

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE ADMINISTRAÇÃO E SOCIOECONÔMICAS – ESAG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO**

**DANIEL SOUZA DUTRA**

**ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA  
DE PROJETOS PREVENTIVOS CONTRA INCÊNDIO NO CORPO DE  
BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA**

**FLORIANÓPOLIS  
2023**

**DANIEL SOUZA DUTRA**

**ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA  
DE PROJETOS PREVENTIVOS CONTRA INCÊNDIO NO CORPO DE  
BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA**

Dissertação de mestrado apresentado ao curso de Mestrado Profissional em Administração do Centro de Ciências da Administração e Socioeconômicas (Esag), da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Julio da Silva Dias

**FLORIANÓPOLIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Universitária Udesc,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Dutra, Daniel Souza  
Estratégias para implementação da verificação  
automatizada de projetos preventivos contra incêndio no  
Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina / Daniel Souza  
Dutra. -- 2023.  
132 p.

Orientador: Julio da Silva Dias  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências da Administração e  
Socioeconómicas - ESAG, Programa de Pós-Graduação  
Profissional em Administração, Florianópolis, 2023.

1. projeto preventivo contra incêndio. 2. Corpo de  
Bombeiro. 3. Corpo de Bombeiro Militar de Santa Catarina. 4.  
verificação automatizada. 5. análise PPCI. I. Dias, Julio da  
Silva. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro  
de Ciências da Administração e Socioeconómicas - ESAG,  
Programa de Pós-Graduação Profissional em Administração.  
III. Título.

**DANIEL SOUZA DUTRA**

**ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA  
DE PROJETOS PREVENTIVOS CONTRA INCÊNDIO NO CORPO DE  
BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA**

Dissertação de mestrado apresentado ao curso de Mestrado Profissional em Administração do Centro de Ciências da Administração e Socioeconômicas (Esag), da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração.

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador: Prof. Dr. Julio da Silva Dias  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Carlos Roberto de Rolt  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Sérgio Murilo Petri  
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 15 de dezembro de 2023.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que me fizeram chegar até aqui.

À minha mãe e ao Gui que não pouparam esforços para que eu pudesse estar onde estou.

À minha esposa e parceira de vida, Ingrid, cujo incentivo foi fundamental para que eu iniciasse o mestrado, sendo uma fonte constante de motivação e apoio, mesmo nos dias de prazo apertado e madrugadas longas.

Aos meus filhos, Érica e Otto que chegaram durante o mestrado, me mostrando o significado de amor incondicional, misturando fraldas e mamadeiras à rotina de estudos. Amo vocês.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Julio da Silva Dias pelas ideias, pela compreensão e pela liberdade que me proporcionou na execução desta pesquisa.

À Udesc, por fornecer um ambiente acadêmico estimulante e recursos valiosos para minha formação.

E por fim, ao Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, não apenas por ser o campo de pesquisa desta dissertação, mas também por permitir que eu me encontrasse profissionalmente, transformando os dias de trabalho em dias de prazer.

“Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar o calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigado para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser; que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver.”

(Amyr Klink)

## RESUMO

A dissertação investigou a implementação da análise automatizada de Projetos de Prevenção e Contra Incêndios (PPCI) no Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), abordando desafios e soluções para modernizar esse processo crucial. O estudo constatou que a análise manual de PPCI é marcada por significativa complexidade, levando a ineficiências, a demoras e, por vezes, a erros e inconsistências nas avaliações. As variações nas interpretações humanas destacam a necessidade de abordagens mais consistentes e objetivas. Avanços tecnológicos, como a *Building Information Modeling* (BIM) e as análises automatizadas, surgem como soluções promissoras para superar esses desafios. A implementação dessas tecnologias no CBMSC poderia resultar em um processo de análise mais eficiente, preciso e rápido, alinhado com os objetivos de modernização e de inovação da instituição. A pesquisa apontou a viabilidade de automatizar uma parcela significativa dos requisitos de PPCI, especialmente aqueles objetivos e mensuráveis, mas reconheceu a importância da análise manual em certas áreas que requerem julgamento subjetivo ou interpretação. A dissertação sugere uma abordagem semiautomática, como um meio eficaz durante a fase de transição para um sistema totalmente automatizado, aproveitando as capacidades de processamento das máquinas enquanto mantém a contribuição humana em aspectos que exigem julgamento e interpretação especializados. A adoção de um processo de verificação automatizado representa uma mudança significativa para o CBMSC, exigindo superação de desafios técnicos e normativos, além de investimentos em treinamento e desenvolvimento de capacidades para o uso eficaz das novas tecnologias.

**Palavras-chave:** verificação automatizada; segurança contra incêndio; building information modeling (BIM).

## ABSTRACT

The dissertation investigated the implementation of automated analysis for Fire Prevention and Control Projects (PPCI) within the Santa Catarina Military Fire Brigade (CBMSC), addressing challenges and solutions to modernize this crucial process. The study found that the manual analysis of PPCI is marked by significant complexity, leading to inefficiencies, delays, and sometimes errors and inconsistencies in evaluations. Variations in human interpretations highlight the need for more consistent and objective approaches. Technological advances such as Building Information Modeling (BIM) and automated analyses emerge as promising solutions to overcome these challenges. Implementing these technologies in the CBMSC could result in a more efficient, accurate, and faster analysis process, aligned with the institution's modernization and innovation objectives. The research pointed out the feasibility of automating a significant portion of the PPCI requirements, especially those that are objective and measurable, but recognized the importance of manual analysis in certain areas that require subjective judgment or interpretation. The dissertation suggests a semi-automated approach as an effective means during the transition phase to a fully automated system, leveraging the processing capabilities of machines while maintaining human contribution in aspects that require specialized judgment and interpretation. The adoption of an automated verification process represents a significant change for the CBMSC, requiring overcoming technical and normative challenges, as well as investments in training and capacity development for the effective use of new technologies.

**Keywords:** automated code checking; fire safety; building information modeling (BIM).

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Distribuição dos Requisitos NA, AP, ANP nas INs.....	32
Gráfico 2 – Distribuição de Requisitos Não Aplicáveis (NA) por IN .....	33
Gráfico 3 – Distribuição de Requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP) por IN .....	33
Gráfico 4 – Distribuição de Requisitos Aplicáveis em projeto mas Não Paramétrico (ANP) por IN .....	34

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Conjunto de logotipos das plataformas que executam verificação automatizada.....	50
Figura 2 – Conceito de Caixa Preta, de Caixa Cinza e de Caixa Branca .....	57
Figura 3 – Classificação proposta por Soliman-Junior <i>et al.</i> (2021) .....	68
Figura 4 – Tela do sistema <i>Analytics Qlik</i> com a seleção dos campos utilizados na pesquisa .....	89
Figura 5 – Tabela elaborada no programa <i>Analytics Qlik</i> com os campos relevantes para a pesquisa.....	89
Figura 6 – Resumo da análise dos dados .....	91
Figura 7 – Passos para implementação análise automatizada PPCI no CBMSC .....	89

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Dados Necessários em Relação aos Objetivos da Pesquisa .....	84
Quadro 2 – Sistematização dos procedimentos metodológicos por objetivo .....	86

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISC	American Institute of Steel Construction
ANP	Requisitos Aplicáveis em projeto, mas Não Paramétricos
AP	Requisitos Aplicáveis e Paramétricos
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BERA	Building Environment Rule and Analysis
BIM	Building Information Modeling
CBMSC	Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
EDM	Express Data Manager
GAF	Generalized Adaptive Framework
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
GSA	Administração de Serviços Gerais dos EUA
IA	inteligência artificial
IDM	Information Delivery Manual
IDS	Information Delivery Specification
IFC	Industry Foundation Classes
INs	Instruções Normativas
MVD	Definição de Modelo de Visualização
NA	Requisitos Não Aplicáveis em projeto
NLP	Processamento de Linguagem Natural
NSCI	Normas de Segurança Contra Incêndio
OBM	Organizações de Bombeiro Militar
PPCI	Projeto Preventivo Contra Incêndio
RASE	Requisito, Aplicabilidade, Seleção, Exceção
RDF	Resource Description Framework
RRT	Registro de Responsabilidade Técnica
SFPE	Society of Fire Protection Engineers
SICAD	Standards Interface for Computer Aided Design
SMC	Solibri Model Checker
VPL	Visual Programming Language

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA .....	18
1.2	OBJETIVOS .....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>19</b>
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA .....	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	REVISÃO TEÓRICA.....	21
<b>2.1.1</b>	<b>A Análise de Projetos .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2</b>	<b>A Análise de Projetos Preventivos Contra Incêndio (PPCI).....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.3</b>	<b>A Análise de Projetos Preventivos Contra Incêndio no CBMSC .....</b>	<b>24</b>
2.1.3.1	<i>Autodeclaração, Processo Simplificado e Processo Ordinário .....</i>	24
2.1.3.2	<i>Fluxo do Processo para Análise do PPCI no CBMSC .....</i>	25
2.1.3.3	<i>Motivos de indeferimento dos PPCI no CBMSC .....</i>	26
<b>2.1.4</b>	<b>Verificação Automatizada de Projetos.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Verificação Automatizada de Projetos Preventivos Contra Incêndio ....</b>	<b>29</b>
2.1.5.1	<i>Programa de Pesquisa e Inovação em Projetos Preventivos (PPCI) por meio da verificação automática de regras com uso da Plataforma BIM no CBMSC.....</i>	31
<b>2.1.6</b>	<b>Operacionalização da Verificação Automática de Projetos .....</b>	<b>35</b>
2.1.6.1	<i>BIM (Building Information Modeling).....</i>	35
2.1.6.2	<i>BIM e a Verificação Automática de regras.....</i>	37
2.1.6.3	<i>IFC (Industry Foundation Classes) .....</i>	38
2.1.6.4	<i>Conceitos relacionados ao BIM e ao IFC: MVD, IDM e IDS .....</i>	40
<b>2.1.7</b>	<b>Sistemas de Verificação Automatizados de Regras no Mundo.....</b>	<b>41</b>
2.1.7.1	<i>Sistemas Pré-BIM.....</i>	41
2.1.7.2	<i>Sistemas pós-BIM.....</i>	42
2.1.7.3	<i>Plataformas para execução de Verificação Automatizada de Projetos .....</i>	50
2.1.7.4	<i>Outras abordagens para verificação automatizada .....</i>	54
2.1.7.5	<i>Desafios para a implementação da Análise Automatizada .....</i>	56
2.1.7.6	<i>Avanços e Conquistas na Verificação Automatizada.....</i>	60
2.1.7.7	<i>Pontos positivos da Análise Automatizada .....</i>	61
<b>2.1.8</b>	<b>Normas e Regulamentos de Construção.....</b>	<b>62</b>

2.1.8.1	<i>Relação entre a Verificação Automatizada e as Normas</i>	63
2.1.8.2	<i>Complexidades das Normas e Regulamentos de Construção</i>	63
2.1.8.3	<i>Classificação das regras</i>	65
2.1.8.4	<i>Representação das regras</i>	69
2.1.8.5	<i>Tradução das Normas para abordagens de verificação automáticas</i>	74
<b>2.1.9</b>	<b>Requisitos para Implementação da Verificação Automatizada</b>	<b>77</b>
<b>2.1.10</b>	<b>Passos para Implementação</b>	<b>77</b>
<b>2.1.11</b>	<b>Desafios e Barreiras na Implementação</b>	<b>82</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>84</b>
3.1	<i>CONTEXTO DA PESQUISA</i>	84
3.2	<i>CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO</i>	85
3.3	<i>ETAPAS DA PESQUISA</i>	86
3.3.1	<i>Pesquisa Bibliográfica</i>	86
3.3.2	<i>Pesquisa documental</i>	88
3.3.3	<i>Análise e organização dos dados</i>	90
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO, DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DA REALIDADE ESTUDADA</b>	<b>93</b>
4.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO</i>	93
4.2	<i>DESCRIÇÃO DETALHADA DA SITUAÇÃO-PROBLEMA</i>	94
4.3	<i>ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA</i>	95
<b>4.3.1</b>	<b>Aspectos Críticos da Situação-Problema no Contexto do CBMSC</b>	<b>96</b>
4.3.1.1	<i>Complexidade, Variedade e Mudança das Normas</i>	96
4.3.1.2	<i>Conhecimento e Subjetividade no Processo de Análise</i>	98
4.3.1.3	<i>Desafios na elaboração de PPCIs para os Responsáveis Técnicos</i>	99
4.3.1.4	<i>Etapas Múltiplas no Processo de Análise de PPCIs</i>	99
4.3.1.5	<i>Motivos de indeferimento dos PPCI no CBMSC</i>	100
4.3.1.6	<i>Prazos dos Projetos Preventivos Contra Incêndio</i>	100
<b>4.3.2</b>	<b>Aspectos Críticos Situação-Problema Relação nálise Automatizada..</b>	<b>102</b>
4.3.2.1	<i>Adoção Lenta de Avanços Tecnológicos na Segurança Contra Incêndio ..</i>	102
4.3.2.2	<i>Complexidade das Normas e a Análise Automatizada</i>	102
4.3.2.3	<i>Aspectos Críticos Transformação Normas em Regras Computacionais ...</i>	103
4.3.2.4	<i>Limitações de Personalização e Especificidade na Análise Automatizada.</i>	104
4.3.2.5	<i>Interoperabilidade na Análise Automatizada: Desafios e Soluções</i>	105
4.3.2.6	<i>Desafios na Qualidade e na Modelagem BIM para Análise Automatizada.</i>	106

<b>4.3.3 Potencialidades do CBMSC em relação ao PPCI.....</b>	<b>107</b>
4.3.3.1 <i>Programa de Pesquisa e Inovação em Projetos Preventivos (PPCI) por meio da verificação automática de regras com o uso da Plataforma BIM no CBMSC.....</i>	107
4.3.3.2 <i>Movimento para simplificação e inovação no serviço público.....</i>	108
<b>5 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO.....</b>	<b>109</b>
5.1 ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA ANÁLISE AUTOMATIZADA DE PPCI NO CBMSC.....	111
5.1.1 <b>Revisão, Análise e Conversão para Formatos Computacionais .....</b>	<b>112</b>
5.1.2 <b>Criação das Regras na Plataforma Específica .....</b>	<b>115</b>
5.1.3 <b>Projetos Preventivos Contra Incêndio em BIM .....</b>	<b>117</b>
5.1.4 <b>Análise Automatizada do PPCI.....</b>	<b>118</b>
5.1.5 <b>Relatório da Análise Automatizada.....</b>	<b>119</b>
5.1.6 <b>Envolvimento das partes interessadas .....</b>	<b>120</b>
5.1.7 <b>Implementações e testes .....</b>	<b>120</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>123</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os Corpos de Bombeiros Militares fazem parte de um sistema de segurança contra incêndio. Assim, operam em um ciclo completo de normatização, fiscalização, combate e investigação de incêndios (Stein; Sell; Godinho, 2018). O objetivo principal desse sistema é resguardar a vida das pessoas e reduzir danos ao meio ambiente e ao patrimônio (Santa Catarina, 2013).

De modo mais específico, em Santa Catarina, a formalização mais recente das normas e dos requisitos mínimos para a prevenção e a segurança contra incêndio ocorreu pela Lei (estadual) n. 16.157/2013 (Santa Catarina, 2013). Coube ao Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) o exercício do poder de polícia administrativa para assegurar o adequado cumprimento das normas de segurança contra incêndio e pânico.

A segurança contra incêndio é um assunto complexo e abrangente, sendo tratada por diversas legislações e normas técnicas. É operada por vários atores, como engenheiros, arquitetos, responsáveis e proprietários das edificações, não sendo atribuição exclusiva dos Corpos de Bombeiros. No contexto da construção civil, a verificação dos itens de segurança contra incêndio deve preceder a construção de uma edificação e ser considerada desde a concepção do projeto (Armani; Souza, 2018).

Entende-se que os profissionais que participam da fase de elaboração de projetos de uma edificação são importantes atores na implementação dos sistemas de segurança. Os projetos construtivos das edificações, sejam elas com finalidade residencial, comercial, industrial ou outra qualquer, não podem preocupar-se somente com aspectos de estabilidade estrutural, conforto térmico, ergonômico, acessibilidade e estética. Devem preocupar-se, também, com as normas de segurança contra incêndio (Armani; Souza, 2018).

Os responsáveis devem executar o Projeto Preventivo Contra Incêndio (PPCI) de acordo com as determinações de normas e regras preestabelecidas (Porto; Franco, 2016). Dessa forma, em relação às normas de segurança contra incêndio de uma edificação, medidas de proteção passiva devem ser previstas, para que situações de incêndio sejam evitadas e, caso ocorram, sejam minimizadas, restringindo seu crescimento e permitindo a saída das pessoas com segurança (Armani; Souza, 2018).

As normas de segurança contra incêndio estão em constante evolução. A sua quantidade e a complexidade têm aumentado ao longo dos anos (Stein, 2019). Além disso, sua efetiva cobrança tem se mostrado necessária, principalmente com os grandes incêndios que aconteceram nos últimos anos, como o da Boate Kiss. Esse movimento elevou o grau de dificuldade da execução e, por conseguinte, da verificação do PPCI, que precisam atender a todos os requisitos estabelecidos pelos órgãos regulamentadores (Franca, 2018).

A verificação das normas e o planejamento dos sistemas de segurança contra incêndio em uma edificação é condição *sine qua non* em um projeto construtivo. A falta de respeito ou a não observância às normas de segurança contra incêndio costuma ter consequências terríveis. Tragédias como a do Gran Circus Norte-Americano, em Niterói, em 1961 (503 mortos); a do Edifício Andraus, em São Paulo, em 1972 (16 mortos); a do Edifício Joelma, também em São Paulo, em 1974 (188 mortos e mais de 300 feridos); e a da Boate Kiss, no Rio Grande do Sul, em 2013 (242 mortos e 680 feridos); reforçam, da pior maneira possível, a importância das Normas de Segurança Contra Incêndio (NSCI) (Lugon *et al.*, 2018).

