugere-se a inserção do parágrafo abaixo:

"O projeto foi avaliado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (CEP-UFRGS), órgão colegiado de caráter consultivo, deliberativo e educativo, cuja finalidade é avaliar – emitir parecer e acompanhar os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos em seus aspectos éticos e

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br)



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS

Continuação do Parecer: 6.541.552

metodológicos, realizados no âmbito da instituição. Você pode entrar em contato com o CEP-UFRGS no endereço Av. Paulo Gama, 110, sala 311, prédio Anexo I da Reitoria Campus Centro, Porto Alegre/RS, CEP: 90040-060; fone +55 51 3308 3787; e-mail: [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br). Horário de funcionamento de segunda a sexta-feira das 08:00 às 12:00 e das 13:30 às 17:30."

RESPOSTA: Inserido no TCLE e corrigido no projeto Quadro 23 – Elaboração do questionário.  
ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

Todas as pendências foram atendidas, não sendo observados óbices éticos nos documentos do estudo.

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS n.º 510, de 2016, na Resolução CNS n.º 466, de 2012, e na Norma Operacional n.º 001, de 2013, do CNS, manifesta-se por aprovar o projeto de pesquisa.

Reitera-se aos pesquisadores a necessidade de elaborar e apresentar os relatórios parciais e final da pesquisa, como preconiza a Resolução CNS/MS nº 466/2012, Capítulo XI, Item XI.2: "d".

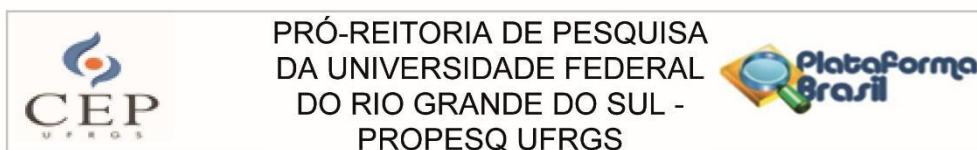
**Considerações Finais a critério do CEP:**

Aprovado.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2199445.pdf	15/11/2023 20:00:00		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	V2_DIEHL_N_C_Gemeos_Digitais.docx	15/11/2023 19:54:40	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito
Orçamento	V2_ORCAMENTO.pdf	15/11/2023 19:49:07	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de	V2_TCLE_PROTOCOLO_QUESTIONARIO.pdf	15/11/2023 19:49:00	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br)



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS

Continuação do Parecer: 6.541.552

Ausência	V2_TCLE_PROTOCOLO_QUESTIONARIO.pdf	15/11/2023 19:49:00	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito
Cronograma	V2_CRONOGRAMA.pdf	15/11/2023 19:44:29	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito
Outros	PB_PARECER_CONSUBSTANCIADO_CEP_6499119.pdf	15/11/2023 19:38:29	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito
Outros	V2_Carta_Resposta_gemeos_digitais.pdf	15/11/2023 19:37:16	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_assinada.pdf	10/10/2023 22:18:23	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito
Declaração de concordância	TERMO_DE_AUTORIZACAO_DA_INSTITUICAO_ASSINADO.pdf	10/10/2023 22:15:53	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito
Outros	parecer_consubstanciado_leia_bruscato.pdf	08/09/2023 18:25:48	NATALIA CRISTINA DIEHL	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

PORTO ALEGRE, 29 de Novembro de 2023

Assinado por:  
Patrícia Daniela Melchioris Angst  
(Coordenador(a))

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3787 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br

## APÊNDICE H – RELATÓRIO DA COLETA DOCUMENTAL

### Identificação dos participantes

**Participante:** 1 Servidor (nome não será divulgado)

**Cargo:** Responsável pela gestão dos chamados da manutenção e DIEP

**Data:** última atualização em dezembro de 2023

### Cronograma de encontros

Encontros	Data	Formato
Reunião 1	19/10/2023	<i>On-line</i> (Google Meet)
Reunião 2	25/10/2023	Presencial
Reunião 3	27/10/2023	Contato via <i>e-mail</i>
Reunião 4	05/12/2023	Contato via <i>e-mail</i>

### Reunião 1 – 19/01/2023

Serão coletados os relatórios de manutenção disponíveis no DCGAE, bem como planilhas, imagens e plantas.

- **Tipos de intervenções solicitadas nos últimos 5 anos para reformas e manutenções internas SUAD:** total de 2.093 registros, disponibilizados via planilha gerada pelo sistema. Banco de dados – manutenção predial na SUAD – a versão atual disponibiliza informações a partir de março de 2021 e abrange as atividades de manutenção (climatização, por questão contratual, é categorizada à parte) e limpeza predial. Período do registro obtido: 24/03/2021 (11h21) a 5/12/2023 (15h24).
- **Recorrência das alterações solicitadas (semanal, mensal, anual):** período obtido de 34 meses, com chamados classificados com dia e hora de abertura.
- **Sistemas automatizados e softwares utilizados para monitoramento das manutenções:** os dados solicitados foram extraídos do SIS, presente na intranet da SPGG e desenvolvido a partir de um *software* livre (GLPI) criado para atender a chamados de informática e que foi adaptado pelos servidores para atender ao setor de manutenção, priorizando a dinâmica de abertura e atendimento de ordens de serviço.

Por ter sido desenvolvida internamente a partir de um *software* livre criado para outro fim, a ferramenta gera informações superficiais sobre as ocorrências

que demandam atuação de manutenção predial. Prioritariamente, têm-se: data de abertura do chamado, prioridade do atendimento, localização, *status* atual do chamado (pendente ou fechado) e categoria principal da atividade demandada. A ferramenta tem evoluído em alguns aspectos, como a descrição das atividades relacionadas à ordem de serviço, mas sem gerar novos dados, pois a informação encontra-se apenas no texto de abertura do chamado.

- **Equipamentos IoT disponíveis no setor (câmeras, ar-condicionado, etc.):** o CAFF conta, atualmente, com 143 câmeras de monitoramento interno, cujas imagens ficam registradas no sistema durante 27 dias. Seu uso é intermitente, conforme ocorrências que necessitem do acompanhamento e da atuação da equipe de segurança, que usam as imagens disponíveis.

Está em fase de desenvolvimento um projeto para a contratação de um sistema de CFTV que prevê segurança para o CAFF e prédios anexos (ESEDI, Manutenção e SEDUC), consistindo na integração do CFTV e de sistema de controle de acesso e sinalização digital interna para os prédios. A contratação está na fase de elaboração do termo de referência.