Em Santa Catarina, a elaboração e a execução do PPCI e a implantação dos sistemas e das medidas de segurança contra incêndio devem ser efetuadas por profissional legalmente habilitado e com registro no respectivo Conselho Regional, observadas as normas expedidas pelo CBMSC (Santa Catarina, 2013).

A execução do PPCI pelos responsáveis técnicos, de acordo com os parâmetros normativos, é uma atividade complexa, que exige constante aprimoramento profissional, em função do número de requisitos que devem ser atendidos, da dificuldade de verificação manual, e dos prazos geralmente curtos para desenvolvimento. Por isso, não é incomum a confecção de PPCI em desacordo com as normas de segurança vigentes (Silva, 2017).

Assim, finalizado o PPCI, é necessária a sua verificação pelos Corpos de Bombeiros. O processo de análise do PPCI em Santa Catarina é regulado pela Instrução Normativa 01 (IN-01) do CBMSC, a qual informa que a análise do PPCI é o ato de verificação das exigências dos sistemas e das medidas de prevenção a incêndios e a pânico, previstos em suas normas (CBMSC, 2022a).

A IN-01 dá prazo de até 20 dias, a contar da data do pagamento da taxa e da juntada dos demais documentos exigidos no protocolo, para que a análise do PPCI

seja concluída. No CBMSC, a análise de projetos é realizada de forma manual e pessoal, assim como em todos os outros estados da Federação.

Tal como a elaboração, o processo de análise do PPCI é uma tarefa complexa. Demanda muito tempo e conhecimento dos agentes públicos que fazem esse tipo de análise e conferência. Isso representa um custo significativo para as empresas que aguardam a análise do PPCI e para os órgãos públicos que executam esse moroso processo de análise (Silva; Arantes, 2016). Rodrigues (2015) acrescenta que esse processo de análise manual é penoso, demorado e, por vezes, ineficiente, visto que podem ocorrer erros ou lapsos nessas análises.

## 1.1 DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

No contexto atual do CBMSC, observa-se um processo de análise e aprovação de PPCI predominantemente manual, que se caracteriza pela sua morosidade, susceptibilidade a erros e falta de eficiência. Esse cenário não só atrasa o desenvolvimento de novos empreendimentos, mas, também, impõe riscos à segurança pública e ao cumprimento efetivo das normas de segurança contra incêndio. Com o avanço tecnológico, especialmente no campo da Modelagem de Informações da Construção (BIM - *Building Information Modeling*) e da verificação automatizada, surge a oportunidade de revisar e potencialmente otimizar esse processo. Contudo, é necessária uma análise comparativa abrangente entre o método tradicional de análise manual e os novos métodos de análise automatizada para fundamentar uma possível transição. A situação indesejada que se busca resolver é a ineficiência do processo manual de análise de PPCI no CBMSC, com vistas à implantação de um método mais eficaz e automatizado.

## 1.2 OBJETIVOS

A presente pesquisa fundamenta-se em um objetivo geral e em cinco objetivos específicos, que se pretende alcançar a partir da coleta e da análise dos dados de campo.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Elaborar estratégias para a implementação da análise automatizada de Projetos Preventivos Contra Incêndio no Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Descrever o processo atual de análise e de verificação manual de PPCI no CBMSC;
- b) Identificar o tempo de resposta do método atual de análise manual de PPCI no CBMSC;
- c) Verificar junto à literatura as melhores práticas, etapas e os requisitos necessários para a implantação da verificação automática de projetos no CBMSC;
- d) Indicar os impactos potenciais da implementação da verificação automatizada no processo de análise de PPCI no CBMSC.

## **1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA**

A globalização e as constantes inovações impõem uma tomada de decisão fundamental para instituições privadas e públicas; ou adaptam-se e evoluem para padrões de excelência de produção de bens e serviços, ou isolam-se em seu local de atividade e correm o risco de não sobreviverem (Paludo, 2016).

A transformação digital da administração é uma necessidade urgente, e representa oportunidade única para que seja possível fazer muito mais pelo cidadão, com menos recursos. Inovar não é mais uma questão de escolha: trata-se de um dever, como consequência do direito dos cidadãos a uma gestão governamental eficiente e capaz de prover serviços de excelência (Tribunal de Contas da União, 2017).

Nesse sentido, a presente pesquisa pretende elaborar estratégias para a implementação da análise automatizada de Projetos Preventivos Contra Incêndio no Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

Diante disso, para o CBMSC e para o setor de análise de PPCI do CBMSC, a presente pesquisa justifica-se por buscar a otimização do processo de análise por meio da verificação automática de regras com a utilização de sistemas computacionais, fazendo com que a organização continue a ser uma corporação de excelência na prestação, na gestão e no conhecimento dos serviços de bombeiro, resguardando a vida, o patrimônio e o meio ambiente catarinense, de forma a ser cada vez mais eficiente, eficaz e efetiva.

Para os usuários do serviço, a pesquisa é relevante e justifica-se, principalmente porque a verificação automática de parâmetros normativos nos PPCI traria redução no tempo de verificação e análise dos projetos e ainda contribuiria para aumentar a precisão das análises (Romero; Scheer, 2009).

A aceleração no processo de análise de PPCI traz aumento de produtividade dos agentes públicos, garantindo benefícios de tempo e de recursos econômicos para a comunidade envolvida (Nawari, 2020; Lee et al., 2020). No CBMSC seria possível diminuir o efetivo de analistas, o que possibilitaria a alocação desse efetivo em locais ou em setores com deficiência de pessoal (Silva; Arantes, 2016).

Ainda, com a possibilidade da transformação da análise de projetos manual para um processo automático, os benefícios e as justificativas sociais para esse novo modelo seriam um aumento da transparência nas análises de PPCI, bem como os relatórios de indeferimento seriam padronizados e questões ambíguas existentes nas legislações e em regulamentos em vigor seriam sanadas (Ghannad et al., 2019).

Por fim, a proposta da pesquisa também encontra respaldo nos seguintes marcos legais e em exigências de gestão governamentais: Lei da Desburocratização (Brasil, 2018), Governo Sem Papel (Santa Catarina, 2019), Plano Estadual de Segurança Pública e Defesa Social – 2018-2028 (Santa Catarina, 2018b) e o Plano Estratégico do CBMSC – 2018-2030 (CBMSC, 2018b).

Esta pesquisa, empiricamente se justifica com base na experiência profissional do proponente, que, como Major do CBMSC, tem buscado continuamente a inovação com foco no usuário e na eficiência dos serviços públicos, com o objetivo de explorar como a transformação digital pode ser aplicada para melhorar a segurança pública e a eficiência operacional na área de segurança contra incêndios.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo destina-se à apresentação do arcabouço teórico sobre a temática pesquisada. Para isso, foram realizadas buscas livres sobre dissertações, teses e artigos científicos que abordassem a verificação automática de projetos.

Na fase exploratória, foram encontrados artigos-chave, os quais apontaram as principais abordagens e conceitos a serem pesquisados. Com a apropriação de alguns conceitos e com a reflexão sobre os temas tratados, a fundamentação teórica propiciou ao pesquisador uma compreensão mais aprofundada da temática em investigação, tornando possível a elaboração do presente capítulo.

### 2.1 REVISÃO TEÓRICA

#### 2.1.1 A Análise de Projetos

Para cada tipo de empreendimento, seja uma construção nova ou reforma de uma estrutura preexistente, é essencial obter aprovação das autoridades públicas competentes. A fim de assegurar tal autorização, os projetos construtivos do empreendimento são analisados em diversos órgãos e setores, visando cumprir integralmente a legislação em vigor (Romero; Scheer, 2009).

Durante o processo de elaboração do projeto construtivo, os profissionais responsáveis certificam-se de que cada aspecto esteja em conformidade com os variados requisitos regulatórios existentes. Posteriormente, o projeto de engenharia é submetido a uma auditoria formal conduzida pela autoridade competente, como parte integrante do processo de análise de projetos (Ghannad *et al.*, 2019; Romero; Scheer, 2009; Soliman-Junior; Formoso; Tzortzopoulos, 2020).

Em resumo, a análise de projetos de engenharia consiste no processo de avaliação de um projeto com base nos códigos e nas normas vigentes, com o objetivo de verificar a precisão e a qualidade do projeto, identificando problemas antes mesmo da construção. Os principais objetivos dessa revisão são assegurar a qualidade, a eficiência e a segurança, bem como prevenir falhas no empreendimento projetado (Nawari, 2020).

Nessas análises, o processo manual desempenha um papel crucial no êxito do projeto. Em outras palavras, os revisores são o alicerce do atual processo de análise de projetos em diversas disciplinas de engenharia (Nawari, 2020).

Os analistas de projeto objetivam averiguar se os requisitos dos códigos e das normas foram cumpridos, prevenindo equívocos e deficiências no projeto. Para tanto, utilizam conhecimento técnico próprio e experiência de análises anteriores, conhecimentos de engenharia e experiências aprendidas, a fim de avaliar aspectos do projeto que possam não estar em conformidade com os requisitos estabelecidos (Nawari, 2020).

A análise de projetos manual pode ser também realizada com o auxílio de arquivos digitais, no entanto, geralmente as não conformidades são registradas diretamente no arquivo de forma convencional, sem interação entre os envolvidos no processo (Nama; Alalawi, 2023; Nawari, 2020).

Embora seja uma tarefa essencial, a análise manual de projetos configura-se como um processo moroso, ineficiente, suscetível a erros e economicamente insustentável (Amor; Dimyadi, 2021; Dimyadi; Amor, 2013; Ghannad *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2020; Nawari, 2020).

Além disso, esse procedimento consome tempo e pode levar a interpretações arbitrárias dos requisitos por parte dos analistas. Ademais, a verificação manual de conformidade tende a apresentar inconsistências, visto que se baseia no julgamento e na interpretação humana (Nawari, 2020).

Os atuais processos manuais de análise de projeto não são apenas extremamente demorados, mas também desafiadores para os participantes do projeto e para os responsáveis pela fiscalização. Essa realidade se deve aos inúmeros requisitos e componentes regulatórios dos projetos de construção, instalações ou infraestrutura, que sempre impõem um enorme fardo aos envolvidos, particularmente aos profissionais, como os arquitetos, que atuam na fase inicial de projeto (Lee *et al.*, 2020).

Levando em consideração as crescentes demandas por agilidade na administração pública, é crucial aprimorar a relação e a eficiência entre o poder público, os cidadãos e os agentes privados, visando maximizar oportunidades para novos empreendimentos urbanos e promover uma interação mais eficaz com a sociedade. A busca por um controle mais rigoroso, aliada à exigência de maior transparência nos critérios e processos ágeis de tramitação das aprovações de novos

empreendimentos, destaca a necessidade de implementar métodos de gestão mais eficientes, que façam uso das novas tecnologias (Romero; Scheer, 2009).

Diante desse contexto, nas últimas cinco décadas, houve diversas tentativas de automatizar o processo de análise de projetos, porém, o progresso foi lento. Dentre os fatores que contribuíram para essa lentidão, estão a complexidade intrínseca e a natureza fragmentada da indústria da construção civil, o envolvimento de muitas partes interessadas, a resistência à mudança e a falta de motivação para a adoção de novas tecnologias. Assim, é fundamental superar esses desafios para garantir avanços significativos na gestão pública e na tramitação de projetos (Dimyadi; Amor, 2013; Ghannad *et al.*, 2019).

Nesse sentido, a digitalização dos dados e procedimentos administrativos surge como uma tendência global atual, visando aumentar a eficiência nos processos burocráticos, reduzindo imprecisões, irregularidades e ambiguidades, além de minimizar o uso de recursos em prol da adoção de práticas mais sustentáveis (Noardo *et al.*, 2022).

A digitalização implica passar de sistemas analógicos baseados em documentos para processos digitais baseados em dados. Condição essencial é, portanto, o uso de sistemas de informação 3D como entrada, principalmente modelos baseados em BIM (*Building Information Modelling*) (Noardo *et al.*, 2022).

### **2.1.2 A Análise de Projetos Preventivos Contra Incêndio (PPCI)**

Os objetivos fundamentais dos PPCI englobam a salvaguarda da vida humana, a proteção de propriedades, a continuidade das operações, a preservação do meio ambiente e a conservação do patrimônio, garantindo a segurança das pessoas e a sustentabilidade dos recursos (Malagnino *et al.*, 2022; Siddiqui *et al.*, 2021).

O PPCI desempenha papel central no ciclo de vida do edifício, permitindo a análise dos aspectos de segurança contra incêndio, aplicando princípios científicos e de engenharia. Essencial na fase de projeto e em modificações posteriores, a segurança contra incêndio utiliza informações a respeito do comportamento do incêndio e de evacuação, exigindo informações específicas do edifício. Estas informações são utilizadas pelos projetistas para elaboração ou melhoria do projeto conforme necessário (Siddiqui *et al.*, 2021).

Um nível mínimo de requisitos deve ser atendido para os PPCI em edificações. Esses requisitos são geralmente estipulados em códigos e em normas para fins de segurança à vida ou ao patrimônio (Kater; Ruschel, 2014).

Os problemas comumente encontrados nos PPCI têm origem nos projetos e nas especificações (Berto; De Paula; Böttger, 2019).

Um sistema de proteção contra incêndio adequadamente projetado e executado é uma das principais condições para garantir a segurança de uma edificação. Tal sistema é uma exigência mínima para a obtenção do Habite-se do imóvel junto ao CBMSC, órgão que é responsável por controlar e fiscalizar o cumprimento das normativas por meio de análise de projetos e de vistorias contra incêndio (Caron, 2021).

### **2.1.3 A Análise de Projetos Preventivos Contra Incêndio (PPCI) no CBMSC**

Dentre as múltiplas responsabilidades atribuídas ao CBMSC, destaca-se a análise de PPCI, como preconizado no art. 108 da Constituição Estadual de Santa Catarina (Santa Catarina, 2003). Essa análise é conduzida por bombeiros militares dotados de capacitação técnica específica, denominados pelo CBMSC como analistas. A função desses profissionais é avaliar minuciosamente as exigências dos sistemas e das medidas de segurança contra incêndio e pânico, conforme estipulado nas NSCI pertinentes a cada tipo de edificação.

No CBMSC, os documentos denominados Instruções Normativas (IN) têm por objetivo estabelecer e padronizar os procedimentos e requisitos mínimos de segurança contra incêndio, pânico e desastres para os imóveis fiscalizados pelo CBMSC, estabelecendo NSCI no Estado para a proteção de pessoas e de seus bens.

#### *2.1.3.1 Autodeclaração, Processo Simplificado e Processo Ordinário*

O Decreto n. 1.908/2022 de Santa Catarina (Santa Catarina, 2022), juntamente com as respectivas Instruções Normativas, delineiam diretrizes essenciais para a tramitação de PPCI, enfatizando os conceitos de autodeclaração e do processo simplificado. Esses procedimentos estão intrinsecamente ligados ao Plano Estratégico 2018-2030 do CBMSC (CBMSC, 2018b), estabelecido pela Portaria n. 80

de 2018, que visa à modernização e à inovação no gerenciamento operacional e administrativo da corporação.

A autodeclaração é um procedimento em que o autor do PPCI declara que esse está em conformidade com as NSCI estaduais. Esse mecanismo é aplicável somente nos processos simplificados junto ao CBMSC, nos quais o profissional projetista assume a responsabilidade tanto pelo detalhamento técnico quanto pela execução dos Sistemas e das Medidas de segurança contra incêndio (SMSCI).

O processo simplificado é direcionado a imóveis classificados como de risco II e III. Caracteriza-se por um rito de tramitação e regularização mais ágil para esses imóveis, em que o uso de autodeclaração e fiscalização posterior pelo CBMSC facilitam a obtenção dos atestados necessários. Os prazos para tramitação e emissão dos respectivos atestados no processo simplificado são de cinco dias, contrastando com os 20 dias requeridos no processo ordinário.

O processo ordinário é aplicado quando há imóveis classificados como de risco IV e V. Esse procedimento, mais detalhado e rigoroso, exige a prévia análise e aprovação do PPCI, além de uma vistoria de constatação para a concessão dos atestados emitidos pelo CBMSC.

#### *2.1.3.2 Fluxo do Processo para Análise do PPCI no CBMSC*

De acordo com o Manual Público Externo de PPCI (CBMSC, [2019]), existem quatro etapas no processo de análise de projetos preventivos no CBMSC, resumidas a seguir:

- a) 1<sup>a</sup> etapa: preencher solicitação de análise no portal do CBMSC – o interessado deverá preencher o formulário de solicitação de análise de PPCI no portal do CBMSC (<https://www.cbm.sc.gov.br/>). Nessa etapa, é necessário fornecer informações sobre o empreendimento e o responsável técnico, bem como selecionar a modalidade do projeto e fornecer os dados técnicos pertinentes.
- b) 2<sup>a</sup> etapa: receber, via e-mail, boleto de taxa e quitá-lo – após preencher a solicitação, o solicitante receberá, no e-mail cadastrado, o boleto referente à taxa de análise do projeto. É importante realizar o pagamento do boleto dentro do prazo de vencimento para que o processo possa prosseguir.

- c) 3<sup>a</sup> etapa: enviar, por e-mail, os materiais para análise – uma vez quitado o boleto, o solicitante deverá encaminhar os documentos necessários para a análise do projeto, como plantas, memoriais descritivos, ART ou RRT, e comprovante de pagamento, ao e-mail indicado no manual. Os documentos deverão ser enviados preferencialmente em formato PDF.
- d) 4<sup>a</sup> etapa: concluída a análise, o solicitante receberá e-mail informando a situação do PPCI – ao finalizar a análise do PPCI, o CBMSC enviará um e-mail ao solicitante informando a situação do projeto. Caso o projeto seja aprovado, o solicitante receberá o Atestado de Aprovação de Projeto Preventivo Contra Incêndio. Se houver necessidade de ajustes ou correções no projeto, o CBMSC informará as pendências a serem sanadas.

Importante salientar que no atual processo de análise de PPCI, houve a substituição das plantas físicas por arquivos em PDF, entretanto, o processo de análise de projetos ainda é o convencional. O analista indica quais as inconformidades encontradas e envia ao responsável.

#### *2.1.3.3 Motivos de indeferimento dos PPCI no CBMSC*

Caron (2021) investigou as principais razões pelas quais os Projetos Preventivos Contra Incêndio (PPCI) são indeferidos no CBMSC.

Esse estudo revelou um padrão significativo de inconformidade dos projetos com as Instruções Normativas (INs). De acordo a pesquisa, as INs mais comumente associadas a pendências nos pareceres são:

IN 01 – Procedimentos Administrativos: Processos Gerais de Segurança Contra Incêndio e Pânico (405 processos com pendências): esta IN aborda os procedimentos administrativos gerais para a segurança contra incêndio e pânico. A alta incidência de pendências aqui sugere que muitos projetos falham em atender aos padrões administrativos e processuais estabelecidos pelo CBMSC (CBMSC, 2022a).

IN 09 – Sistema de Saída de Emergência (401 processos com pendências): essa IN foca nos sistemas de saída de emergência, uma área crítica em qualquer edificação. As pendências podem estar relacionadas à inadequação ou à insuficiência dos planos de saída de emergência (CBMSC, 2022c).

IN 11 – Sistema de Iluminação de Emergência (200 processos com pendências): a iluminação de emergência é essencial para a segurança durante

situações de incêndio, e o alto número de pendências indica que muitos projetos não cumprem com os requisitos estabelecidos para esses sistemas (CBMSC, 2022d).

IN 08 – Instalações de Gás Combustível (GLP e GN) (193 processos com pendências): instalações de gás são áreas de alto risco em edifícios, e a conformidade com as normas é crucial para a prevenção de incêndios. As pendências podem indicar uma falta de conformidade com os padrões de segurança para instalações de gás (CBMSC, 2018a).

IN 18 – Controle de Materiais de Revestimento e Acabamento (187 processos com pendências): essa IN trata dos materiais utilizados em acabamentos e revestimentos, que podem influenciar significativamente o comportamento do fogo em um edifício (CBMSC, 2016).

#### **2.1.4 Verificação Automatizada de Projetos**

O processo de verificação automatizada surgiu principalmente devido a problemas associados ao processo manual de verificação, visando aprimorar as atividades de revisão manual, otimizando a análise das informações com o intuito de obter resultados previsíveis e coerentes, minimizando ambiguidades nos relatórios de avaliação. Dessa forma, busca-se proporcionar qualidade, agilidade, eficiência econômica e prevenção de falhas no processo de aprovação de projetos, o que confere um caráter mais formal e adequado às demandas do setor (Eastman *et al.*, 2009; Nawari, 2018; 2019).

A crescente complexidade das regulamentações de construção dificulta a elaboração e a entrega de projetos dentro do orçamento e do prazo estabelecidos. A informatização do processo de revisão de projetos, utilizando um formato de dados aberto e assíncrono, proporciona aos engenheiros e arquitetos métodos eficientes e inovadores para explorar diversas alternativas de projeto e validar premissas e requisitos em um ambiente virtual antes da construção, buscando alcançar os objetivos ideais de projeto (Nawari, 2020).

A verificação automatizada de projetos é de maneira geral executada por um sistema que não altera o projeto construtivo, mas, sim, avalia-o com base na disposição de objetos, suas relações e atributos. Esses sistemas aplicam regras preestabelecidas a um projeto enviado, gerando resultados categorizados como “aprovado”, “reprovado”, “alerta” ou “desconhecido” (Eastman *et al.*, 2009).

A avaliação ou análise automatizada pode ser aplicada tanto para requisitos de natureza quantitativa quanto para alguns qualitativos, com foco nos requisitos mais objetivos, que podem ser representados de maneira mais eficiente em uma estrutura lógica (Soliman-Junior *et al.*, 2021).

As abordagens de verificação automática para normas subjetivas são menos adaptáveis à automação completa e geralmente exigem a intervenção de especialistas humanos para realizar avaliações (Amor; Dimyadi, 2021), podendo ser realizada de forma semiautomática, utilizando uma combinação de entrada humana e troca de dados com módulos de cálculos ou simulações (Dimyadi; Amor, 2013).

Warren e Saleeb (2020) apresentam um contraponto entre a verificação automática e manual: a qualidade da verificação automática depende da qualidade das regras empregadas, enquanto a qualidade da verificação manual está relacionada à experiência do avaliador e ao tempo despendido no processo.

No setor da arquitetura, engenharia e construção, cerca de 400 estudos relevantes focaram na informatização do cumprimento das normas de construção para análise de projetos, cobrindo mais de quatro décadas de pesquisa. Esses estudos são fundamentais para entender como a tecnologia tem sido aplicada para melhorar a conformidade com as regulamentações e otimizar o processo de projeto no setor (Nawari, 2020).

A maioria dos métodos de verificação automática está relacionada principalmente a um domínio específico, como avaliação espacial, projeto estrutural, abastecimento de água, segurança contra incêndio, consumo de energia e assim por diante. Alguns desses métodos oferecem flexibilidade limitada para personalizar e alterar os parâmetros de cada regra para representar disposições locais. Uma vez que a estrutura da regra foi traduzida em código de computador, ela pode ser usada para vários projetos semelhantes (Nawari, 2020).

Essencialmente, de acordo com Amor e Dimyadi (2021), existem dois componentes fundamentais em um processo típico de verificação automática de conformidade:

- a) o modelo do edifício, uma representação digital dos dados do projeto, que será objeto da análise automatizada;
- b) conhecimento normativo, uma representação computável das disposições normativas estabelecidas por códigos e padrões, que é a base para a análise.

O grande desafio na verificação automatizada é que o modelo da edificação geralmente contém objetos e atributos arbitrários que não tem correspondência com os inseridos no conjunto de regras da plataforma que irá realizar a análise automatizada e vice-versa (Amor; Dimyadi, 2021).

A verificação automática de regras pode ser executada em três tipos principais de plataformas, de acordo com Nawari (2019):

- a) como uma aplicação de software integrada a uma ferramenta de projeto específica, como um *plug-in*, como na iniciativa *DesignCheck*, em que é possível verificar o modelo atual durante o processo de projeto;
- b) como uma aplicação de software autônoma, separada das ferramentas de modelagem – por exemplo, como no CORENET, no *EDMmodelChecker* e no *Solibri Model Checker* (SMC), que possuem seu próprio mecanismo de regras, que pode funcionar em vários modelos;
- c) como uma aplicação de software baseado na web que pode ser usada para verificar projetos de várias fontes.

De acordo com Eastman *et al.* (2009) e Nawari (2018), o processo de verificação de regras deve ser estruturado em quatro etapas:

- a) interpretação de regras e estruturação lógica das regras para sua aplicação;
- b) preparação do modelo de construção, em que as informações necessárias para a verificação são preparadas;
- c) a fase de execução das regras, que realiza a verificação;
- d) a geração de relatórios dos resultados da verificação.

### **2.1.5 Verificação Automatizada de Projetos Preventivos Contra Incêndio**

O setor de segurança contra incêndio tem sido lento na adoção dos avanços digitais, como o BIM. Essa lentidão deve-se principalmente à falta de conhecimento sobre BIM no setor de consultoria de incêndio, à necessidade de padronização de conceitos e de processos, à definição mais clara de papéis e de responsabilidades e à regulamentação de normas que facilitem o desenvolvimento de código executável para verificação de conformidade. Um dos principais obstáculos são os problemas de interoperabilidade que ocorrem entre as plataformas BIM e os softwares já existentes

para elaboração de projetos preventivos contra incêndio (Malagnino *et al.*, 2022; Siddiqui *et al.*, 2021)

Siddiqui *et al* (2021) apontam que a lenta adoção do BIM pela área de segurança contra incêndios se deve à falta de uma conexão contínua e consistente de informações relevantes ao longo de todo o ciclo de vida de um projeto (denominado no artigo em questão como *golden thread of information*) que atenda às necessidades das ferramentas e saídas de dados específicas do setor. Isso ocorre porque a área de segurança contra incêndio não possui um submodelo específico de domínio, como acontece nos modelos arquitônico e estrutural. É necessária a criação de um submodelo próprio para compartilhar informações essenciais de segurança contra incêndios de forma mais eficiente e coerente entre as partes interessadas.

No entanto, alguns avanços têm ocorrido. Softwares utilizados para elaboração de projetos de segurança contra incêndio agora são capazes de importar o formato IFC (arquivos BIM) para definir a geometria em análise. Além disso, recursos básicos de segurança contra incêndio e movimentação de ocupantes estão se tornando disponíveis como partes integrantes das populares plataformas BIM, como o *Path of Travel* e o *Social Distancing Toolkit* do Autodesk Revit (Malagnino *et al.*, 2022).

Além do mais, o uso de métodos de segurança contra incêndios integrados com aplicações BIM tem sido incentivado por organizações internacionais (Malagnino *et al.*, 2022).

Por exemplo, o relatório *Building a Safer Future*, publicado pelo governo do Reino Unido, em 2018, é uma revisão independente das regulamentações de segurança contra incêndios em edifícios, realizada por Judith Hackitt após o incêndio na Grenfell Tower, em 2017. O documento enfatiza a necessidade de informações digitais precisas e atualizadas sobre edifícios ao longo do ciclo de vida do projeto e em relação ao projeto contra incêndio e informa que um sistema BIM permitirá ao responsável garantir a precisão e a qualidade do projeto e da construção, que são cruciais para a segurança da construção (Hackitt, 2018).

Por fim, a Society of Fire Protection Engineers (SFPE) espera grandes mudanças na próxima década devido às iniciativas empreendidas para alcançar a padronização na segurança contra incêndios no âmbito digital com a utilização do BIM (Malagnino *et al.*, 2022).

### *2.1.5.1 Programa de Pesquisa e Inovação em Projetos Preventivos (PPCI) por meio da verificação automática de regras com o uso da Plataforma BIM no CBMSC*

O Programa de Pesquisa e Inovação em Projetos Preventivos (PPCI) (Fapesc, 2023), por meio da verificação automática de regras com o uso da Plataforma BIM no CBMSC, teve como objetivo analisar a automação da análise de PPCI usando a metodologia BIM (*Building Information Modeling*), visando criar regras automatizadas baseadas nas Instruções Normativas do CBMSC, com o uso de softwares como *Solibri* e *ArchiCAD*.

No relatório do Programa foram identificados três tipos principais de requisitos presentes nas INs do CBMSC: Requisitos Não Aplicáveis em projeto (NA), Requisitos Aplicáveis em projeto, mas Não Paramétricos (ANP) e Requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP).

**Requisitos Não Aplicáveis (NA):** esses requisitos, totalizando 511, são aqueles que não se aplicam diretamente ao projeto, como itens processuais, orientações aos fabricantes, conceituações ou dados não contidos em um modelo BIM. Essas informações, por serem conceituais ou procedimentais, não têm aplicação direta no projeto de prevenção e de segurança contra incêndio.

**Requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP):** esses, somando 2450, representam a maioria dos requisitos catalogados. São aqueles que possuem parâmetros objetivos e mensuráveis, podendo ser verificados automaticamente em um projeto. Esses requisitos são fundamentais para a implementação de verificações automatizadas, como a altura máxima de instalação de extintores de incêndio, que deve ser um valor quantificável e preciso.

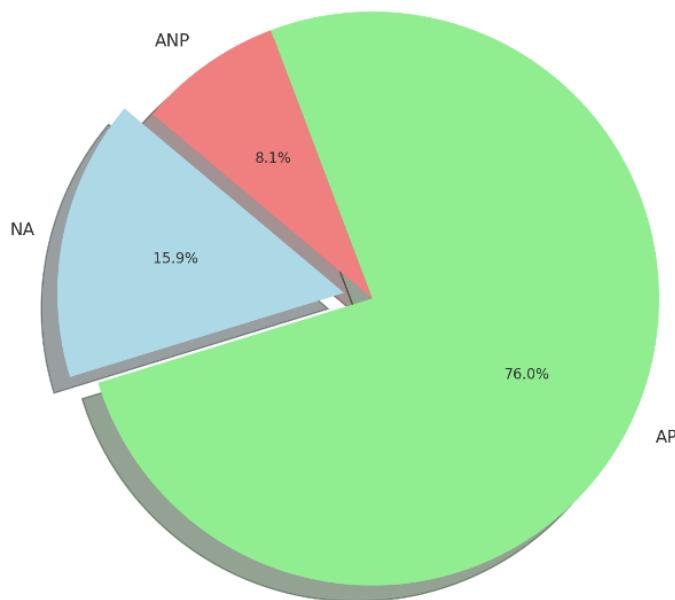
**Requisitos Aplicáveis em projeto, mas Não Paramétrico (ANP):** com um total de 262, esses requisitos são aplicáveis ao projeto, mas contêm um grau de subjetividade que impede a verificação automatizada. Um exemplo pode ser um requisito que fala sobre a localização de extintores de incêndio em locais de fácil acesso e visibilidade, mas sem especificar medidas ou parâmetros objetivos.

A distribuição desses requisitos nas INs, conforme ilustrada no Gráfico 1, mostra uma predominância clara dos requisitos APs, representando 76% do total. Isso indica uma forte tendência em direção à parametrização e à objetividade nos

requisitos das INs, facilitando a implementação de processos de verificação automatizada em projetos.

Gráfico 1 – Distribuição dos Requisitos NA, AP, ANP nas INs

Distribuição dos Requisitos NA, AP e ANP nas INs



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os requisitos NAs constituem 15.9% do total, refletindo a presença de informações processuais ou conceituais nas INs que não se traduzem diretamente em parâmetros de projeto. Já os requisitos ANPs compõem 8.1%, destacando a existência de requisitos que, apesar de aplicáveis, exigem julgamento ou interpretação subjetiva para sua aplicação em projetos específicos.

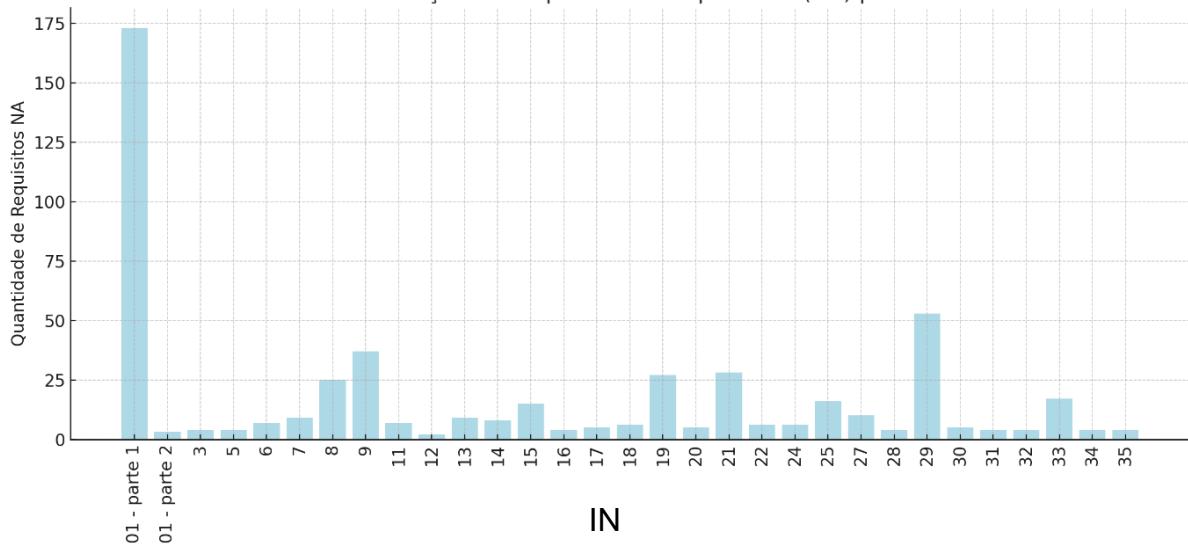
Essa análise revela a importância dos requisitos APs na automatização do processo de verificação de projetos. A prevalência desses requisitos sugere que a maior parte dos padrões e diretrizes pode ser integrada em ferramentas de verificação automatizada, melhorando a eficiência e a precisão na avaliação de projetos. Por outro lado, a presença de requisitos NA e ANP destaca a necessidade de um equilíbrio entre automatização e análise manual, em que a interpretação humana e o julgamento continuam a ser fundamentais em certas áreas.

O relatório do projeto " Programa de Pesquisa e Inovação em Projetos Preventivos (PPCI) por meio da verificação automática de regras com o uso da Plataforma BIM" (Fapesc, 2023), também analisou a distribuição dos requisitos em cada IN.

Os gráficos abaixo apresentam a distribuição dos diferentes tipos de requisitos – Não Aplicáveis (NA), Aplicáveis e Paramétricos (AP) e Aplicáveis em projeto, mas Não Paramétricos (ANP) – em cada uma das INs do CBMSC.