A nova solução, além de renovar os equipamentos do CFTV, dotá-los de inteligência para análise de vídeo e garantir o monitoramento 24/7, integrará o controle de acesso com catracas liberadas prioritariamente por biometria facial. A nova instalação permitirá o controle total do fluxo de pessoas nos prédios atendidos e facilitará o pronto atendimento em caso de incidentes.

Atualmente, os ar-condicionados não têm qualquer integração com sistemas inteligentes desenvolvidos para auxiliar em monitoramento ou eficiência dos aparelhos.

### **Reunião 2 – 25/10/2023**

- Imagens do SIS (interface do sistema e sistema interno do CAFF).
- Descrição dos detalhamentos de serviço por categoria (p. ex., categoria elétrica, quais serviços disponíveis para abertura de chamados).
- *Print* dos formulários.

### **Reunião 3 – 27/10/2023**

- Envio dos documentos solicitados anteriormente.

## Reunião 4 – 05/12/2023

- Envio dos documentos solicitados anteriormente.

### Observações gerais

- Periodicidade de ordens em aberto, não resolvidas e não baixadas?
- A planilha gerada não apresenta a especificação do serviço, só aparece o campo de chamado principal (se é elétrica, hidráulica, etc.).
- Dificuldade em atribuir a localização exata ao lugar.
- O *software* não permite excluir os chamados adicionados.
- Fechado e solucionado (significa a mesma coisa).
- Qualquer pessoa pode abrir um chamado de manutenção.
- A equipe técnica que atualiza manualmente o *status* de fechamento; em alguns caso não atualiza quando finalizado.
- Os contratados têm dificuldade de abastecer o sistema.
- O sistema não é automatizado.
- Edital futuro, contratação de engenheiros com conhecimento sobre *facilites*.

## APÊNDICE I – RELATÓRIO DE OBSERVAÇÃO E HISTÓRICO DE VISITAS

### Identificação dos participantes

**Participantes:** equipe projeto-piloto

**Cargo:** contatos responsáveis do LaBIM/RS

**Coordenador de equipe de estudos de tecnologias BIM:** Fernando Buzati Fert – fernando-fert@sop.rs.gov.br

**Gerente de equipe de estudos de tecnologias BIM:** Mirelly Dantas Mendes – mirelly-mendes@spgg.rs.gov.br

**Gerente do projeto BIMGov-RS:** Deborah Martins Goldenberg – deborah-goldenberg@spgg.rs.gov.br

**Data:** última atualização em dezembro de 2023

### Cronograma de encontros

Encontros		Data	Formato
Triagem	Reunião 1 – visita ao LaBIM/RS	19/05/2023	Presencial
	Reunião 2 – visita ao LaBIM/RS com orientadora	23/05/2023	Presencial
	Reunião 3 – reunião <i>on-line</i> com gerente	01/06/2023	<i>On-line</i>
Observação direta	Imersão inicial 1 – consultoria contratada	07/06/2023	Presencial
	Imersão inicial 2 – consultoria contratada	14/06/2023	Presencial
	Imersão inicial 3 – consultoria contratada	21/06/2023	Presencial
	Imersão inicial 4 – consultoria contratada	28/06/2023	Presencial
	Imersão inicial 5 – inauguração LaBIM/RS	05/07/2023	Presencial
	Imersão inicial 6 – consultoria contratada	28/07/2023	Presencial
	Imersão inicial 7 – reunião para apresentação do SUAD	29/08/2023	Presencial
	Imersão inicial 8 – apresentação do andamento pesquisa	06/09/2023	Presencial
	Imersão inicial 9 – assinatura do secretário do Estado	10/10/2023	Presencial
	Imersão inicial 10 – equipes modelando	11/10/2023	Presencial
	Imersão inicial 11 – equipes modelando	25/10/2023	Presencial
	Visita ao LaBIM/RS 1 – equipes modelando	13/12/2023	Presencial
	Visita ao LaBIM/RS 2 – equipes modelando	20/12/2023	Presencial

### Reuniões etapa de triagem

**19/05/2022 – Visita ao LaBIM/RS**

Reunião com Mirelly e Fernando.

- Apresentar célula BIM
- Investigar sobre LaBIM/RS e possível estudo de caso.

### **23/05/2023 – Visita ao LaBIM/RS**

Reunião com Débora, Mirelly, Léia e Angélica.

- Projeto-piloto GD CAFF (em fase de levantamento de nuvem de pontos).
- Modelagem CAFF com projeto BIM (contratado/RS), acompanhar. Edital nº 0071/2022 (Rio Grande do Sul, 2022b).
- Diretrizes para GD CAFF (Pesquisa Natália).

Rede Célula pode atuar:

- Identificar as necessidades do BIMGov-RS, processos, obras, atuações, ações municipais e estaduais.
- Identificar possibilidades de integração de pesquisas da Faculdade de Arquitetura da UFRGS com as necessidades específicas do BIMGov-RS.
- Criação de *templates*?
- Capacitação BIM teórico?
- Explorar os padrões de interoperabilidade?
- Integração de disciplinas práticas e teóricas?

### **01/06/2023 – Reunião *on-line* com gerente do LaBIM/RS**

Apresentação célula (Angélica, Dirceu, Victor, Morgana, Letícia).

- Levantamento de projetos-piloto em andamento.
- Levantamento das necessidades do LaBIM/RS.
- Como a célula poderia contribuir a partir do programa de extensão?
- Como a célula poderia contribuir com as pesquisas dos envolvidos?

### **Fase Imersão Inicial**

#### **07/06/2023 – LaBIM/RS**

O LaBIM/RS visa auxiliar as secretarias nos seus projetos específicos, ambiente de pesquisa. O primeiro objetivo traçado é a construção do GD CAFF.



Fase 1			
<b>Etapa 1</b>	Levantamento de nuvem de pontos Processamento dos dados	Externo/interno	
<b>Etapa 2</b>	Divisão das equipes de modelagem	Gerente Coordenador Líder de modelagem Modeladores	
<b>Etapa 3</b>	Equipes por disciplinas	Estrutural	
		Instalações	PPCI Elétrica Hidro Lógica Climatização Segurança
		Arquitetura	Edificação Interiores
		Famílias	Mobiliário
<b>Etapa 4</b>	Requisitos de informação para extração de quantitativos (RIE)	ARQ – arquitetura MOB – mobiliário EST – estruturas ELE – elétrica HID - hidrossanitário CLI – climatização PPCI – plano de prevenção contra incêndio LOG – lógica	
<b>Etapa 5</b>	Modelagem manual		

- Anterior à Fase 1, maturidade dos profissionais requeridos, solicitar documento.
- Recrutamento da equipe por meio de formulário de conhecimentos específicos.
- Quais secretarias estão participando do grupo de trabalho?
- Qual projeto-piloto cada secretaria está desenvolvendo?
- Requisitos de informação serão apresentados em padrão de dados, IFC, COBie, ISO?