Gráfico 2 – Distribuição de Requisitos Não Aplicáveis (NA) por IN

Distribuição de Requisitos Não Aplicáveis (NA) por IN

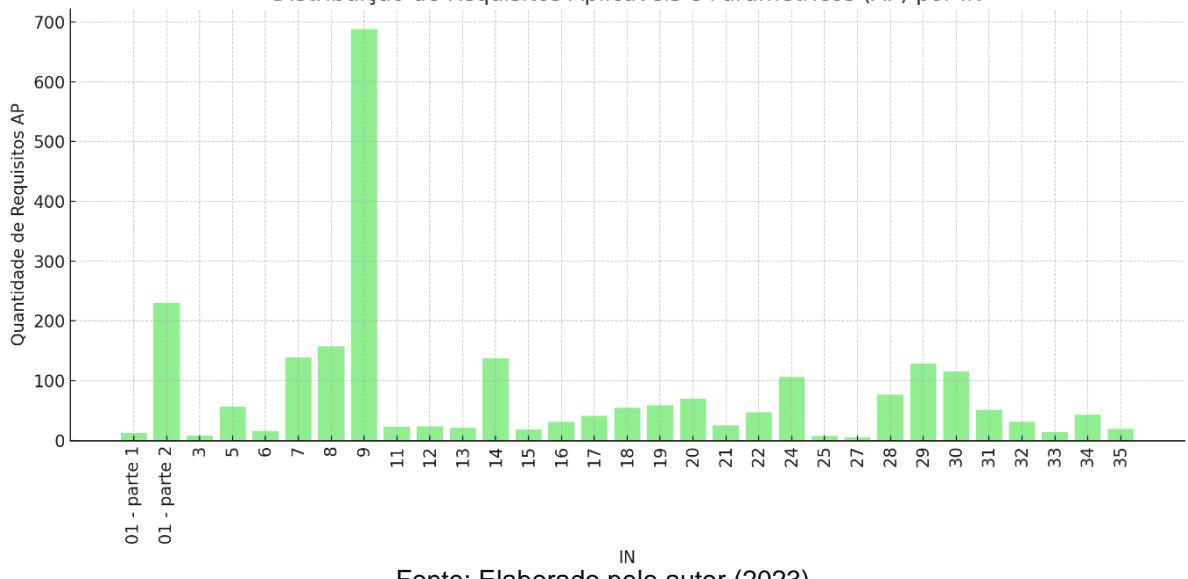


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O Gráfico 2 ilustra a quantidade de requisitos NAs em cada IN. Observa-se uma distribuição variada, com algumas INs como "01 - parte 1" e "29" apresentando uma quantidade significativa de requisitos NAs, indicando uma maior presença de aspectos conceituais ou procedimentais nessas INs.

Gráfico 3 – Distribuição de Requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP) por IN

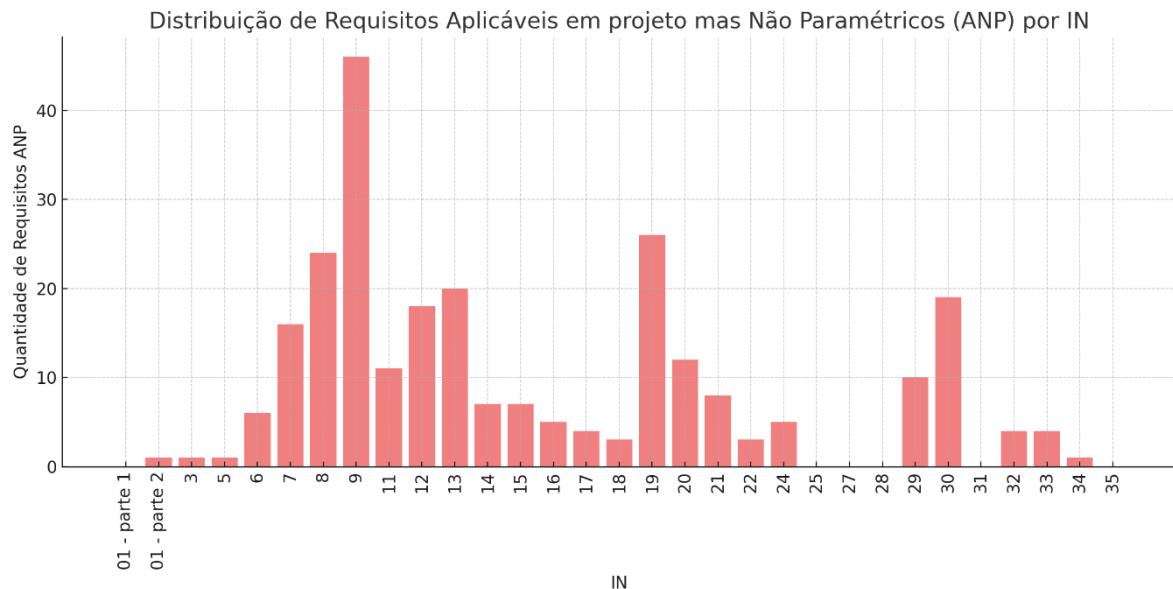
Distribuição de Requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP) por IN



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O Gráfico 3 mostra a distribuição de requisitos APs em cada IN. A IN "9" destaca-se com a maior quantidade de requisitos AP, sugerindo uma forte orientação para critérios claros e mensuráveis nessa IN.

Gráfico 4 – Distribuição de Requisitos Aplicáveis em projeto mas Não Paramétrico (ANP) por IN



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O Gráfico 4 exibe a quantidade de requisitos ANP por IN. As INs "9" e "13" possuem uma quantidade notável de requisitos ANPs, refletindo a existência de diretrizes que, apesar de relevantes para o projeto, não são completamente parametrizáveis.

O relatório ainda informou que o processo de criação de regras automatizadas no software *Solibri* envolve o uso de *templates*, que podem limitar a personalização e a adaptabilidade das regras. As limitações do software *Solibri*, particularmente na personalização de regras e na adequação para requisitos complexos, representam um obstáculo significativo. Muitos requisitos foram desenvolvidos para projetos elaborados com tecnologia CAD, o que cria incompatibilidades ao transitar para o BIM (Fapesc, 2023).

Sugeriu a implementação de um sistema de análise híbrido, combinando processos manuais e automatizados. A criação de uma biblioteca própria de objetos BIM, modelados especificamente para atender às necessidades de verificação, é essencial. A interação com profissionais de diferentes áreas, como projetistas de PPCI

e com programadores é crucial para aprimorar os objetos e o processo de verificação (Fapesc, 2023).

O relatório conclui que, apesar dos avanços, muitos desafios ainda precisam ser superados. A ampliação das ferramentas, a adaptação dos requisitos das INs ao contexto BIM e a colaboração multidisciplinar são fundamentais para o desenvolvimento da análise automatizada no CBMSC (Fapesc, 2023).

### **2.1.6 Operacionalização da Verificação Automática de Projetos**

Segundo Amor e Dimyadi (2021), é essencial, para a operacionalização da Verificação Automática de Projetos, a existência de um projeto construtivo digital em BIM.

Dessa maneira, faz-se necessário aprofundar-se nesse quesito.

#### *2.1.6.1 BIM (Building Information Modeling)*

A digitalização envolve a transição de sistemas analógicos baseados em documentos para processos digitais orientados por dados. Dessa forma, desde o início dos anos 1970, os sistemas CAD bidimensionais têm sido usados na representação digital de componentes de construção, utilizando softwares como RUCAP, Sonata, REFLEX, ArchiCAD e AutoCAD. A indústria da arquitetura e da construção enfrentou limitações com a tecnologia CAD, como uso inadequado de camadas, escalas incorretas, erros na interpretação da geometria, falta de detecção de conflitos, complexidade com múltiplas camadas, informações insuficientes sobre as dimensões do projeto e problemas de compatibilidade de versões (Malagnino et al., 2022; Nawari, 2018; Siddiqui et al., 2021).

No início dos anos 1990, as representações de modelos de construção começaram a adotar o paradigma BIM baseado em objetos. Desde então, o processo BIM tem transformado fundamentalmente o papel da computação na indústria da arquitetura, engenharia e construção. Em vez de utilizar um computador para auxiliar na criação de diversos desenhos que descrevem conjuntamente um edifício, o BIM introduziu o conceito de empregar o computador para desenvolver um banco de dados unificado e abrangente que represente toda a instalação, sendo capaz de gerar toda a documentação de construção necessária (Nawari, 2018).

À medida que a representação de projetos e planos de construção começou a se converter de simples desenhos 2D para modelos 3D, a verificação baseada em regras automatizadas se desenvolveu em um novo campo de pesquisa com a tecnologia BIM (Lee *et al.*, 2020).

Os aplicativos BIM nos setores de arquitetura, engenharia, construção e gerenciamento de instalações oferecem suporte a modelos de construção ricos em informações e interpretáveis por computador e automatizam algumas partes do processo de avaliação do projeto. O BIM reduz os erros de projeto e, eventualmente, melhora a qualidade geral do projeto (Lee *et al.*, 2016).

A introdução do conceito BIM, aliada à especificação de formato de dados abertos IFC para componentes de construção, estabeleceu um método padrão e amplamente aceito para a representação computacional de um edifício. A versão mais recente da especificação de modelo, IFC2x4 ou IFC 4, é atualmente reconhecida como padrão internacional ISO 16739. O IFC tornou-se o formato de dados padrão neutro para modelos de construção (Nawari, 2018).

O BIM transformou a indústria ao permitir a visualização e análise de projetos em ambientes virtuais, identificando conflitos e erros nas fases de projeto, construção, operação e manutenção, e facilitando a colaboração entre disciplinas. As ferramentas de autoria BIM substituem processos tradicionais de CAD e papel, criando um banco de dados de objetos de construção utilizados desde a concepção até a execução. O BIM envolve impulsionadores de negócios, processos automatizados e padrões abertos de informações, focando na sustentabilidade e na precisão das informações. Esse processo colaborativo e centralizado impacta positivamente clientes, projetistas, engenheiros, educadores, construtoras e gerentes de instalações, facilitando a comunicação de projetos e a aprovação de autoridades responsáveis pela verificação de regras (Malagnino *et al.*, 2022; Nawari, 2018; Siddiqui *et al.*, 2021).

Em outras palavras, o BIM possibilita um novo ambiente em que normas e regulamentações de construção podem ser verificados principalmente automaticamente por meio de aplicativos de software apropriados. Os modelos BIM são geralmente semanticamente ricos. No entanto, os benefícios completos do BIM materializar-se-ão apenas por meio do compartilhamento de informações contidas nos modelos entre organizações, setores e sistemas e software de gerenciamento de informações (Nawari, 2018).

O *Industry Foundation Classes* (IFC), mantido pela *buildingSMART International*, é a chave para a interoperabilidade entre diferentes ferramentas de criação de BIM de forma econômica e independente de formatos específicos de produtos ou software. Registrado como padrão internacional ISO 16739, o IFC padroniza, desambigua e garante consistência e abrangência nas descrições de projetos de construção. Portanto, o BIM tem potencial para impulsionar o desenvolvimento de sistemas automatizados ou semiautomatizados de verificação de conformidade de código para regulamentos de construção, melhorando a eficiência e precisão dos processos de verificação para projetistas e agências governamentais e locais (Nawari, 2018).

Embora todos os métodos de verificação automática de regras tenham seu próprio procedimento e especificações, a utilização do BIM é uma parte inseparável de todos os estudos. Em particular, como um padrão aberto, o IFC desempenha um papel fundamental na verificação de modelos BIM (Lee *et al.*, 2020).

As estatísticas mais recentes mostram que pelo menos 18 países ao redor do mundo estão exigindo o BIM para uso em projetos públicos, e essa aplicação da adoção do BIM continua a proliferar em outros países ao redor do mundo (Malagnino *et al.*, 2022).

#### *2.1.6.2 BIM e a Verificação Automática de regras*

A verificação de regras baseada em BIM é um processo de validação multidomínio que utiliza regras paramétricas, apresentando diversos conceitos de verificação de modelos. O *Clash Detection*, consiste na verificação de possíveis interferências em um modelo, principalmente entre os diversos domínios de um projetos (elétrico, estrutural, hidrossanitário, etc) e é a forma de validação mais empregada, apresentando a melhor relação esforço-benefício, uma vez que não exige, necessariamente, objetos com grande quantidade de informações (Getuli *et al.*, 2017).

O *Clash Detection* no BIM é uma das maneiras mais comuns de demonstrar os usos práticos e representa o nível mais básico de verificação automática de regras (Hjelseth, 2015).

Segundo Norén *et al.* (2018), os conflitos podem ser divididos em três grupos:

- a) *Hard Clashes* (Conflitos Rígidos), em que elementos de construção e instalações ocupam o mesmo volume no mundo físico;
- b) *Soft Clashes* (Conflitos Suaves), em que erros de projeto resultam na falta de espaço para outras partes, como acesso, proteção contra incêndio e isolamento;
- c) *Scheduling Clashes* (Conflitos de Programação), em que o plano de produção não está alinhado com a oferta de pessoal, equipamentos, compras etc.

Entretanto, a análise automatizada também pode ser usada para assegurar a qualidade do conteúdo informativo embutido nos objetos BIM e para controlar procedimentos de modelagem e a consistência interna dos modelos BIM. Isso permite extrair dados confiáveis para análises adicionais baseadas em BIM (ou seja, validação BIM). Ademais, os processos de verificação de regras paramétricas podem ser aplicados para validar a conformidade das propostas de projeto em relação às normas e regulamentos (ou seja, verificação de códigos baseada em BIM), comparando os parâmetros – geométricos e alfanuméricos – incorporados no modelo BIM com requisitos normativos traduzidos em conjuntos de regras paramétricas (Getuli *et al.*, 2017).

As plataformas de criação de BIM geralmente fornecem ferramentas para um *Clash Detection* preliminar. Outras ferramentas de verificação de modelos podem ser utilizadas para aplicações mais avançadas de verificação de regras, permitindo ao usuário personalizar conjuntos de regras paramétricas e definições de quantidade e de extração de informações (por exemplo, *Solibri Model Checker*). Essas ferramentas geralmente aplicam regras ao esquema de dados IFC que representa a solução de projeto a ser verificada e validada. Essa é uma das razões pelas quais a interoperabilidade de dados entre plataformas de criação de BIM e ferramentas BIM continua sendo um desafio significativo (Getuli *et al.*, 2017).

#### *2.1.6.3 IFC (Industry Foundation Classes)*

O formato de arquivo IFC fornece especificações abrangentes para informações sobre qualquer projeto de construção, representando um conjunto de definições de objetos padronizadas internacionalmente. O IFC é definido como uma extensão aberta para arquivos BIM que é trocada e compartilhada entre os diversos

participantes de um projeto de construção ou gestão de instalações. O conceito fundamental das trocas IFC é que elas são baseadas em objetos, que possuem geometria e propriedades, como nome, tamanho, localização, acabamentos e custo do elemento (Lee *et al.*, 2020; Macit Ilal; Günaydin, 2017; Nawari, 2018). É o formato mais utilizado em BIM e já se tornou um padrão internacional para troca de dados 3D entre diferentes ferramentas de software BIM (Shi *et al.*, 2019).

A especificação IFC é desenvolvida e mantida pela *BuildingSMART International* (anteriormente conhecida como Aliança Internacional para a Interoperabilidade [IAI]) (Arias *et al.*, 2022; Nawari, 2018).

A versão principal atual é o IFC4, lançado em 2013 e registrado como o padrão ISO 16739:2013. Por meio de diversos adendos e de uma correção técnica, foi revisado e transformado. O IFC4 passou por novas atualizações, e a versão mais recente, IFC4.3 RC2, foi publicada em novembro de 2020. Essa versão inclui suporte para novos domínios, como Portos e Hidrovias, Ferrovias, Rodovias e Túneis (Siddiqui *et al.*, 2021).

O IFC é proposto como um modelo de dados de alto nível, que tem a intenção de ser independente de quaisquer implementações de software; ou seja, deve ser estritamente neutro. Ele oferece uma estrutura de dados consistente para armazenar informações de construção, mas não impõe, nem mesmo permite, um método específico de implementá-lo em uma aplicação de software. Cabe inteiramente aos serviços de criação de software decidir o método de implementação (Nawari, 2018).

Na prática atual, a maioria das ferramentas de software de criação BIM oferece interfaces de usuário final com IFC na opção “Salvar como” ou “Exportar” do software, em que o padrão IFC pode ser listado como uma das opções para salvar ou exportar os dados do modelo, além dos formatos proprietários de dados (Nawari, 2018).

Segundo Nawari (2018), o modelo de dados IFC é um padrão aberto e gratuito que permite a interoperabilidade entre várias ferramentas de criação de BIM. Além disso, a representação de dados IFC possui as seguintes características benéficas:

- a) o esquema IFC é destinado a incluir todas as disciplinas da indústria arquitetura, engenharia e construção e todas as fases de um projeto de construção;
- b) o esquema IFC é definido usando EXPRESS, que é uma linguagem de esquema conceitual, certificada como padrão internacional oficial ISO 10303-11;

c) o esquema IFC também é reconhecido como padrão internacional ISO 16739.

#### *2.1.6.4 Conceitos relacionados ao BIM e ao IFC: MVD, IDM e IDS*

O primeiro é o *Model View Definition* (MVD), que fornece uma descrição técnica para uma troca de informações como um subconjunto do esquema IFC. Um MVD é um subconjunto do esquema IFC que especifica qual parte do IFC deve ser implementada de acordo com os requisitos específicos de troca de informações (Malagnino et al., 2022; Nawari, 2018).

Em outras palavras, para especificar as informações necessárias para realizar a verificação de conformidade com os códigos, é essencial desenvolver as Definições de Visualização do Modelo (MVDs). As MVDs determinam os dados necessários para um tipo específico de auditoria de conformidade e estabelecem um modelo BIM, permitindo uma verificação automática de conformidade mais eficiente (Nawari, 2018; Siddiqui et al., 2021).

Em 2022 a buildingSMART International publicou uma nova chamada de participação para desenvolver um *Model View Definition* (MVD) voltado à cobertura de aspectos de modelagem de segurança contra incêndio. Esse marco representa um ponto de virada, uma vez que a área de segurança contra incêndio tem adotado de maneira mais lenta os avanços digitais (Malagnino et al., 2022).

O segundo conceito é chamado de Manual de Entrega de Informações (*Information Delivery Manual* – IDM), que se concentra não apenas em capturar, mas também em especificar processos e fluxos de informações. Os requisitos são definidos em um IDM e são traduzidos em um MVD (Siddiqui et al., 2021).

O IDM serve como base para a definição da visualização do modelo, sendo, portanto, um passo crucial na fase de preparação do modelo BIM. Ao estabelecer diretrizes claras, por meio das MVDs e do IDM, os profissionais da indústria podem garantir que os modelos BIM estejam adequadamente estruturados para a verificação automática de conformidade (Nawari, 2018).

O último conceito, chamado *Information Delivery Specification* (IDS), está atualmente em andamento. O objetivo do projeto é definir requisitos de troca de dados legíveis por máquina com base em tecnologias padrão da indústria para melhorar os fluxos de trabalho de troca de dados (Siddiqui et al., 2021).

## 2.1.7 Sistemas de Verificação Automatizados de Regras no Mundo

Atualmente, existem várias plataformas de software desenvolvidas para dar suporte aos aspectos de implementação dos sistemas automáticos de verificação normas. Essas plataformas variam, em geral, na sua capacidade de automatizar o processo de verificação de projetos, na flexibilidade na modelagem de informações de projeto, na flexibilidade na codificação de normas de construção e conhecimento do domínio, na capacidade de fornecer relatórios amigáveis e visualização 3D e na capacidade de integração com outras aplicações (Nawari, 2018).

### 2.1.7.1 Sistemas Pré-BIM

Antes do surgimento do BIM, a verificação automatizada estava associada à capacidade de compartilhar informações sobre construção em uma forma personalizada, respaldada por uma abordagem baseada em conhecimento para projetos de engenharia compatíveis. A primeira tentativa bem-sucedida de representar disposições normativas foi a Formulação da Tabela de Decisão de Fenves, que se tornou o exemplo clássico de uma implementação bem-sucedida de sistemas de verificação automática de normas, como SASE, SICAD e SPEX, que poderiam verificar a conformidade com as especificações do AISC (*American Institute of Steel Construction*) e serviram a esse domínio até o final da década de 1980 (Amor; Dimyadi, 2021).

#### 2.1.7.1.1 Tabela de Decisão de Fenves

No setor da construção civil, o pioneirismo na automação da análise de projetos foi evidenciado pelo trabalho de Fenves em 1966. Ele explorou a utilização de tabelas de decisão para representar as especificações padrão do *American Institute of Steel Construction* (AISC). Fenves percebeu que as tabelas de decisão, uma técnica inovadora de programação e documentação, poderiam ser empregadas para retratar de maneira precisa e clara as disposições dos padrões de projeto (Macit Ilal; Günaydin, 2017; Nawari, 2018; Nawari; Alsaffar, 2017).

O objetivo da formulação da tabela de decisão era fornecer uma representação explícita das especificações, que poderia ser revisada e verificada pela AISC e,

posteriormente, usada como base para a elaboração de programas de computador (Fenves *et al.*, 1995).

O conceito teve aplicação prática quando, em 1969, houve a reestruturação das especificações do AISC, em que foram apresentadas como um conjunto interligado de tabelas de decisão (Macit Ilal; Günaydin, 2017; Nawari, 2018; Nawari; Alsaffar, 2017).

A Tabela de Decisão de Fenves tornou-se o exemplo clássico de implementação bem-sucedida de Sistemas de verificação Automatizados (Amor; Dimyadi, 2021) e pavimentou o caminho para o desenvolvimento de sistemas e métodos mais avançados (Nawari, 2018).

#### **2.1.7.1.2 SICAD – *Standards Interface for Computer Aided Design***

Mais tarde, outros pesquisadores buscaram aprimorar o trabalho de Fenves, como Lopez e sua equipe, que desenvolveram o sistema *Standards Interface for Computer Aided Design* (SICAD). O SICAD consistiu em um protótipo de software criado para demonstrar a validação de componentes projetados em conformidade com as normas de projeto (Macit Ilal; Günaydin, 2017; Nawari, 2018; Nawari; Alsaffar, 2017).

#### **2.1.7.2 Sistemas pós-BIM**

O BIM surgiu em 1994 e, desde então, facilitou o compartilhamento de informações de construção, facilitando o surgimento de aplicações para verificação de conformidade automática. Vários sistemas promissores de verificação automática de conformidade, como DesignCheck, na Austrália, CORENET, em Singapura, Solibri Model Checker, na Finlândia, Jotne EDM, na Noruega, e SMARTCodes, nos EUA, surgiram nesse período. Alguns sobreviveram até hoje, mas outros não resistiram ao tempo (Amor; Dimyadi, 2021).

Os sistemas pós-BIM serão descritos detalhadamente a seguir, entretanto a tabela 1 abaixo, resume as suas principais características.

Tabela 1 – Resumo dos sistemas pós-BIM

Sistema	País	Descrição Sucinta
CORENET	Singapura	Implementação completa de sistema de verificação de regras automáticas na construção civil, utilizando IA, tecnologias CAD e BIM.
Projeto Statsbygg	Noruega	Iniciativas para verificações automáticas de códigos, incluindo o uso de dRofus e Solibri Model Checker para requisitos espaciais e de acessibilidade.
SMARTCodes	Estados Unidos	Plataforma para traduzir regras de construção de linguagem natural para código computacional, focando em conservação de energia e segurança.
GSA	Estados Unidos	Desenvolvimento de verificações de regras para projetos de tribunais federais, utilizando BIM para automatizar guias de design.
DesignCheck	Austrália	Projeto para desenvolver um sistema de verificação automática de códigos de construção, utilizando o Express Data Manager (EDM) para flexibilidade no esquema de regras.
LicA	Portugal	Aplicativo para verificação automatizada de instalações e equipamentos hidráulicos conforme as normas portuguesas, desenvolvido na Universidade do Porto.
KBim	Coreia do Sul	Sistema para verificar a conformidade com a Korean Building Act, utilizando análise de linguagem natural e codificação de regras para avaliação BIM.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 2.1.7.2.1 CORENET – *Construction and Real Estate NETwork* (Singapura)

O CORENET, lançado, em 1995, pelo governo de Singapura, é uma das primeiras implementações completas de sistemas de verificação de regras automáticas na área da construção civil, foi baseado no uso de Inteligência Artificial e em tecnologias CAD (Eastman *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2020). O projeto inicial foi baseado em desenhos eletrônicos 2D, mas posteriormente o IFC foi usado (Macit Ilal; Günaydin, 2017).

Encomendado pela Autoridade de Construção de Singapura (BCA), o projeto foi dividido em três módulos: e-Submission, para envio de projetos e para aprovação de documentos; e-PlanCheck, para verificação automatizada de códigos; e e-Info, um repositório central de informações relacionadas à construção em Singapura. O principal objetivo do CORENET foi promover o compartilhamento rápido e contínuo de informações entre os envolvidos em projetos de construção, a fim de economizar tempo e custos e melhorar a qualidade. Para isso, o sistema automatizou a verificação das normas de construção, substituindo o tradicional processo manual baseado em papel (El-Diraby, 2019; Lee *et al.*, 2020).

O módulo e-PlanCheck integra as normas, inteligência artificial e tecnologias BIM. Iniciado em setembro de 2000, o módulo e-PlanCheck foca no modelo de construção 3D, em vez de representações 2D. Atualmente, verifica normas para aspectos específicos de arquitetura e serviços de construção, com planos de expansão futura (Lee *et al.*, 2016; Nawari, 2018).

O E-PlanCheck pode gerar resultados nos formatos de documento populares, como PDF, DOC ou HTML, apresentados em um site. Ele oferece referências às cláusulas dos códigos escritos, listando os elementos que não estão em conformidade. O módulo de relatórios possui capacidades gráficas (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012).

O CORENET utiliza o formato IFC para verificar modelos de construção. Entretanto, o IFC se concentra na geometria e não possui as informações necessárias para o processo de conformidade com códigos. Para complementar as capacidades limitadas do IFC, foi desenvolvida a plataforma FORNAX (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012).

A plataforma FORNAX é uma biblioteca de objetos programada na linguagem C++. Cada objeto FORNAX contém regras codificadas que se avaliam automaticamente (Lee *et al.*, 2016; Macit Ilal; Günaydin, 2017).

O CORENET, incluindo a plataforma Fornax, foi desenvolvido pela novaCITYNETS (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012; Eastman *et al.*, 2009; El-Diraby, 2019; Nawari, 2018), uma empresa com sede em Cingapura, especializada em soluções de TI para o setor de construção civil. De acordo com os dados fornecidos pelo desenvolvedor (Nova-Hub, 2023), a implementação do CORENET resultou em:

- a) redução de 80% no tempo total necessário para obter autorizações e licenças relacionadas à construção;
- b) diminuição de 73% no número de formulários de inscrição, passando de 845 (físicos) para 231 (eletrônicos);
- c) economia anual de US\$ 150 milhões em despesas operacionais;
- d) economia estimada de US\$ 1 bilhão por ano em riscos de investimento e custos de financiamento de capital.

Inicialmente, o CORENET enfrentou desafios devido ao uso de desenhos 2D em vez de modelos 3D, falta de flexibilidade para lidar com erros nos projetos, aplicabilidade limitada aos regulamentos, disputas sobre a propriedade das aplicações e eficiência e precisão acumulativas do aplicativo (Lee *et al.*, 2020), entretanto, ao

longo dos anos o sistema foi evoluindo e há uma nova geração, chamada de CORENET-X sendo desenvolvida (Amor; Dimyadi, 2021).

Liderados pela Autoridade de Construção (BCA), Autoridade de Reabilitação Urbana (URA) de Singapura, o CORENET X está sendo desenvolvido em estreita colaboração com outras agências reguladoras e profissionais, líderes da construção civil, além de empresas, associações e câmaras comerciais. A implementação está prevista para o final de 2023 e uma extensão específica de IFC está sendo desenvolvida para atender as necessidades locais, a IFC-SG (Singapura, 2023).

Nessa nova geração, as agências revisarão coletivamente o projeto enviado e fornecerão uma resposta consolidada aos responsáveis. Segundo o governo de Singapura, esse processo de submissão integrado fornece uma experiência de balcão única, melhorando a governança regulatória e a sinergia entre 16 agências governamentais de nove ministérios diferentes envolvidos no processo ((Singapura, 2023)).

#### 2.1.7.2.2 Projeto Statsbygg (Noruega)

A Noruega realizou vários projetos para verificações automáticas de códigos. O e-PlanCheck da CORENET foi adotado e testado no projeto habitacional *Munkerud*, do *Selvaag Group*, e no projeto do Hospital Universitário de Akershus. O projeto HITOS (*Tromsø University College*), conduzido pela Statsbygg (Diretoria Norueguesa de Construção Pública e Patrimônio), realizou verificações de requisitos espaciais e de acessibilidade usando o software *dRofus* e o *Solibri Model Checker* (SMC), por meio do projeto Hitos (Eastman et al., 2009; Lee et al., 2016; Martins; Monteiro, 2013).

Iniciado em 2000, o Projeto Statsbygg buscava melhorar serviços públicos e a competitividade industrial, por meio da padronização nacional em propostas de zoneamento e de aplicações de construção. Composto por três módulos: informação, zoneamento e construção. O seu foco principal estava concentrado nas questões de classificação, terminologia e padronização de verificação de regras na construção em nível internacional (Malsane et al., 2015; Martins; Monteiro, 2013).

O módulo de informação armazena e distribui documentos sobre propostas de zoneamento e processos de aplicação de construção, reunindo informações publicadas por 433 entidades governamentais locais diferentes, e disponibilizando-as online. O módulo de zoneamento é utilizado para aprovação de zoneamento,

facilitando a comunicação entre autoridades e desenvolvedores, enviando solicitações de aprovação de zoneamento para verificação do governo local. O módulo de construção serve para enviar projetos de construção ao sistema, usando o modelo de construção IFC (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012).

O projeto HITOS, uma das iniciativas mais promissoras do Projeto *Statsbygg*, utilizou experiências aprendidas do CORENET e examinou dois tipos diferentes de normas de verificação: espaciais e de acessibilidade. O primeiro tratava da verificação de regras espaciais, utilizando o *dRofus* como sistema baseado em regras. O *dRofus* atua como um banco de dados para gerenciar programas arquitetônicos, requisitos funcionais técnicos e equipamentos desde o planejamento inicial. O *dRofus* não requer interpretação de regras, pois é uma aplicação dedicada com regras pré-carregadas, fornecendo relatórios do programa espacial necessário junto com a área real do espaço. Os projetistas podem ver a diferença e corrigir espaços problemáticos (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012; Eastman *et al.*, 2009; Malsane *et al.*, 2015; Martins; Monteiro, 2013).

A segunda verificação foi relativa à acessibilidade e utilizou *Solibri Model Checker*. Algumas regras foram desenvolvidas especificamente para este projeto e cofinanciadas pela *Skanska Finland* e *Statsbygg Noruega* (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012; Eastman *et al.*, 2009; Malsane *et al.*, 2015; Martins; Monteiro, 2013).

A *Statsbygg* lançou o “Manual BIM Norueguês 1.0” em 2008 para padronizar os requisitos dos projetos BIM, e a versão atual é chamada SIMBA 2.1. O SIMBA consiste em diretrizes e padrões para projetos gerenciados pela agência, enfatizando que todos os requisitos verificáveis automaticamente devem ser assim verificados. Desde 2010, todos os projetos da *Statsbygg* adotam o formato IFC aberto para todo o ciclo de construção e operação (Keleryté, 2022; Tomczak, 2022).

#### 2.1.7.2.3 SmartCodes (Estados Unidos)

O projeto *SMARTcodes*, liderado pelo *International Code Council* (ICC) dos EUA, desenvolveu uma plataforma que traduzia regras de linguagem natural escritas em código de computador. Essa abordagem semântica propunha marcar códigos de construção, gerando dinamicamente regras em formato computável. O projeto incluía um protocolo e um software (*SMARTcodes Builder*) que criava versões inteligentes (representações marcadas) dos textos de código de construção, refletindo códigos de

construção com esquema e *tags* utilizadas por aplicativos de verificação de conformidade automatizados. Todas as regras codificadas seguiam um mapeamento compatível com os arquivos IFC (Lee *et al.*, 2016; Macit Ilal; Günaydin, 2017).

Os *SMARTcodes* eram modelados com base em uma abordagem chamada RASE (Requisito, Aplicabilidade, Seleção, Exceção). As regras do código de construção eram compostas por: requisito (as condições que devem ser satisfeitas por uma ou mais características do edifício); aplicabilidade (a qual aspecto do edifício os requisitos se aplicavam); seleção (instanciação da regra para casos específicos entre elementos aplicáveis); exceção (em que a verificação não era necessária/aplicável) (Amor; Dimyadi, 2021; El-Diraby, 2019).

O principal objetivo da plataforma eram as regras de conservação de energia, com foco em janelas, portas, vedação do envelope do edifício e critérios de isolamento. A Administração de Serviços Gerais dos EUA (GSA) apoiou trabalhos adicionais na verificação de regras para validação de circulação e segurança em tribunais. Além disso, nos EUA, o *AutoCodes* da *Fiatech* foi a iniciativa de simplificação regulatória em sua extensa arquitetura para construção inteligente (El-Diraby, 2019).

O projeto *SMARTcodes* foi encerrado em 2010. No entanto, o conceito e o método de marcação desenvolvidos para esse projeto são atualmente mantidos pela AEC3 (Macit Ilal; Günaydin, 2017).

#### 2.1.7.2.4 GSA (Estados Unidos)

A Administração de Serviços Gerais dos EUA (GSA) e os Tribunais dos EUA apoiaram o desenvolvimento de verificações de regras de projeto para tribunais federais dos Estados Unidos, que é um exemplo inicial de uma verificação de regras aplicada a guias de projeto automatizados. Nesse projeto, uma equipe de pesquisa do Instituto de Tecnologia da Geórgia desenvolveu um aplicativo BIM que automatizava verificações de regras com base no Guia de Design dos Tribunais, produzindo um protótipo de uma ferramenta de avaliação para arquitetos e clientes. A equipe parametrizou as regras de circulação e segurança para desenvolver regras paramétricas executáveis em um *plug-in* SMC. A ferramenta de avaliação fornecia resultados de avaliação de projeto que incluíam feedback e dados adequados para os designers (Lee *et al.*, 2016; Macit Ilal; Günaydin, 2017).

### 2.1.7.2.5 *DesignCheck* (Austrália)

O Centro de Pesquisa Cooperativa para Inovação em Construção da Austrália financiou o projeto *DesignCheck*, realizado pela Universidade de Sydney e pela *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO). O objetivo era desenvolver um sistema automatizado de verificação de códigos para a Austrália, que permitiria “uma avaliação rápida e fácil da conformidade com os códigos de construção e ajudaria os designers a identificar problemas em potencial precocemente” (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012).

Em vez de começar do zero, a equipe do *DesignCheck* optou por aproveitar os sistemas baseados em regras já existentes e aprimorá-los de acordo com as necessidades do projeto. Dessa forma, o grupo do projeto *DesignCheck* iniciou sua jornada analisando duas plataformas comerciais baseadas em regras: o *Express Data Manager* (EDM) e o *Solibri Model Checker*. Após essa análise, a equipe decidiu prosseguir com o projeto usando principalmente o EDM, uma vez que ele oferecia a opção de modificar o esquema de regras de maneira flexível, recurso que o SMC não possuía (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012).

Para a avaliação inicial de viabilidade, a Norma Australiana 1428.1, “*Design for access and mobility*” foi codificada com esquemas de regras do EDM (Lee et al., 2016; Macit Ilal; Günaydin, 2017).

Para a execução da verificação automática, os projetos de construção, no formato IFC, eram importados para o banco de dados EDM e transformados no modelo interno do *DesignCheck* (Malsane et al., 2015).

O *DesignCheck* não foi usado comercialmente e não há planos para desenvolvimento adicional (Dimyadi; Amor, 2013).