#### **Questões para coleta de dados (GD CAFF – 2ª fase da pesquisa)**

- Quais demandas de manutenção e operação existem atualmente?
- O que será necessário para operar e manter o prédio?

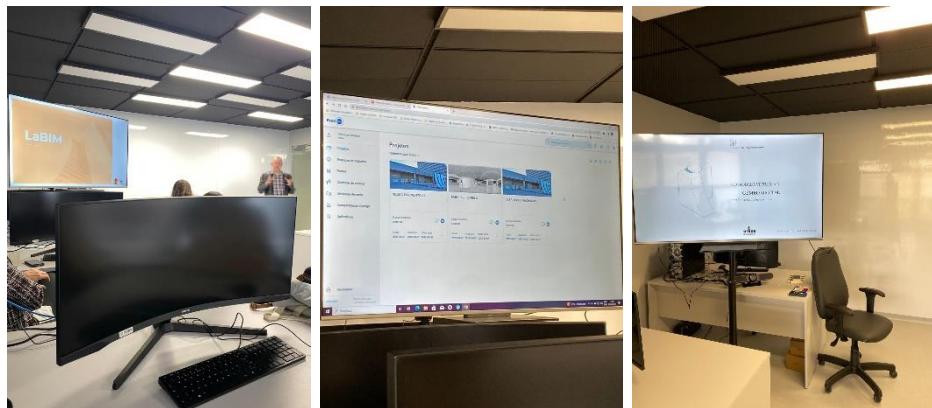
***Apresentar possibilidades GD de ordem teórica.***

***Investigar possibilidades com especialistas.***

- Quais demandas de renovação são necessárias em curto, médio e longo prazos?
- Grupo focal de especialistas para avaliar possibilidades de integração GD?
- Quais competências do prédio serão operadas pelo GD?
- Identificar quais são as necessidades, os dados e como, para cada necessidade, o dado será: coletado, processado, integrado digitalmente e utilizado.
- Como estes dados serão analisados?

Instalações	Arquitetura	Design	TI
Elétrica	Reformas	Comunicação visual	Análise de dados
Hidro	Leiautes	Sinalizações	
PPCI			
Lógica			
Climatização			

**Registros fotográficos**



**Observações:** Apresentação dos objetivos do LaBIM/RS, andamento do escaneamento e apresentação dos objetivos da pesquisadora para os integrantes do projeto-piloto.

14/06/2023 – LaBIM/RS

Aula 1 – Escaneamento 3D e processamento da nuvem de pontos.

## 1. Levantamento utilizando Laser Scanner

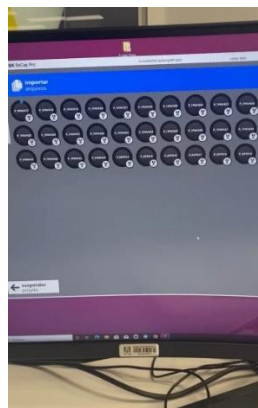
- Configurações do equipamento;
- Criação de novo Projeto;
- Definição da Resolução e Qualidade da nuvem de pontos;
- Distribuição das cenas no local a ser escaneado;

## 2. Processamento dos dados

- Salvar dados do cartão de memória;
- Importação e configuração dos dados no software de processamento (Autodesk [Recap](#));
- Registro das cenas;
- limpeza dos pontos não necessários;
- Exportação da nuvem de pontos para software de modelagem (Autodesk [Revit](#));

- Laser scanner – LIDAR.
- Marca FARO (utilizado).
- Laser scanner estático terrestre (aplicado a arquitetura e construção [AEC]).
- Fabricante Leica.
- Laser scanning navVis, escaneamento móvel.
- LIDAR – sistema de escaneamento.
- Análise de tempo do processamento.
- Comparação dos *softwares* de processamento.
- Cada equipamento atinge uma distância, o que influenciará a decisão para escolha do equipamento a ser utilizado para determinado espaço.

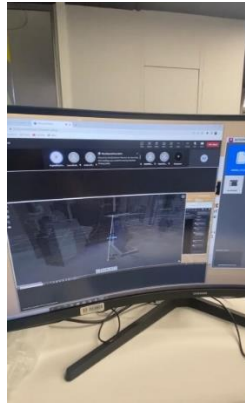
### Registro fotográfico



**Observações:** Processamento da nuvem de pontos com *software* Recap.

**21/06/2023 – LaBIM/RS**

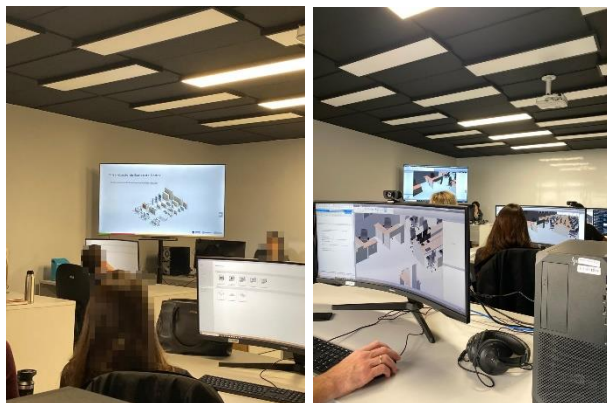
- Aula de revisão sobre processamento de nuvem de pontos.
- Navisworks.
- Enviar termo de anuência para Mirelly.
- Abrir arquivo .NWF no Navisworks.

**Registro fotográfico**

**Observações:** Revisão sobre processamento da nuvem de pontos.

**28/06/2023 – LaBIM/RS**

- Aula sobre modelagem para gestão do patrimônio.
- Navisworks.
- Criação de parâmetros (superficial), sem abordar questões de interoperabilidade IFC, ISO.

**Registros fotográficos**

**Observações:** Modelos de organização de dados para modelagem da informação.

**05/07/2023 – LaBIM/RS**

Inauguração do LaBIM RS (Paixão, 2023).

**Registro fotográfico**

**Observações:** Laboratório oficialmente aberto e em funcionamento.

### Especificação das máquinas utilizadas

#### Sobre

O computador está monitorado e protegido.