### 2.1.7.2.6 *LicA* (Portugal)

O *LicA* é um aplicativo desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), dedicado à verificação automatizada de instalações e de equipamentos hidráulicos de acordo com as normas de Portugal (Kim, 2017; Martins; Monteiro, 2013).

Desenvolvido do zero, com base na regulamentação, o aplicativo possui um escopo bastante específico. Durante o processo, cada código e especificação foi

submetido a uma análise para avaliar a relevância da modelagem e estabelecer a metodologia de informatização. O objetivo declarado era manter um escopo limitado para a aplicação, demonstrando a viabilidade de utilizar modelos de aspectos para atender demandas específicas em um ambiente interoperável sustentado em BIM (Martins; Monteiro, 2013).

O aplicativo *LicA* consiste em dois sistemas independentes, o banco de dados e a interface do usuário. O banco de dados contém todas as especificações de código e rotinas necessárias para realizar a análise hidráulica e a verificação de código. A interface do usuário inclui definição de modelo e funções de navegação. Também pode ser usado para exibir esquemas de rede e tabelas de resultados ((Martins; Monteiro, 2013).

Na versão atual, o *LicA* não oferece suporte ao formato de dados IFC. Essa é a principal desvantagem do aplicativo de software para auditoria de conformidade com o código. A falta de suporte ao formato IFC limita a interoperabilidade do *LicA* com outras ferramentas e processos BIM, o que pode reduzir sua eficácia e sua aplicabilidade em projetos de construção que utilizam a Modelagem de Informação da Construção (Nawari, 2018).

#### 2.1.7.2.7 *KBim* (Coréia do Sul)

Impulsionado pelos avanços em BIM e no desenvolvimento do padrão IFC, o governo da Coreia do Sul lançou, em 2013, em colaboração com *buildingSMART Korea* e com várias instituições de pesquisa locais. O objetivo é permitir a verificação da conformidade com a *Korean Building Act*, que é a legislação que governa todos os trabalhos de construção na Coreia do Sul (Amor; Dimyadi, 2021; Solihin et al., 2020).

O projeto *KBim* engloba três componentes principais. O primeiro, *KBimLogic*, é uma ferramenta que facilita a análise de linguagem natural e a extração de informações relevantes das normas, empregando objetos, propriedades e métodos de alto nível armazenados em bancos de dados SQL. Em seguida, o *KBimCode* transforma as regras estruturadas obtidas com o *KBimLogic* em código executável por computadores. Por último, o *KBimAssess-lite* é responsável pela verificação e pela validação do código gerado (Amor; Dimyadi, 2021; Sydora; Stroulia, 2020).

O *KBimCode* é gerenciado em uma interface de banco de dados baseada na web. Uma aplicação chamada “*KBimLogic*” é implementada para gerar e gerenciar o

*KBimCode*. O *KBimCode* exportado pode ser usado em uma ferramenta de avaliação BIM, chamada “*KBimAssess*”, para verificar designs em relação aos requisitos de licença de construção na Coreia (Lee *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2020).

#### 2.1.7.3 Plataformas para execução de Verificação Automatizada de Projetos

De acordo com Eastman *et al.* (2009), diversas plataformas foram desenvolvidas para apoiar a implementação de sistemas de verificação de regras aplicáveis aos dados de modelos contidos em arquivos IFC. Entre os programas mais maduros, Eastman *et al.* (2009), destaca-se:

- a) *Solibri Model Checker* (SMC);
- b) *Fornax*;
- c) *Jotne EDModelChecker* (EDM).

Segundo Solihin *et al.* (2020), existem várias outras plataformas que podem executar verificações de regras automatizadas: *Revit Model Review*, *SMARTreview's Automated Plan Review* (APR) e *BIM Assure*.

Os logotipos comerciais das plataformas citadas, encontra-se na figura 1, a seguir.

Figura 1 – Conjunto de logotipos das plataformas que executam verificação automatizada



Figura 1 – Elaborado pelo autor (2023).

As plataformas que executam verificação automatizada serão descritas detalhadamente adiante. A tabela 2, a seguir, descreve sucintamente as principais características de cada uma.

Tabela 2 – Resumo das plataformas que executam verificação automatizada.

<b>Nome da Plataforma</b>	<b>Descrição</b>
Solibri Model Checker (SMC)	Software independente para verificação automática de código baseada em BIM, utiliza IFC para detectar conflitos e violações de regras.
Fornax	Biblioteca de objetos C++ que expande dados IFC para assistência na verificação automatizada de normas de construção.
Jotne EDMModelChecker (EDM)	Banco de dados de objetos e ferramentas para gerenciar dados complexos de produtos, suporta desenvolvimento aberto e valida dados IFC.
Revit Model Review	Plataforma de revisão de modelos que realiza verificações de regras automatizadas diretamente dentro do ambiente Revit.
SMARTreview's Automated Plan Review (APR)	Complemento para Revit que suporta partes do International Building Code, focado na verificação automática de conformidade.
BIM Assure	Ferramenta para verificação de conformidade que facilita o acesso aos dados BIM e serviços relacionados, melhorando a eficiência do processo de verificação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 2.1.7.3.1 Solibri Model Checker

O *Solibri Model Checker* (SMC) é um software independente amplamente utilizado para verificação automática de código baseada em BIM. Ele detecta elementos conflitantes ou que violam regras definidas pelo usuário em modelos BIM. O SMC utiliza o esquema IFC para ler modelos BIM e inclui modelos de regras personalizáveis, permitindo combinar diferentes modelos de regras e aumentar a eficácia do aplicativo na verificação (Arantes et al., 2022; Nawari, 2018).

A plataforma, baseada em Java, lê o modelo IFC e mapeia-o em uma estrutura interna, facilitando o acesso e o processamento da verificação de regras. Inclui várias funções integradas para visualização automática de problemas de verificação, verificação de acessibilidade, verificação de vários espaços no edifício e verificação

da distância do caminho de saída do código de incêndio (Lee *et al.*, 2020; Nawari, 2018).

A interface do usuário é simples e não exige habilidades de programação, exceto para criar ou modificar modelos de regras. O SMC inclui um conjunto de 300 regras pré-formatadas, permitindo personalizações pelo usuário, mas a criação de novas regras requer conhecimento em engenharia de software Java e compreensão do ambiente e da estrutura de dados do SMC (Arantes *et al.*, 2022; Ghannad *et al.*, 2019; Nawari, 2018).

O aplicativo gera relatórios em diversas extensões de arquivos sobre regras cumpridas e violadas, destacando as não conformidades no modelo BIM e facilitando a identificação e a compreensão das violações. O SMC beneficia-se de um poderoso mecanismo de modelagem 3D e da capacidade de ler diretamente arquivos IFC, proporcionando um relatório visual claro de infrações de regras para o usuário. (Arantes *et al.*, 2022; Malsane *et al.*, 2015; Nawari, 2018).

#### 2.1.7.3.2 *Fornax*

*Fornax* é uma biblioteca de objetos C++ que extrai novos dados e gera visualizações ampliadas dos dados IFC para auxiliar na verificação automatizada das normas de construção. Os objetos *Fornax* fornecem regras para autoavaliação, proporcionando boa modularidade para realizar verificações automáticas nos modelos de construção, em conformidade com as normas de construção (Nawari, 2018).

O *Fornax* é implementado para ampliar as informações encontradas no IFC, representando a geometria de construções em 3D e as informações semânticas, como relacionamentos e comportamentos dos elementos do edifício. Esses objetos são encapsulamentos de componentes simples de construção, permitindo que os programadores não precisem desenvolver algoritmos separados para todos os cálculos necessários (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012).

É possível utilizar objetos *Fornax* e suas funções e atributos complementares para verificar os requisitos de diversos códigos, tornando a tradução de um código escrito em um processo de computador mais simples (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012).

O *Fornax* complementa o IFC, aproveitando informações básicas de objetos e geometria associada do modelo IFC. Por meio de operações geométricas, extrai

informações espaciais, de rede e restrições de projeto, adicionando-as ao seu repositório. As informações espaciais indicam a posição relativa de outros objetos, as informações de rede facilitam a criação de trajetos e avaliação das conexões entre espaços, e as restrições de projeto definem a especificação dos objetos (Balaban; Kilimci; Çağdaş, 2012).

Ao facilitar o acesso aos dados BIM e aos serviços relacionados, o *Fornax* reduz o esforço no desenvolvimento de verificações automáticas de regras. Por exemplo, 281 regras específicas foram reescritas com *Fornax* em cerca de seis meses, em comparação com mais de dois anos para 167 regras, que começaram sem uma plataforma bem projetada (Solihin, 2016).

O *Fornax* é adequado para lidar com regras complexas, como códigos de construção, que geralmente demandam tempo e esforço significativos. Utilizá-lo como plataforma economiza tempo e esforço em comparação com o desenvolvimento a partir do zero. Porém, isso também limita seu uso para regras mais simples, diferentemente do *Solibri Model Checker*, que lida com conjuntos de regras mais simples e bem definidas, principalmente para verificação de qualidade (Solihin, 2016).

#### 2.1.7.3.3 *Jotne EDMModelChecker (EDM)*

O Express Data Manager (EDM) foi desenvolvido pela *Jotne EPM Technology* na Noruega em 1998 como um banco de dados de objetos e ferramentas para gerenciar modelos de dados de produtos complexos. Originalmente criado como uma ferramenta de colaboração, o EDM incorporou módulos adicionais, como o *EDMmodelChecker*, que suporta desenvolvimento aberto com a linguagem de modelagem EXPRESS e valida conjuntos de dados conforme as regras e restrições dos esquemas EXPRESS (Dimyadi; Amor, 2013; Kamal, 2020; Nawari, 2018).

O EDM atua em domínios de interoperabilidade, oferecendo soluções para questões comerciais relacionadas à troca, integração e arquivamento de dados. Ele utiliza a linguagem EXPRESS, a mesma do esquema do modelo IFC, e é compatível com plataformas de desenvolvimento C, C++, Java e .NET, permitindo acesso a mapeamentos, consultas e regras (Kamal, 2020; Kater; Ruschel, 2014; Nawari, 2018).

O EDM também pode ser usado para criar tradutores/conversores de dados de um formato para outro, em que um deles pode ser, mas não necessariamente, um padrão internacional. Isso torna o EDM aberto a extensões avançadas do usuário. A

Jotne EPM também oferece mecanismos de relatórios para relatórios textuais e outros serviços relacionados (Kamal, 2020; Nawari, 2018).

#### *2.1.7.4 Outras abordagens para verificação automatizada*

Nos últimos anos, diversos sistemas comerciais de verificação automática de conformidade foram lançados para atender à indústria. A seguir são listadas novas abordagens para verificação automatizada.

##### *2.1.7.4.1 Complementos (add-ons) para softwares de autoria BIM*

O *SMARTreview™ APR™* é um complemento para a ferramenta de autoria BIM da Autodesk, o *Revit*, que suporta partes do *International Building Code* (Código Internacional de Construção). A ferramenta funciona com a plataforma Autodesk Revit e, também, possui uma interface web. No entanto, o *SMARTreview APR* foi desenvolvido especificamente para funcionar com o Autodesk Revit, não permite personalização de regras e utiliza um esquema interno proprietário para o mecanismo de verificação de regras (Amor; Dimyadi, 2021; Nawari, 2020).

Em resumo, o programa *SMARTreview APR* é um *plug-in* construído para verificar o *Revitmodel* e identificar as seções compatíveis e não conformes do código como um relatório. Embora esse *plug-in* tenha um conceito interessante, ele é limitado aos usuários do *Revit*. Não é capaz de suportar diferentes domínios de projeto de engenharia e abrir padrões neutros (Messaoudi; Nawari; Srinivasan, 2019).

Outro complemento comercial para o *Revit* voltado à verificação automática de conformidade é o *UpCodes AI*, que também suporta partes do *International Building Code* e vários outros códigos para diferentes jurisdições nos EUA. Esses complementos fornecem aos projetistas orientações de conformidade dentro do ambiente de software *Revit*, facilitando o processo de verificação e aumentando a eficiência ao longo do projeto (Amor; Dimyadi, 2021).

##### *2.1.7.4.2 Abordagens modernas para automação da verificação de conformidade*

Outro avanço comercial recente é o *ACABIM*, realizado pela *Compliance Audit Systems Limited*, na Nova Zelândia, em parceria com a ala comercial da Universidade de Auckland. O *ACABIM* foi aplicado em um projeto piloto com autorizações

vabilizadas pelo BIM e em um estudo de caso por uma Autoridade de Autorização de Construção (BCA), na Nova Zelândia. A filosofia por trás desse sistema independente consiste em um método guiado por humanos e orientado por fluxo de trabalho para automatizar tarefas de conformidade computacionais que são tediosas, permitindo que especialistas humanos se concentrem na análise de projetos baseados em desempenho, mais qualitativos e que demandem algum conhecimento tácito (Amor; Dimyadi, 2021; Lee *et al.*, 2020).

A implementação inicial incorporou a tradução de um conjunto central de documentos de conformidade do Código de Construção da Nova Zelândia, incluindo disposições relacionadas à segurança contra incêndios, ventilação, instalações sanitárias e eficiência energética, para atender aos requisitos de consentimento prioritários (Lee *et al.*, 2020).

O ACABIM é totalmente compatível com os padrões abertos e utiliza o *OpenBIM* para compartilhar informações de construção e o *LegalRuleML* para representar conhecimentos normativos. O fluxo de trabalho do ACABIM, guiado por humanos, emprega uma linguagem de domínio específico, capaz de consultar dados de várias fontes e realizar cálculos com esses dados. O benefício dessa abordagem “caixa branca” guiada por humanos é que o mapeamento de objetos e atributos é especificado e predefinido por especialistas humanos sob a forma de fluxos de trabalho executáveis, que podem ser conectados e salvos para verificações de conformidade repetidas (Amor; Dimyadi, 2021; Lee *et al.*, 2020).

Esse método oferece efetivamente um meio de automatizar a execução de listas de verificação e fluxogramas que a BCA e os profissionais da indústria já utilizam em processos manuais de verificação de conformidade. A abordagem também permite a entrada adicional de informações por humanos e interações com processos de simulação que aprimoram os processos de verificação de conformidade (Amor; Dimyadi, 2021).

Assim como em muitos outros países, o governo da Nova Zelândia forneceu apoio necessário para informatizar diversos documentos prioritários no Código de Construção da Nova Zelândia, utilizando o *LegalRuleML*, uma iniciativa aberta que pode ser aproveitada por ferramentas como o ACABIM (Amor; Dimyadi, 2021).

Uma nova abordagem é o sistema de verificação automática de conformidade baseado em processamento de linguagem natural semântica (NLP), sendo o primeiro sistema que não apenas automatiza o processo de raciocínio de conformidade que

verifica um projeto de construção com os requisitos do código de construção, mas, também, automatiza a extração e a codificação de informações regulatórias de documentos textuais em uma representação computável (Lee *et al.*, 2020).

#### *2.1.7.5 Desafios para a implementação da Análise Automatizada*

A seguir, são listados os desafios para implementação da análise automatizada, de acordo com a literatura estudada.

##### **2.1.7.5.1 Caixa Preta, Caixa Cinza e Caixa Branca**

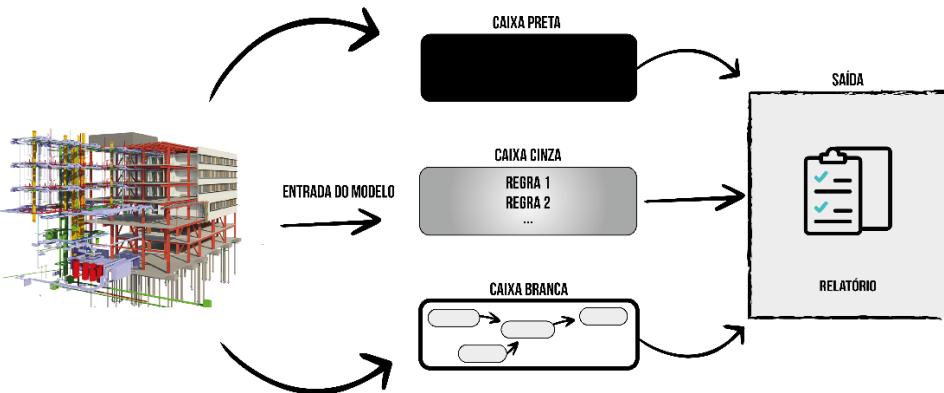
A maioria dos esforços em verificação de conformidade de código baseia-se em esquemas proprietários, regras específicas de domínio ou codificadas, que podem ter sucesso em aplicações específicas, mas enfrentam limitações devido ao alto custo de manutenção, dificuldade de modificação e ausência de um *framework* generalizado para modelagem. Essas abordagens são comumente classificadas como sistemas de caixa preta, de caixa cinza e de caixa branca (Amor; Dimyadi, 2021; Nawari, 2018; 2020).

A maior parte das ferramentas atuais emprega mecanismos baseados em regras movidas por inteligência artificial, regras codificadas ou proprietárias, restringindo o acesso do usuário às regras de verificação. Esses sistemas de caixa preta apresentam limitações de personalização e acessibilidade ao esquema interno (Nawari, 2020).

A falta de transparência também é uma limitação dos sistemas codificados, impedindo que especialistas de domínio verifiquem ou validem com precisão o processo de verificação (Ghannad *et al.*, 2019).

Em contraste, sistemas de verificação de conformidade de código semiautomatizados, como o *Solibri Model Checker*, proporcionam maior personalização e permitem adicionar regras usando JAVA ou linguagens similares, sendo classificados como sistemas de caixa cinza e de caixa branca, dependendo do nível de personalização. O conceito desses métodos é ilustrado na figura 2, a seguir (Amor; Dimyadi, 2021; Nawari, 2018).

Figura 2 – Conceito de Caixa Preta, de Caixa Cinza e de Caixa Branca



Fonte: Adaptado de Nawari (2020).

#### 2.1.7.5.2 Especificidade extrema

Os métodos de verificação automatizada de conformidade de regras em projetos de construção são baseados em estruturas proprietárias, domínios específicos ou expressões de regras codificadas. Embora eficazes em algumas implementações, apresentam desvantagens, como custos elevados de manutenção, dificuldade de modificação e falta de um arcabouço generalizado para regras e para modelagem de regulamentos adaptáveis a diferentes domínios. Além disso, esses métodos não oferecem suporte a padrões de dados abertos e enfrentam dificuldades ao lidar com regulamentações de construção subjetivas e ambíguas. Como resultado, muitos desses sistemas não se provaram resilientes diante dos desafios das aplicações práticas na indústria (Nawari, 2020).

#### 2.1.7.5.3 Complexidade das Normas

Os conjuntos de normas geralmente são de natureza genérica e predefinidos em um ambiente de caixa preta, o que pode ou não refletir um conjunto completo de regras necessárias para seu propósito específico. Além disso, os usuários costumam ter limitações na personalização das regras predefinidas para atender às suas próprias necessidades (Ghannad et al., 2019).

É preciso melhorias significativas para abranger uma ampla gama de regras, incluindo definições abstratas e diversos requisitos de projeto, independentemente dos tipos de regras, origens e domínios. O desafio aumenta devido à variação de

códigos e normas entre países e regiões, além das regras e regulamentações em constante mudança, na forma de atos e de emendas. A metodologia utilizada precisa ser constantemente atualizada para ser eficaz nos sistemas de verificação de regras (Lee *et al.*, 2020).

Uma das principais dificuldades relatadas para a implementação da análise automatizada é a tradução das informações do marco regulatório, apresentadas em texto, tabelas, desenhos, croquis e imagens, para expressões lógicas orientadas por computador, sem perder o sentido original (Soliman-Junior *et al.*, 2021).

Amor e Dimyadi (2021) citam a classificação das normas como um desafio, pois uma proporção significativa das cláusulas de uma norma dependem de classificações atribuídas a componentes para identificar informações específicas, como a função de uso de um cômodo. Existem mais de 70 sistemas de classificação, mas as autoridades esperam que os componentes BIM sejam classificados usando um ou dois sistemas aceitos nacionalmente. A falta de códigos de classificação ou o uso de um sistema não aceito interrompe o processo do Sistema de Verificação de Conformidade Automatizada.

O método mais eficaz para alcançar a execução informatizada de regulamentos e especificações na informática de construção é implementar linguagens de modelagem que tenham a capacidade de criar regulação e regras interpretáveis por computador, ou seja, regras que uma máquina possa ler e interpretar automaticamente. Atualmente, os pesquisadores estão estudando diferentes técnicas de modelagem para a geração de uma linguagem formal, ou seja, regras executáveis por computador a partir de regulamentos escritos em linguagem humana. (NAWARI, 2018)

#### 2.1.7.5.4 Interoperabilidade

No fluxo de trabalho BIM, as atividades do projeto são orientadas por modelos, o que exige a interoperabilidade entre projetistas, contratantes, clientes e fornecedores, por meio de formatos de dados idênticos. Esse desafio foi reconhecido desde a interconexão dos primeiros sistemas de banco de dados na década de 1970. A aplicação de sistemas de auditoria de conformidade de código automatizado requer que os modelos de construção baseados em objetos contenham informações corretas

para permitir a verificação automatizada das normas de construção (Amor; Dimyadi, 2021; Nawari, 2018).

#### 2.1.7.5.5 Qualidade do BIM e arquivos com informações suficientes

Os objetos BIM normalmente possuem diversos dados paramétricos e propriedades, como tipos e características de materiais e dimensões. Assim, os requisitos de um modelo de construção adequado para verificação de conformidade de código automatizada são mais rigorosos do que os de desenhos 3D ou 2D comuns. Profissionais que criam modelos de construção para essa finalidade devem prepará-los com informações necessárias em um esquema bem definido e acordado, além de em um nível de detalhe apropriado (Nawari, 2018).

A qualidade dos dados no modelo BIM, a ser verificado, precisa ser uniformemente alta para garantir que a verificação de conformidade automatizada possa ser realizada com confiança (Amor; Dimyadi, 2021).

#### 2.1.7.5.6 Diversas formas de modelagem

Existem várias abordagens para usar ferramentas BIM para modelar um edifício, e muitos modeladores vêm de experiências com CAD 2D e 3D. Isso resulta em modelos BIM com representações variadas para construções semelhantes. Essas abordagens também causam dificuldades para sistemas de verificação de conformidade automatizada, que esperam encontrar objetos de determinado tipo no modelo BIM (Amor; Dimyadi, 2021).

#### 2.1.7.5.7 Alto Custo

A criação de um modelo BIM completo e de alta qualidade é um custo a ser considerado, já que a verificação automatizada exige que todas as informações estejam no modelo BIM nos objetos, atributos e conjuntos de propriedades apropriados. Isso geralmente vai além das expectativas atuais dos modeladores BIM e das equipes de projeto (Amor; Dimyadi, 2021).

#### 2.1.7.5.8 Tradução das regras para um formato legível para o computador

Em particular, a conversão de regras de um formato legível por humanos para um formato legível por computador foi reconhecida como o principal desafio dessas metodologias (Lee *et al.*, 2020).

#### 2.1.7.6 Avanços e Conquistas na Verificação Automatizada

##### 2.1.7.6.1 Evolução do formato IFC

O formato IFC evoluiu abrangendo as principais necessidades centrais do setor. Atualmente, é possível extrair informações necessárias para que sistemas de verificação de conformidade, identifiquem as estruturas e relacionamentos exigidos pelas especificações das normas. Esse formato também permitem incluir informações adicionais no modelo, enquanto o Dicionário de Dados *buildingSMART* facilita o mapeamento de conceitos em códigos e padrões para BIM em diferentes idiomas (Amor; Dimyadi, 2021).

##### 2.1.7.6.2 Representação das normas prescritivas

As regras podem ser representadas em linguagem natural, notação formal ou em uma combinação de ambos. Um dos fatores mais fundamentais para o desenvolvimento bem-sucedido do processo de verificação de regras é uma formalização adequada dos aspectos multifacetados de normas, diretrizes e conhecimento jurídico geral em um formato legível por máquina. Para representar informações normativas, como regras computáveis para fins de verificação de conformidade, várias abordagens têm sido sugeridas por pesquisadores ao longo dos anos (Ghannad *et al.*, 2019).

Embora não haja consenso sobre uma única abordagem de representação do conhecimento para códigos e padrões, as várias representações em uso estão provando ser capazes de capturar completamente códigos e padrões prescritivos. As capacidades representacionais de idiomas que vão desde OWL até *LegalRuleML* foram aplicadas a conjuntos completos de códigos em várias normas nacionais (Amor; Dimyadi, 2021).

Ferramentas de tradução e validação desenvolvidas para converter regras expressas em uma linguagem natural em uma forma computável de padrão aberto podem ser reutilizadas em qualquer documento baseado em papel (Ghannad *et al.*, 2019).

#### 2.1.7.6.3 Sistemas de verificação automatizadas para normas prescritivas

As evidências de vários projetos de pesquisa mostram que, a combinação de modelos BIM com uma plataforma de verificação automatizada que contenha a representação computacional de normas prescritivas, é possível realizar uma verificação completa de conformidade (Amor; Dimyadi, 2021).

#### 2.1.7.7 *Pontos positivos da Análise Automatizada*

##### 2.1.7.7.1 Qualidade e transparência das normas traduzidas

A criação de versões de códigos e padrões interpretáveis por computador tem o potencial de melhorar significativamente a qualidade das normas. Trabalhos iniciais sobre a informatização de regras identificaram os benefícios em garantir a consistência da terminologia entre os normas de um país (Amor; Dimyadi, 2021).

##### 2.1.7.7.2 Utilização de Padrões Abertos

A utilização de padrões abertos oferece diversos benefícios na promoção da transparência, da flexibilidade e da interoperabilidade e na troca de dados (Ghannad *et al.*, 2019).

##### 2.1.7.7.3 Emissão de alertas de inconformidade

Além de classificar os resultados em categorias como “aprovado”, “reprovado” ou “desconhecido”, os sistemas de análise automatizada têm a capacidade de emitir alertas. Esses alertas são acionados em situações onde um projeto não cumpre totalmente os requisitos estabelecidos nas diretrizes e recomendações. Embora a não conformidade com esses requisitos não implique necessariamente em reprovação, os

alertas servem como oportunidades valiosas para aprimorar o projeto, conforme destacado por Zhang *et al.* (2023).

### **2.1.8 Normas e Regulamentos de Construção**

Na indústria de arquitetura, engenharia e construção, as especificações e regulamentações são criadas por profissionais para serem interpretadas e aplicadas por pessoas, geralmente na forma de texto, gráficos, tabelas e expressões matemáticas. Com status legal, essas regras apresentam um desafio significativo na informatização do processo devido às diferenças entre a capacidade cognitiva humana e o ambiente computacional (Nawari, 2020).

As regulamentações frequentemente apresentam disposições e padrões interpretativos que resultam em grandes volumes de textos semiestruturados, os quais podem ser alterados, complementados e até mesmo contraditórios. Essas questões, complicadas para profissionais iniciantes e experientes, também são desafiadoras para as bases de conhecimento tradicionais em sistemas computacionais (Nawari, 2020).

Descrições precisas são essenciais para resolver o problema de codificação das regulamentações de construção. No entanto, muitos requisitos normativos não são claramente definidos e possuem alta subjetividade (Nawari, 2020).

O desenvolvimento de modelos de verificação automática de regras comprehensíveis por computador é baseado principalmente na modelagem paramétrica de objetos e regras. Há uma ampla variedade de regras que podem ser parametrizadas. No entanto, quando se trata de verificação regulatória, podem surgir desafios adicionais relacionados às fontes de informação usadas na modelagem de regras, que podem estar abertas para interpretação, dificultando a modelagem de informações. Portanto, identificar a natureza das regulamentações e a hierarquia de informações associadas é uma tarefa fundamental no desenvolvimento de modelos automatizados bem-sucedidos para verificação de regras (Soliman-Junior; Formoso; Tzortzopoulos, 2020).

A questão central é como transformar a leitura dessas normas em uma linguagem de máquina que possa ser validada como consistente. O processo geralmente envolve a interpretação e a tradução das regras e diretrizes pelo desenvolvedor de software em uma linguagem de programação (Nawari, 2020).

#### *2.1.8.1 Relação entre a Verificação Automatizada e as Normas*

Identificar a natureza dos regulamentos e as informações de requisitos hierárquicos é essencial para permitir a implementação de um grau de automação no processo de avaliação de projetos. A análise dos requisitos regulatórios é um passo muito importante para permitir a automação. Identificar claramente os requisitos que não podem ser automatizados também é essencial para perceber as limitações dos sistemas automatizados. Tal análise precisa ser conduzida por especialistas e pode ser facilitada pelo uso de classificações que permitam agrupar elementos em diferentes classes, de acordo com suas características próprias, como uma taxonomia (Soliman-Junior *et al.*, 2021).

De acordo com Soliman-Junior; Formoso; Tzortzopoulos (2020), para serem eficazes, as legislações devem ser:

- a) abrangentes o suficiente para lidar com a natureza complexa das normas e regulamentos;
- b) capaz de representar todos os tipos de informação;
- c) flexível para ser mantido e controlado por diferentes usuários (ou seja, não programadores devem ser capazes de adicionar ou modificar regras dentro do sistema);
- d) vinculado às normas de construção e outros conjuntos de regulamentos para simplificar o processo de verificação de consistência;
- e) ser desenvolvido considerando o conjunto geral de regulamentos, em vez de focar em representações de regras individuais, criando meios para evitar contradições entre as regras. Além disso, uma regra escrita sob uma forma computável, deve codificar a lógica dos requisitos dentro de si, refletindo as relações entre os elementos lógicos de uma sentença.

#### *2.1.8.2 Complexidades das Normas e Regulamentos de Construção*

A utilização de documentos regulatórios como entrada para o processamento automatizado de regras é uma tarefa extremamente complexa devido à questão da

interpretação da linguagem. Essa interpretação deve ser capaz de capturar o conhecimento humano de maneira formalizada, garantindo a completude e a precisão. Uma das principais dificuldades relatadas pelos estudos existentes está em traduzir informações do arcabouço regulatório, escritas em texto, tabelas, desenhos, esboços e imagens, para expressões lógicas orientadas a computadores, sem perder o significado. Essa dificuldade tem motivado muitos esforços para estruturar e traduzir informações de documentos estatutários e orientativos ao longo dos anos, visando realizar verificações automáticas de conformidade (Soliman-Junior *et al.*, 2021).

Nawari (2018) informa que a principal constelação de dificuldades decorre da natureza dos regulamentos e padrões de construção. Por exemplo, as normas de construção não são documentos autônomos e frequentemente fazem referência a muitas outras fontes. Infelizmente, esses dados nem sempre são representados de modo formal ou lógico. Em resumo, as características que compõem essas disposições de construção incluem:

- a) questões de subjetividade;
- b) uso inconsistente de terminologias;
- c) complexidade da estruturação das normas, exceções e várias inter-relações.

Essas propriedades tornam a auditoria de um projeto de construção em conformidade com essas regulamentações de construção uma atividade complexa e demorada, muitas vezes propensa a erros e dependente da experiência, julgamento e habilidades do profissional. Além disso, pela sua natureza, tornam a transição para a verificação de conformidade automatizada um processo difícil (Nawari, 2018).

João Soliman-Junior *et al.* (2021) dizem que as normas de construção, regulamentos, orientações de projeto e outros documentos estatutários são escritos em linguagem natural e desenvolvidos, lidos, interpretados e utilizados por pessoas. Devido a isso, um grande número de expressões complexas é usado para descrever os requisitos, muitas vezes contendo diversas camadas de conhecimento implícito. Fenves *et al.* (1995) argumentam que os requisitos regulatórios são indeterminados por natureza devido aos seus elementos de texto aberto, dificultando a aplicação em cenários automatizados. Isso ocorre porque:

- a) são dependentes do contexto e exigem um grau considerável de interpretação para serem julgados;

b) possuem um número ilimitado de sentidos, o que implica imprecisão e ambiguidade. Esses fatores tornam desafiador o processo de tradução dessas sentenças para uso em abordagens automatizadas.

Uma das chaves para garantir um resultado favorável na análise automatizada reside na interpretação e na representação precisas e eficientes das regras. Apesar da intensa pesquisa nesse domínio, os processos de interpretação e representação de regras ainda não foram totalmente automatizados (Soliman-Junior *et al.*, 2021).

Identificar a natureza das regulamentações e as informações hierárquicas dos requisitos é essencial para possibilitar a implementação de um grau de automação no processo de avaliação de projetos. A análise dos requisitos regulatórios é um passo crucial para viabilizar a automação. Identificar claramente os requisitos que não podem ser automatizados também é essencial para compreender as limitações dos sistemas automatizados. Essa análise precisa ser conduzida por especialistas e pode ser facilitada pelo uso de classificações, permitindo agrupar elementos em diferentes classes, de acordo com suas próprias características, como uma taxonomia (Soliman-Junior *et al.*, 2021).

De acordo com Zhang *et al.* (2023), dois tópicos principais foram identificados em relação às regras:

- a) classificação de regras: é o processo de analisar e categorizar as regras regulatórias com base em suas características e propriedades, como dependência, ambiguidade, exceções, entre outros. A classificação ajuda a identificar padrões e relações entre as regras, tornando-as mais fáceis de entender e aplicar;
- b) representação de regras: refere-se à maneira como as regras regulatórias são expressas ou codificadas para facilitar sua interpretação, aplicação e verificação. Isso pode envolver o uso de linguagens formais, notações gráficas ou outras técnicas para tornar as regras mais claras e acessíveis.

#### *2.1.8.3 Classificação das regras*

Para auxiliar na interpretação das regras, pesquisadores desenvolveram diversos métodos de classificação. Em resumo, apesar das muitas classificações

existentes, a maioria delas é categorizada usando uma única dimensão ou alguns critérios ou métricas selecionados casualmente (Zhang *et al.*, 2023).

#### 2.1.8.3.1 Nawari (2018)

No método proposto por Nawari (2018), as disposições de uma norma de construção são classificadas em quatro categorias principais: cláusulas condicionais, cláusulas de conteúdo, cláusulas ambíguas e cláusulas dependentes:

- a) Cláusulas condicionais são seções válidas para serem interpretadas diretamente a partir do documento textual em um conjunto de regras formais. Exemplos disso são muito comuns e características típicas incluem regras com valores específicos.
- b) Cláusulas de conteúdo são seções que não podem ser transformadas em expressões VERDADEIRAS ou FALSAS. Essas cláusulas são normalmente utilizadas para descrições e definições.
- c) Cláusulas ambíguas são disposições subjetivas. Elas normalmente incluem palavras como aproximadamente, cerca de, relativamente, perto de, longe de, talvez etc.
- d) Cláusulas dependentes indicam que uma seção depende de uma ou mais outras cláusulas. Isso significa que algumas disposições são adequadas apenas para uma condição específica quando outras disposições são totalmente atendidas. Essas cláusulas costumam ser difíceis de transmutar em conjuntos de regras formais e geralmente exigem verificação manual para conformidade.

#### 2.1.8.3.2 Malsane *et al.* (2015)

Malsane *et al.* (2015) agruparam as normas em dois tipos: declarativas e informativas:

- a) cláusulas declarativas, que possuem informações claramente verificáveis e, portanto, são interpretáveis por computador (por exemplo, regras geométricas simples);

- b) cláusulas informativas, que possuem informações que não são obviamente verificáveis ou que precisam de interpretação humana e, portanto, não são interpretáveis por computador.