[Veja detalhes em Segurança do Windows](#)

#### Especificações do dispositivo

##### HP Z2 Tower G5 Workstation

Nome do dispositivo	SEPLAG001241779
Nome completo do dispositivo	SEPLAG001241779.SEPLAG.INTRA.RS.GOV.BR
Processador	Intel(R) Xeon(R) W-1290 CPU @ 3.20GHz 3.19 GHz
RAM instalada	64,0 GB (utilizável: 63,8 GB)
ID do dispositivo	9F590565-1DA1-4BDE-9072-F3CF09D0E747
ID do Produto	00391-50017-86065-AAOEM
Tipo de sistema	Sistema operacional de 64 bits, processador baseado em x64
Caneta e toque	Nenhuma entrada à caneta ou por toque disponível para este vídeo

Copiar

Renomear este computador

#### Especificações do Windows

Edição	Windows 10 Pro for Workstations
Versão	21H2
Instalado em	19/01/2023
Compilação do SO	19044.1503
Número de série	BRJ2320Z1T
Experiência	Windows Feature Experience Pack 120.2212.4170.0

**28/07/2023 - LaBIM/RS**

- Modelagem da nuvem de pontos.
- Aula de modelagem básica.
- Surpresa dos servidores que a modelagem não era automática (!).

- Ordem para modelagem indicada pela projeto BIM (ver vídeo de modelagem).
- Identificação de todos os componentes que precisam ser utilizados no processamento da nuvem; aula com modelo SEDUC.
- Modelou primeiro alguns padrões de família (famílias padrão que podem vir a ser editadas conforme a modelagem da nuvem) e, depois, laje e pilares.

Processo de modelagem inicial
Pilares
Pisos
Paredes
Vigas
Vagas estacionamento
Portas
Escadas
Janelas

- Processo de automação SCAN-TO-BIM, FARO.
- Processo de automação SCAN-TO-BIM, Flug.
- Iniciarão o uso do ConstrufLOW e Bimcollab.<sup>15</sup>
- Aula da ALTOQI *on-line*.

### 29/08/2023 – LaBIM/RS

#### Após a qualificação

- Reunião de apresentação da pesquisa para a diretora da SUAD.
- Servidor DIEP.
- Alinhamento sobre autorizações da instituição.

### 06/09/2023 – LaBIM/RS

Apresentação sobre o andamento da pesquisa GD.

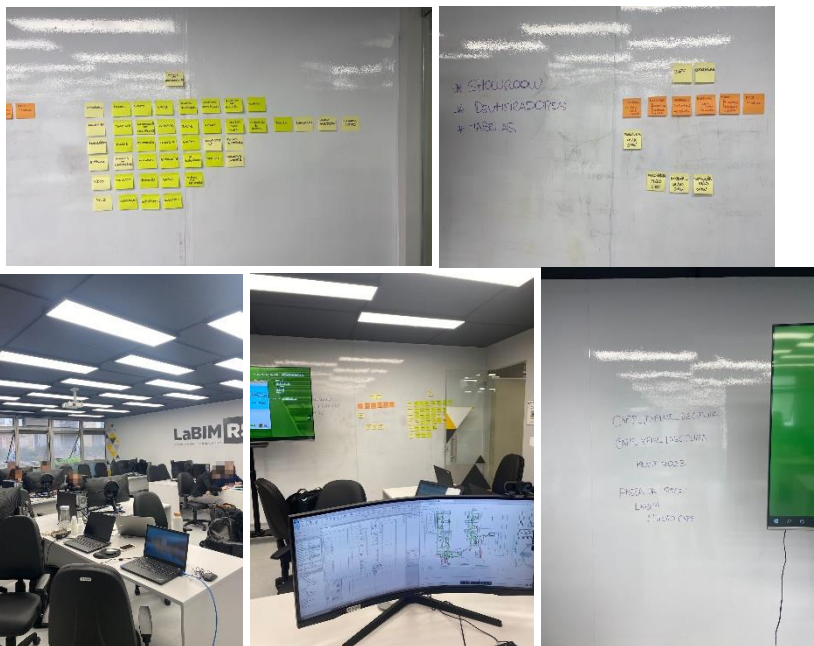
<sup>15</sup> Disponíveis em: <https://construfLOW.com.br/> e [https://www.bimcollab.com/pt/?gclid=CjwKCAjwqZSIBhBwEiwAfoZUIAdWet8AlvBs03mdjm5bARFZ0EvJPSPZSsJ3ipezG6sTylzrkxmp1BoCV\\_8QAvD\\_BwE](https://www.bimcollab.com/pt/?gclid=CjwKCAjwqZSIBhBwEiwAfoZUIAdWet8AlvBs03mdjm5bARFZ0EvJPSPZSsJ3ipezG6sTylzrkxmp1BoCV_8QAvD_BwE)

**Registro fotográfico**

**Observações:** Apresentação do andamento da pesquisa para equipe projeto-piloto.

**10/10/2023 – LaBIM/RS**

Coleta da assinatura do Secretário do Estado, Bruno Silveira. Projeto adicionado à Plataforma Brasil.

**11/10/2023 – LaBIM/RS****Registros fotográficos**

**Observações:** Equipes estão modelando de acordo com estrutura utilizando CDE Autodesk.

- Gerente – enviar acesso ao CDE Autodesk (acessado).
- Enviar casca da nuvem CAFF (para impressão digital).
- Enviar planta arquitetura modelada pela empresa (entrega do edital).
- Projetos complementares do 1º andar estão sendo modelados em cima da modelagem entregue pela empresa contratada.
- Mobiliário e famílias de mobiliário foram modeladas pela empresa contratada? Pelos colaboradores?
- *Template* por disciplinas.
- *Showroom* (mobiliários).
- Tudo o que não aparece na nuvem está sendo modelado.
- Até onde vai o primeiro andar?
- Usam rede interna CAFF (a gerente coloca os arquivos para CDE Autodesk).

#### **25/10/2023 LaBIM/RS**

- Preenchimento do relatório Observação R00-DOC-25/10.
- Iniciou-se uma alteração da modelagem do 1º pavimento com alteração do leiaute do projeto R01.
- Relatórios (Mirelly) (observação com coleta de documentos).

#### **APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM 29/11/2023**

#### **13/12/2023 – LaBIM/RS**

#### **Observação direta da dinâmica de trabalho em andamento**

#### **Usuário 1 – Equipe modelagem estrutural (3 integrantes)**

- Trabalhando na modelagem do 7º andar, alinhando a nuvem de pontos com os demais andares já modelados (2º, 5º e 7º).
- O tipo de colaboração utilizada é por meio de módulos associados e comunicação pessoal. Não utilizam trabalho em colaboração ao mesmo tempo.
- A estrutura tem dificuldade para modelagem de alguns objetos e elementos, como escadas e detalhes de fachada.
- Para o levantamento de nuvem contratado, foi utilizado somente *laser* terrestre, então, quanto mais elevado o andar, mais imprecisa a nuvem vai ficando, e os limites da laje não são bem identificados.



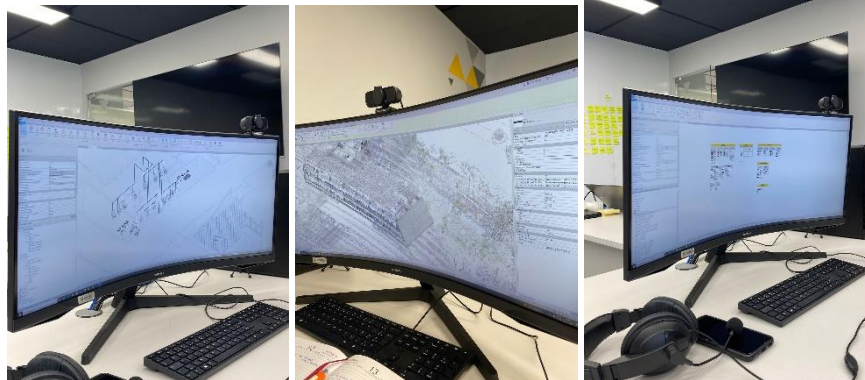
### Usuário 2 – Equipe hidrossanitário (3 integrantes)

- Trabalhando no *template* do hidrossanitário.
- Desenvolveram um *showroom* e *template* com os elementos a serem utilizados para projetos hidrossanitários; atualização do *template* e do *showroom* separadamente.
- Não utilizaram a nuvem de pontos para essa modelagem, apenas para consulta de imagens.
- Dificuldade em identificar o que está escondido dentro das paredes.
- Utilizaram as plantas em .pdf como base e, depois, a nuvem para conferir as posições de pontos hidrossanitários, vasos, ralos, etc.
- Onde não havia projetos de tubulações anteriores, olharam a nuvem e fizeram suposições de passagens de tubulações a partir das posições dos ralos.

### Usuário 3 – Equipe mobiliário *template*

- Trabalhando na arquitetura do 3º pavimento.
- Ajustando níveis da modelagem; portas e vãos.
- Arquitetura só adiciona as paredes e divisórias leves em cima dos arquivos da estrutura;
- A troca por um *software* mais complexo (Revit) impactou no tempo de aprendizagem; consideram o *software* archciad mais fluido para modelagem.
- Dificuldades de visualização na nuvem, o mobiliário na frente de elementos que precisam ser modelados; quando tem dúvidas, vai até o local para conferência.

#### Registros fotográficos



**Observações:** Equipes trabalhando nos andares separadamente.

20/12/2023 – LaBIM/RS

## Observação direta da dinâmica de trabalho em andamento

### Usuário 1 – Equipe arquitetura

- Trabalhando nas divisórias do 1º pavimento, pois já houve alteração desde a entrega da modelagem pela empresa contratada.
  1. Projeto CAD
  2. Escaneamento a *laser* (situação atual)
  3. Reforma (utilizou o projeto em CAD)
  4. Entrega do modelo da situação atual (desatualizado)
  5. Execução do *as built*
- Evoluíram o conhecimento sobre a ferramenta com o desenvolvimento do projeto-piloto.
- Após ajuste de *as built*, irão modelar o 5º andar da edificação após recebimento da modelagem estrutural.

### Usuário 2 – Equipe estrutura

- Elementos de fachada são difíceis de modelar.
- Trabalho onera muito tempo, pois a nuvem é pesada.

### Usuário 3 – Equipe PPCI

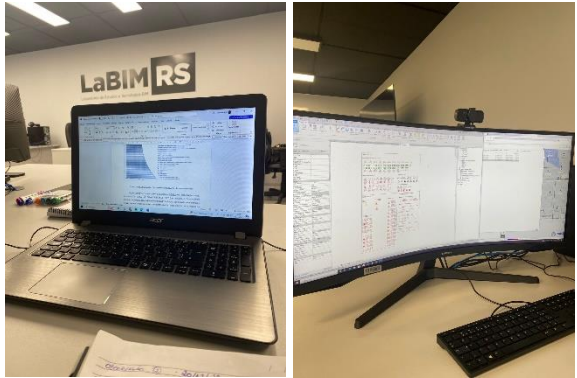
- Trabalhando no *template* do PPCI, que foi gerado a partir de um novo arquivo; a empresa contratada adicionou os extintores.
- O PPCI está sendo executado diferentemente do levantamento da nuvem de pontos, assim, será necessário executar *as built*, ou não seguirão a nuvem de pontos para desenvolvimento do projeto.

### Usuário 4 – Equipe arquitetura (mobiliários)

- Trabalhando em melhorias das famílias de mobiliários.
- Modelaram o mobiliário a partir do arquivo recebido pela empresa contratada.
- Utilizaram a planta baixa em CAD do marceneiro do CAFF.
- Envolve o conhecimento tácito do modelador que trabalha no espaço e conhece as variações de alturas.
- Utilizaram a nuvem de pontos para perceber o espaço em geral, mas muitas áreas ficaram sobrepostas ou escondidas. O que auxiliou foi conseguir fazer a

conferência no local, mas, em alguns casos e secretarias, esse tipo de função seria inviável.

**Registros fotográficos**



**Observações:** Última visita ao laboratório e equipes trabalhando nos andares separadamente.

**03/01/2024 – LaBIM/RS**

Divulgação sobre a pesquisa na SPGG.<sup>16</sup>

A screenshot of a news article on the website 'rs.gov.br'. The article is titled 'Modelo digital do Caff é tema de pesquisa de mestrado' and is dated 03/01/2024. The article text mentions that the project is led by SPGG and uses BIM methodology. Below the text is a photograph of a man sitting at a desk in a laboratory, with a 'LaBIMRS' sign on the wall behind him. The man is looking at a computer monitor displaying a 3D model of a building.

<sup>16</sup> Disponível em: <https://planejamento.rs.gov.br/modelo-digital-do-caff-e-tema-de-pesquisa-de-mestrado>. Acesso em: 28 fev.2024.

## APÊNDICE J – TCLE, ESTRUTURA E RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO

### Pesquisa sobre fatores que influenciam o conforto e as necessidades dos ocupantes da SUAD.

\* Indica uma pergunta obrigatória

**As informações sobre a pesquisa, assim como, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido estão disponíveis em formato vídeo.**

O texto abaixo descreve as mesmas informações contidas no vídeo.



<http://youtube.com/watch?v=JSn5jlg5Ck4>

#### **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

A pesquisa sobre fatores que influenciam o conforto e as necessidades dos ocupantes da SUAD faz parte de uma dissertação de mestrado, que tem acompanhado o projeto-piloto da Estratégia BIMGov-RS, o levantamento cadastral digital do CAFF, executado através do edital nº 0071/2022.

**O OBJETIVO** principal desta pesquisa é compreender como o processo de criação de Gêmeo Digital pode contribuir para o ordenamento das atividades internas de operação e manutenção em ambientes construídos. Para atender este objetivo, adota-se a uma abordagem que se baseia na tríade de elementos que constituem um GD, a saber: o componente físico, os dados e a representação virtual. Estes elementos são delineados na pesquisa da seguinte maneira:

**O componente físico** é representado integralmente pela edificação existente escolhida como estudo de caso, que é o Centro Administrativo Fernando Ferrari (CAFF). Para fins eficiência na condução da pesquisa em tempo hábil, selecionou-se por conveniência a Subsecretaria Administrativa (SUAD) como amostra representativa do conjunto.

**O componente virtual** é retratado pelo modelo digital da edificação, o qual é resultado do processo de levantamento cadastral digital contratado pela instituição, conforme especificado no edital nº 0071/2022. Consequentemente, o modelo digital do setor SUAD foi escolhido como amostra para análise.

**Os componentes dados** são atribuídas duas perspectivas: a primeira busca identificar os requisitos que norteiam as operações e manutenções do setor selecionado SUAD, enquanto a segunda procura estabelecer se existe relação entre impactos positivos ou negativos, dos fatores que influenciam o conforto e as necessidades dos ocupantes com os requisitos de operação e manutenção.

A seguir, esclarecemos e descrevemos as condições do estudo:

**1) PARTICIPANTES:** Estão sendo convidados a responder a pesquisa os servidores da Subsecretaria Administrativa do Estado do Rio Grande do Sul (SUAD). A sua participação é voluntária e não causará danos à dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual do ser humano, em qualquer fase da pesquisa e dela decorrente.

**2) ENVOLVIMENTO NA PESQUISA:** Caso você concorde em participar deste estudo, você responderá a um questionário on-line, via google forms. É previsto em torno de 10 minutos para o preenchimento e você tem a liberdade de se recusar a participar e tem a liberdade de desistir de participar em qualquer momento. Sempre que desejar mais informações sobre este estudo, entre em contato com a pesquisadora Natália Cristina Diehl pelo telefone (51) 99623-9703 ou email nataliadiehl.arq@gmail.com.

**3) SOBRE O QUESTIONÁRIO:** Serão solicitadas algumas informações básicas sobre sua percepção de conforto em relação ao ambiente de trabalho, considerando fatores ambientais (conforto visual, acústico, posição de mobiliário), fatores pessoais (comportamentais), e outros fatores (percepções de agradabilidade).

**4) RISCOS:** O possível risco ao participar da pesquisa é desvio de atenção em decorrência do tempo destinado para responder o questionário. Caso você sinta qualquer desconforto, poderá interromper a realização do questionário imediatamente sem nenhum tipo de prejuízo.

**5) BENEFÍCIOS:** Os benefícios ao participar desta pesquisa são indiretos, espera-se que futuramente os resultados deste estudo sejam usados em benefício de outras pessoas para melhoramentos de intervenções a edificações existentes considerando as necessidades dos ocupantes.

**6) CONFIDENCIALIDADE:** Todas as informações coletadas nesta investigação são estritamente confidenciais. Trataremos todas as informações sem que haja identificação de particularidades de cada respondente. O material obtido, questionário, será utilizado unicamente para essa pesquisa e será destruído ao término do estudo dentro de 5 anos.

**7) AVALIAÇÃO DO PROJETO:** O projeto foi avaliado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEP-UFRGS), órgão colegiado de caráter consultivo, deliberativo e educativo, cuja finalidade é avaliar – emitir parecer e acompanhar os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos em seus aspectos éticos e metodológicos, realizados no âmbito da instituição. Você pode entrar em contato com o CEP-UFRGS no endereço Av. Paulo Gama, 110, sala 311, prédio Anexo I da Reitoria Campus Centro, Porto Alegre/RS, CEP: 90040-060; fone +55 51 3308 3787; e-mail: [etica@propeq.ufrgs.br](mailto:etica@propeq.ufrgs.br). Horário de funcionamento de segunda a sexta-feira das 08:00 às 12:00 e das 13:30 às 17:30.

**8) PAGAMENTO:** Você não terá nenhum tipo de despesa por participar deste estudo, bem como não receberá nenhum tipo de pagamento por sua participação. Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para que participe desta pesquisa.

Desde já, agradecemos a atenção e a participação.

1. Eu li ou assisti o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e compreendi a natureza e o objetivo desta pesquisa, bem como a forma de participação. Recebi explicações sobre os riscos e benefícios associados. Estou ciente de que tenho a liberdade de interromper minha participação a qualquer momento sem necessidade de justificar, e sem qualquer prejuízo para mim. Portanto, concordo voluntariamente em participar deste estudo. \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

2. Para fins de identificação da heterogeneidade dos respondentes, caso se sinta à vontade, indique sua área de atuação profissional ou formação superior. Por exemplo: assistente administrativo, arquitetura, direito, etc.
-

### Necessidade dos ocupantes SUAD - CONFORTO AMBIENTAL

Considerando que diversos fatores (ambientais, pessoais, entre outros) têm impacto nas condições de conforto relacionadas ao espaço interno. Este questionário foi projetado para obter o feedback dos ocupantes do setor em relação a tais fatores.

Sendo assim, responda as questões a seguir relacionando como, na sua percepção pessoal os fatores citados influenciam as atividades que você desempenha dentro da edificação.

Relacionado ao **CONFORTO AMBIENTAL** responda as seguintes perguntas considerando que: **1 influencia negativamente (-)** e **5 influencia positivamente (+)**.

São considerados nestas questões fatores ambientais de conforto visual, acústico, térmico, atributos arquitetônicos do edifício, mobiliários e leiaute dos espaços.



3. 1 - A luz natural incidente no espaço, influencia o desempenho das suas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

4. 2 - A distribuição de iluminação artificial disposta no ambiente influencia suas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

5. 3 - Ter visão para área externa, através de janelas, influencia o desempenho das suas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

6. 4 - O nível de ruído percebido vindo da área externa influencia suas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)



7. 5 - O nível de ruído percebido vindo do ambiente interno, salas próximas ou corredores, influencia suas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

8. 6 - A sensação térmica, temperatura, umidade e velocidade do ar percebido no espaço influenciam suas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

9. 7 - O formato do edifício, como ele foi construído, a idade da edificação, tem impacto no conforto interno dos espaços e consequentemente nas suas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

10. 8 - O modelo das esquadrias impacta o conforto interno dos espaços?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

11. 9 - O leiaute do ambiente, a distribuição do mobiliário, impactam na praticidade e funcionalidade do espaço?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

12. 10 - Os espaços livres entre os mobiliários impactam na circulação e fluidez dos espaços?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

**Necessidade dos ocupantes SUAD - FATORES PESSOAIS**

Considerando que diversos fatores (ambientais, pessoais, entre outros) têm impacto nas condições de conforto relacionadas ao espaço interno. Este questionário foi projetado para obter o feedback dos ocupantes do setor em relação a tais fatores.

Sendo assim, responda as questões a seguir relacionando como, na sua percepção pessoal os fatores citados influenciam as atividades que você desempenha dentro da edificação.

Relacionado a **FATORES PESSOAIS** responda as seguintes perguntas considerando que: **1 influencia negativamente (-)** e **5 influencia positivamente (+)**.

São considerados nestas questões fatores compartimentais, condições mentais, informações espaciais, limpeza e privacidade.



13. 1 - Os mobiliários dispostos no ambiente (cadeiras e mesas de trabalho) impactam o seu conforto e necessidades pessoais de qual forma?

*Marcar apenas uma oval.*

1 2 3 4 5  
Neg      Positivamente (+)

14. 2 - A necessidade de ajustar a ventilação e a temperatura do espaço quando necessário impactam suas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1 2 3 4 5  
Neg      Positivamente (+)

15. 3 - Quando necessário levantar para manipular ar condicionado, ventilador ou abrir e fechar janelas, isso gera impacto nas suas atividades de que forma?

*Marcar apenas uma oval.*

1 2 3 4 5  
Neg      Positivamente (+)



16. 4 - Quando são fornecidas informações sobre o ambiente que auxiliam a adaptar o seu comportamento, como isso impacta você? Exemplos, letreiros indicativos de como usar os espaços, banheiros, comportamentos adequados, etc.

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

17. 5 - No geral o ambiente que em que você trabalha é confortável? Impacta de qual forma o desempenho das atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

18. 6 - Como você sente que o ambiente influencia o seu bem-estar mental e emocional?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

19. 7 - Sinalizações do espaço, direções, nomes de setores, etc., disponíveis de forma clara e direta influenciam suas atividades de qual forma?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

20. 8 - Manter higiene, limpeza e manutenção dos espaços impacta minha rotina de atividades de qual forma?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

21. 9 - Ter privacidade no ambiente impacta de que forma minhas atividades?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

22. 10 - Decorações aplicadas em datas comemorativas impactam o ambiente de qual forma?

*Marcar apenas uma oval.*

1   2   3   4   5

---

Neg      Positivamente (+)

#### Necessidade dos ocupantes SUAD - OUTRO FATORES

Considerando que diversos fatores (ambientais, pessoais, entre outros) têm impacto nas condições de conforto relacionadas ao espaço interno. Este questionário foi projetado para obter o feedback dos ocupantes do setor em relação a tais fatores.

Sendo assim, responda as questões a seguir relacionando como, na sua percepção pessoal os fatores citados influenciam as atividades que você desempenha dentro da edificação.

23. Levando em consideração **outros fatores** que possam influenciar sua sensação de conforto com o espaço e que não tenham sido mencionados nas perguntas anteriores, por favor, indique palavras relacionadas à sua percepção de conforto e necessidades em relação ao ambiente

---



---



---



---



---

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

## Resultados do questionário – seção conforto ambiental

	Negativo	Quase negativo	Neutro	Quase positivo	Positivo	Total
<b>Conforto ambiental</b>						
1. A luz natural que incide no espaço influencia o desempenho das suas atividades?	4	0	6	9	24	<b>43</b>
2. A distribuição de iluminação artificial disposta no ambiente influencia suas atividades?	4	3	8	10	19	<b>44</b>
3. Ter visão para área externa, através de janelas, influencia o desempenho das suas atividades?	3	0	5	8	28	<b>44</b>
4. O nível de ruído percebido vindo da área externa influencia suas atividades?	10	10	12	7	5	<b>44</b>
5. O nível de ruído percebido vindo do ambiente interno, salas próximas ou corredores, influencia suas atividades?	20	12	7	3	2	<b>44</b>
6. A sensação térmica, temperatura, umidade e velocidade do ar percebido no espaço influenciam suas atividades?	6	5	13	10	10	<b>44</b>
7. O formato do edifício, como ele foi construído, a idade da edificação, têm impacto no conforto interno dos espaços e, conseqüentemente, nas suas atividades?	4	7	17	10	4	<b>42</b>
8. O modelo das esquadrias impacta o conforto interno dos espaços?	7	5	13	15	4	<b>44</b>
9. O leiaute do ambiente e a distribuição do mobiliário impactam na praticidade e na funcionalidade do espaço?	11	8	5	11	8	<b>43</b>
10. Os espaços livres entre os mobiliários impactam a circulação e fluidez dos espaços?	7	6	7	14	10	<b>44</b>

## Resultados do questionário – seção fatores pessoais

(Continua)

	Negativo	Quase negativo	Neutro	Quase positivo	Positivo	Total
<b>Fatores pessoais</b>						
1. Os mobiliários dispostos no ambiente (cadeiras e mesas de trabalho) impactam o seu conforto e necessidades pessoais de que forma?	5	5	10	10	14	<b>44</b>
2. A necessidade de ajustar a ventilação e a temperatura do espaço quando necessário impactam suas atividades?	3	4	12	16	8	<b>43</b>

(Conclusão)

	Negativo	Quase negativo	Neutro	Quase positivo	Positivo	Total
<b>Fatores pessoais</b>						
3. Quando necessário, levantar-se para manipular ar-condicionado, ventilador ou abrir e fechar janelas, gera impacto nas suas atividades de que forma?		6	15	10	5	44
4. Quando são fornecidas informações sobre o ambiente que auxiliam a adaptar o seu comportamento, como isso impacta você? Por exemplo: letreiros indicativos de como usar os espaços, banheiros, comportamentos adequados, etc.	1	1	9	14	18	43
5. Em geral, o ambiente em que você trabalha é confortável? Impacta de qual forma o desempenho das atividades?	0	5	12	18	9	44
6. Como você sente que o ambiente influencia o seu bem-estar mental e emocional?	0	6	11	17	10	44
7. Sinalizações do espaço, direções, nomes de setores, etc., disponíveis de forma clara e direta influenciam suas atividades de que forma?	1	1	12	16	14	44
8. Manter higiene, limpeza e manutenção dos espaços impacta minha rotina de atividades de qual forma?	3	3	2	7	28	43
9. Ter privacidade no ambiente impacta suas atividades de que forma?	1	3	7	9	24	44
10. Decorações aplicadas em datas comemorativas impactam o ambiente de que forma?	0	3	13	9	19	44

## Outros fatores identificados

(Continua)

<b>Outros fatores identificados</b>	
1. Levando em consideração outros fatores que possam influenciar sua sensação de conforto com o espaço e que não tenham sido mencionados nas perguntas anteriores, por favor, indique palavras relacionadas à sua percepção de conforto e necessidades em relação ao ambiente.	
Tópicos identificados	Respostas dissertativas
Leiaute do espaço	<i>O ambiente aberto prejudica o fluxo do trabalho presencial.</i>
	<i>A implantação do layout aberto impactou negativamente o ambiente de trabalho. O barulho dos demais setores atrapalha bastante no dia a dia.</i>
	<i>Ambiente confortável com leiaute aberto que preza pela interação interdepartamental, mas atrapalha na questão dos ruídos compartilhados.</i>

(Conclusão)

<b>Outros fatores identificados</b>	
2. Levando em consideração outros fatores que possam influenciar sua sensação de conforto com o espaço e que não tenham sido mencionados nas perguntas anteriores, por favor, indique palavras relacionadas à sua percepção de conforto e necessidades em relação ao ambiente.	
<b>Tópicos identificados</b>	<b>Respostas dissertativas</b>
	<i>Estamos cada vez com menos espaço dentro de cada setor. Acho insalubre e desconfortável para os servidores que estão lotados na SUAD.</i>
	<i>Falta privacidade nos ambientes de trabalho. O ambiente é aberto e todas as pessoas ouvem ruídos, risadas, conversas altas e telefonemas de outras divisões ao redor, o que impacta diretamente na concentração e no trabalho entregue.</i>
	<i>Em relação ao ambiente de trabalho, o principal problema é relacionado com o ruído.</i>
	<i>A pesquisa está direcionada ao prédio principal e não leva em consideração (explícita) os outros ambientes anexos, subsolo e fora do CAFF, onde as condições são muito diferentes e praticamente insalubres, proporcionando dificuldades na execução do serviço. Locais com poeira, barulho, mal ventilados e mal iluminados, além de não proporcionar ambiente agradável visualmente, sendo deprimente e quase humilhante. Sugiro avaliar essas condições, já que é um grande número de servidores que atua nestes ambientes.</i>
	<i>Ambiente muito aberto e barulhento, atrapalha demais o trabalho intelectual.</i>
	<i>Acessibilidade.</i>
Mobiliários e equipamentos	<i>A disposição de equipamentos de refrigeração para guarda de itens de alimentação ou hidratação torna o ambiente de trabalho mais aconchegante para realização das atividades laborais, ainda mais quando passamos praticamente 1/3 do nosso dia nestes recintos.</i>
	<i>Copas.</i>
	<i>Ergonomia.</i>
	<i>Fundamental melhorar mobiliário (mesas de trabalho), guichês, banheiros, locais para fumantes, acessos ao prédio do CAFF sem gotas de ar-condicionado caindo sobre as pessoas.</i>
Banheiros	<i>Desconforto ao usar banheiros pelo mal estado.</i>
	<i>Melhoria nos banheiros.</i>
	<i>Banheiro mais próximo do setor.</i>
	<i>Banheiros.</i>
Outros	<i>Zelar pela manutenção do patrimônio histórico, sem prejuízo de estruturas próprias para este fim.</i>
	<i>Segurança.</i>

**APÊNDICE K – TRABALHOS PUBLICADOS DURANTE A PESQUISA**

BARBOSA, B. W. G. *et al.* Microstructure as new forms of aesthetic and visual language. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IBERO-AMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS*, 27., Punta del Leste. **SIGraDi 2023 – Accelerated Landscapes**. Montevideo: Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo (UdelaR), 2023. p. 647-656.

CONCEIÇÃO, S. M. *et al.* ChatGPT for briefing creation. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IBERO-AMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS*, 27., Punta del Leste. **SIGraDi 2023 – Accelerated Landscapes**. Montevideo: Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo (UdelaR), 2023. p. 819-830.

DIEHL, N. C. *et al.* Oficina de modelagem com nuvem de pontos: integração de captura da realidade ao BIM. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM*, 5., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. 1 pôster eletrônico. Disponível

em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/3425/3996>. Acesso em: 8 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46421/enebim.v5i00.3425>. Apresentação do trabalho também disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=SMfTdme5wIM>

DIEHL, N. C. *et al.* BIM para reconstrução do existente: revisão sistemática. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO*, 13., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1-10. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/2948/2741>. Acesso em: 8 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46421/sibragec.v13i00.2948>

PONZIO, A. P. *et al.* Capacitação BIM para docentes: Módulo I. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM*, 5., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. 1 pôster eletrônico. Disponível em:

<https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/3466/3989>. Acesso em: 8 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46421/enebim.v5i00.3466>. Apresentação do trabalho também disponível em: <https://youtu.be/uQnsPhakSck?si=muAnLh6f9H6e2Aqf>

SCHULZ, V. M. *et al.* Estratégia Célula BIM FA-UFRGS: metaprojeto como viabilização curricular. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM*, 5., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. 1 pôster eletrônico. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/3283/4018>. Acesso em: 8 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46421/enebim.v5i00.3283>. Apresentação do trabalho também disponível em: <https://youtu.be/c-QvwtpGtnU?si=pjXTSFDQvn9YpDpP>

---

<sup>i</sup> O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.