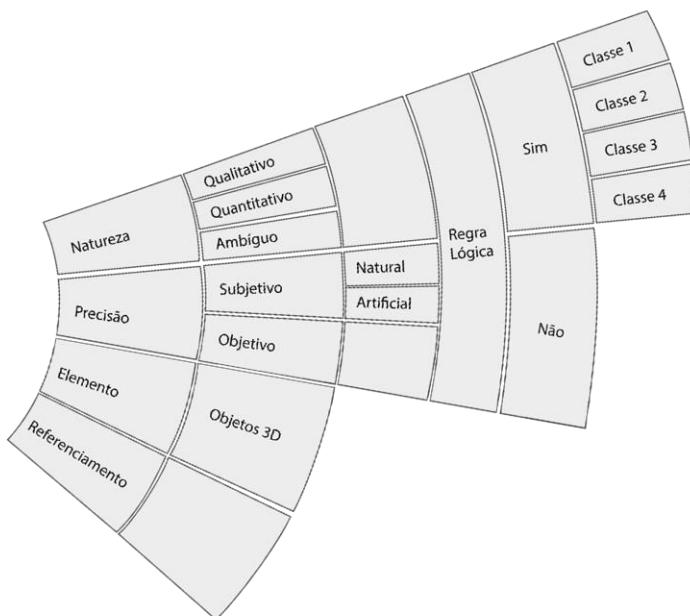
#### 2.1.8.3.3 Soliman-Junior *et al.* (2021)

Soliman-Junior *et al.* (2021) atualizaram a classificação proposta pela pesquisa realizada em 2020. Originalmente, a divisão consistia em quatro elementos (natureza, tradução para regra lógica, elemento e classes de regra paramétrica). Com a classificação atualizada, houve a implementação de dois elementos: precisão e referenciamento, conforme Figura 3.

- a) Natureza da regra: qualitativa, quantitativa e ambígua. A natureza refere-se a como a informação é implicitamente definida. A determinação da natureza da informação pode ajudar a compreender como as regulamentações são criadas e está relacionada aos processos de tradução em uma regra lógica.
- b) Precisão: ajuda a identificar se os requisitos podem ser classificados como objetivos ou subjetivos. Os requisitos objetivos podem ser avaliados objetivamente, não dependendo da interpretação humana. Por outro lado, os requisitos subjetivos geralmente incluem sentimentos pessoais, opiniões, emoções ou crenças, estando sujeitos a diferentes opiniões de especialistas, dependendo, portanto, do raciocínio e conhecimento humano para serem compreendidos e avaliados. Por sua vez, a subjetividade é dividida em: natural e artificial. A subjetividade natural se origina das informações abstratas incluídas na definição dos requisitos, representadas por elementos abstratos, por exemplo, flexibilidade de design. A subjetividade artificial é consequência de documentos estatutários ou orientativos mal escritos.
- c) Possibilidade de tradução em regra lógica: regra lógica e não lógica. Baseia-se simplesmente na análise da possibilidade de reestruturar os requisitos em uma frase lógica, que inclua termos associados a conteúdo e à condição. Essa classificação é binária, ou a regra pode ser traduzida ou não pode ser traduzida. As regras não lógicas são sugeridas para serem verificadas manualmente.

- d) Elemento: o elemento representa um objeto de modelo 3D, expressando sua relação com os requisitos regulatórios. Ele vincula requisitos a objetos 3D, evidenciando elementos e informações que precisam ser definidos e modelados com precisão, constituindo, assim, um elemento importante da taxonomia.
- e) Classes de regras paramétricas: utilizada a mesma divisão sugerida por Solihin e Eastman (2015). Essas classes estão relacionadas à complexidade lógica associada às estruturas de dados tanto no modelo geométrico quanto nas frases de regra; portanto, a Classe 1 é a menos complexa e a Classe 4 apresenta o maior grau de complexidade.
- f) Referenciamento: está relacionado à forma como os requisitos em um documento se referem a outros documentos ou bancos de dados. O referenciamento não é uma classificação por si só, mas informa sobre as conexões entre os requisitos em diversos arcabouços regulatórios e outros documentos.

Figura 3 – Classificação proposta por Soliman-Junior *et al.* (2021)



Fonte: Adaptado de Soliman-Junior *et al.* (2021).

#### 2.1.8.3.4 Solihin e Eastman (2015)

Solihin e Eastman (2015) propuseram uma classificação de regras. Essas classes estão relacionadas à complexidade lógica associada às estruturas de dados no modelo geométrico e nas sentenças de regras.

- a) Classe 1: regras que requerem um único ou uma pequena quantidade de dados explícitos. Essas regras são as mais simples e envolvem verificações diretas ou comparações entre os valores dos atributos. Por exemplo, verificar se a altura de uma parede atende a um requisito mínimo.
- b) Classe 2: regras que requerem valores de atributos derivados simples. Essas regras envolvem cálculos ou manipulações básicas dos valores dos atributos. Por exemplo, verificar se a área total de um edifício é igual à soma das áreas de cada andar.
- c) Classe 3: regras que requerem estrutura de dados estendida. Essas regras são mais complexas e exigem informações sobre as relações entre os elementos no modelo, como hierarquias, agrupamentos e dependências. Por exemplo, verificar se a quantidade de saídas de emergência em um edifício é proporcional ao número de ocupantes.
- d) Classe 4: regras que exigem uma “prova de solução”. Essas são as regras mais complexas e podem envolver a análise de várias possíveis soluções ou a criação de simulações para atender a requisitos específicos. Por exemplo, verificar se um projeto de iluminação proporciona uma distribuição adequada de luz em um espaço interior.

Essa classificação ajuda a entender e abordar a complexidade envolvida na verificação automatizada de regras em sistemas de modelagem, facilitando a implementação de algoritmos e métodos de verificação para cada classe de regra (Solihin; Eastman, 2015).

#### *2.1.8.4 Representação das regras*

A conversão de regras do formato legível por humanos para o formato legível por computador tem sido reconhecida como o principal desafio dessas para a verificação automática (Lee et al., 2020), a seguir, são demonstrados alguns métodos:

##### *2.1.8.4.1 Regras de Produção*

Um dos primeiros tipos de representação de regras são as regras de produção. Elas têm a forma de “se <condições> então <ações>”. Um exemplo nessa categoria é a Tabela de Decisão de Fenves, uma representação inequívoca das condições aplicáveis e das ações correspondentes em tabelas. No entanto, o principal defeito dessa abordagem reside na sua incapacidade de mostrar relações entre regras (Zhang; Ma; Broyd, 2022).

#### 2.1.8.4.2 Método de representação baseado na lógica

Outra categoria de representações é o método baseado em lógica. Tabelas paramétricas em alguns softwares comerciais, como o *Solibri Model Checker*, podem ser encontradas nessa categoria, embora não sejam tecnicamente uma representação separada, devido às regras incorporadas no mecanismo de regras. Esse método geralmente sofre com a falta de transparência e é difícil de manter (Zhang; Ma; Broyd, 2022).

Houve, também, a implementação da lógica de predicados. Essa lógica é formal e tem sido empregada há décadas para formalizar regras definidas por pessoas. Na lógica, um predicado é um termo bem definido que pode ser avaliado como VERDADEIRO ou FALSO. A lógica de predicados lida com quantificação, determinando se uma declaração se aplica a todas as instâncias em que uma condição surge ou a pelo menos uma instância. Técnicas bem desenvolvidas, como a linguagem de computador Prolog, são usadas para traduzir asserções lógicas em declarações executáveis (Eastman et al., 2009).

Apesar da concisão e da capacidade de representar regras muito complexas, usando tabelas paramétricas, essa abordagem sofre de expressividade limitada e dificuldade de manutenção devido à natureza codificada. Também foi criticada por ser uma “caixa-preta” para o usuário, ou seja, falta transparência e pode levar a questões de credibilidade (Zhang et al., 2023).

De acordo com Zhang et al. (2023), Solihin e Eastman introduziram o método do grafo conceitual para representar códigos de construção, visando melhorar a legibilidade e a facilidade de uso. Essa abordagem tinha uma base semântica na lógica de predicados, mas com notações gráficas (*visual programming language – VPL*). A abordagem, baseada na lógica de predicados, considera o modelo BIM no formato IFC e classifica as regras de construção em quatro categorias. No entanto,

essa abordagem apresenta limitações, como a restrição ao modelo IFC e a incapacidade de lidar com resultados além de “aprovado” ou “reprovado”.

#### 2.1.8.4.3 Método de representação baseado na semântica

Hjelseth e Nisbet, em 2011, propuseram uma abordagem denominada RASE, referente às construções semânticas de regras. Essa abordagem manteve o texto regulatório como está, mas adicionou marcações durante o processo de interpretação para auxiliar na verificação automática. Em vez de usar expressões IFC na representação de regras, o método usa um dicionário intermediário para vincular a representação das regras ao modelo de construção (Zhang; Ma; Broyd, 2022).

O RASE, método elaborado por Hjelseth e Nisbet (2011), define quatro construções comuns que compõem uma regra. Ele afirma que as regras do código de construção podem ser divididas em quatro construções:

- a) requisito: definindo a condição que deve ser satisfeita por um ou mais aspectos de um edifício;
- b) aplicabilidade: definindo a qual aspecto do edifício os requisitos se aplicam;
- c) seleção: indicando condições se a regra for para casos específicos entre elementos aplicáveis;
- d) exceção: identificando as condições nas quais a verificação não é aplicável aos elementos do edifício.

O modelo RASE fornece um método fácil de entender e simples para desconstruir sentenças de regras. Ele também acomoda um esquema em que os autores do código podem construir e manter representações do código de construção (Hjelseth; Nisbet, 2011; Macit Ilal; Günaydin, 2017).

O Processamento de Linguagem Natural (NLP) associado à Inteligência Artificial (IA) também foi investigado por pesquisadores como um meio de capturar conhecimento normativo a partir de disposições normativas em papel. Além disso, uma estrutura bem projetada baseada em abordagens de IA permite um raciocínio poderoso ao realizar mapeamento de objetos e atributos ou ao aplicar regras a objetos comuns para fins de verificação de conformidade (Amor; Dimyadi, 2021).

As técnicas de NLP se concentram na análise de informações em linguagens naturais, como classificação de texto, marcação de parte da fala, segmentação etc., o que beneficia a automação da transformação de regras. Por exemplo, os

pesquisadores utilizaram técnicas de aprendizado de máquina e NLP para classificar automaticamente os diferentes documentos e partes de documentos em categorias predefinidas, preparando-os para análises de texto adicionais e extração de regras (Sobkhiz *et al.*, 2021).

Embora o progresso nessa área de pesquisa seja promissor, códigos bem definidos ainda não foram implantados para a validação dessas abordagens baseadas em IA. Além disso, os requisitos normativos atuais em um domínio consistem em documentos legais complexos e inter-relacionados que podem conter contradições e serem mal estruturados. Esses documentos também estão sujeitos a frequentes alterações e emendas, tornando-os desafiadores para a tradução automatizada em formas computáveis. As técnicas de NLP e IA podem ajudar a manter uma representação computável atualizada a partir de sua provisão de origem; no entanto, a presença de um padrão oficial de troca de dados parece ser a lacuna atual que deve ser abordada (Ghannad *et al.*, 2019).

A tecnologia semântica também foi baseada em tecnologias web, como HTTP, RDF e URI, destinadas tanto à legibilidade humana quanto ao processamento por máquina. Uma representação do IFC na linguagem de ontologia web (OWL), chamada *IfcOWL*, foi desenvolvida para permitir a vinculação com outros conjuntos de dados, além de possibilitar o raciocínio semântico (Amor; Dimyadi, 2021).

O *IfcOWL* é uma tentativa de enriquecer o aspecto semântico dos sistemas baseados em BIM. Trata-se de uma estrutura escrita na *Web Ontology Language*, igual ao esquema do IFC, que permite a representação de atributos IFC no formato *Resource Description Framework* (RDF). A principal contribuição do *IfcOWL* é a linguagem de consulta avançada que pode ser usada com o formato RDF (por exemplo, linguagem SPARQL). Como resultado, a recuperação de informações de arquivos BIM, que é um requisito crítico para o ARC, torna-se mais fácil. Os pesquisadores identificaram as limitações da faixa de expressão do IFC e demonstraram como o uso de linguagens da web semântica (ou seja, *ifcOWL*) poderia superar essas limitações (Sobkhiz *et al.*, 2021).

Dentro do domínio da web semântica, é possível encontrar facilmente uma linguagem de descrição expressiva e de alto nível baseada em teorias lógicas, que proporciona flexibilidade e modularidade ao ambiente de programação. No entanto, uma representação baseada em estruturas conceituais das regras é demasiadamente complexa para um projetista ou outro órgão responsável pela revisão do projeto de

construção. Além disso, as abordagens que utilizam estruturas conceituais na tradução de códigos têm capacidade limitada para representar construções de maior complexidade semântica (Zhou; Lee; Ying, 2018).

#### 2.1.8.4.4 Método Baseado em Linguagem

As abordagens baseadas em linguagem incluem linguagens específicas de domínio e linguagens de programação visual, que podem representar a lógica complexa das regras sem programação de computador. No entanto, ainda apresentam deficiências ao lidar com recursividade em regras. Um exemplo típico é o *Building Environment Rule and Analysis* (BERA) (Zhang; Ma; Broyd, 2022).

De acordo com Nawari (2018), o BERA é uma linguagem de domínio específico altamente personalizada para lidar com questões de revisão de projetos em modelos de construção nos setores de arquitetura, engenharia e construção. O objetivo é fornecer uma arquitetura de linguagem de verificação de regras fácil de usar, com alta fidelidade, extensibilidade e compactação, e posteriormente desenvolver uma linguagem específica de alto nível e de domínio.

A linguagem BERA é baseada no Modelo de Objeto BERA (BOM), que é um conceito simplificado do estado complexo dos modelos de construção. Inicialmente, o esquema de dados BERA foi aplicado em objetos de construção, concentrando-se na avaliação da circulação e nos programas espaciais, mas o BOM tem potencial para se expandir em outras áreas. Os usuários-alvo da linguagem BERA são especialistas do setor, como arquitetos, engenheiros, designers, revisores, proprietários, gerentes e estudantes, em vez de desenvolvedores de software BIM (Nawari, 2018).

A linguagem BERA busca lidar com modelos de informações de construção de maneira intuitiva para delinear e analisar regras aplicáveis à verificação da disposição de objetos de construção, estrutura e layout de edifícios e outros requisitos de código (Nawari, 2018).

A BERA se desenvolveu como uma linguagem de programação de alto nível para lidar com modelos de dados de construção representados em EXPRESS ou outros esquemas de dados semelhantes, mas não é uma linguagem de programação de propósito geral como C++ ou Java. A linguagem BERA é específica do domínio para vários modelos de informações de construção e verificação de regras ((Nawari, 2018)).

Os principais propósitos e benefícios do uso da linguagem BERA incluem, de acordo com Nawari (2018):

- a) realizar verificações de regras e permitir a revisão automática de modelos de construção, auxiliando no processo de tomada de decisão na fase inicial do projeto de construção de maneira mais fácil e rápida;
- b) ser fácil de usar para iniciantes ou não programadores, permitindo que especialistas do setor tenham mais controle e melhor manuseio na revisão de modelos de construção;
- c) ser mais fácil do que linguagens de propósito geral, mas ainda poderosa o suficiente para lidar com problemas específicos do domínio, oferecendo operações lógicas, valores lógicos, recursão, negação, herança, polimorfismo e operações algébricas;
- d) quanto à sua extensibilidade, a linguagem BERA fornece um modelo aberto para a abstração de um edifício, podendo ser expandida para outros objetos de construção conforme seu desenvolvimento.

#### *2.1.8.5 Tradução das Normas para utilização em abordagens de verificação automáticas*

Em 1666, Leibniz afirmou: “A única maneira de retificar nossos raciocínios é torná-los tão tangíveis quanto os dos matemáticos, para que possamos encontrar nosso erro de relance e, quando houver disputas entre pessoas, possamos simplesmente dizer: Vamos verificar por meio de cálculos, sem mais argumentos, a fim de ver quem está correto.” A citação de Leibniz destaca a importância de tornar os raciocínios tangíveis e verificáveis, o que é, agora, uma realidade na era da computação, em que os desacordos podem ser resolvidos por meio de verificações computacionais objetivas (Nawari, 2018).

A transformação de textos regulatórios em representações de regras legíveis por computador pode ser dividida em duas etapas: interpretação de regras e representação de regras. A etapa de interpretação de regras requer ampla experiência e expertise em regras de construção. Por essa razão, atualmente, é principalmente um processo manual, no qual especialistas do domínio analisam as regras e fazem anotações sobre as construções, lógica e suposições implícitas das regras. É uma etapa demorada, que pode levar até 30% do tempo total de implementação de uma

regra. A importância de automatizar essa etapa foi reconhecida, embora as tentativas de usar métodos de aprendizado de máquina (por exemplo, NLP) não tenham levado a resultados muito satisfatórios, devido à complexidade e à diversidade dos textos regulatórios (Zhang; Ma; Broyd, 2022).

Em resumo, a transformação de normas para regras computáveis envolve um processo de interpretação em que a estrutura semântica de cada ação é traduzida/representada em regras ou em modelos paramétricos (Nawari, 2018).

A dificuldade não está em criar o código, mas em traduzir os regulamentos de construção em código executável. Os regulamentos de construção têm uma estrutura e usam conceitos que muitas vezes são difíceis de tirar de seu contexto. Além disso, possuem apenas um pequeno grau de generalização e um alto grau de detalhamento, com diversas seleções que orientam o projeto. Por exemplo, os regulamentos de construção suecos têm cerca de dez opções em relação ao número de ocupantes, cada uma afetando os requisitos aplicáveis (Norén *et al.*, 2018).

A parametrização de regras é uma parte essencial do processo de verificação de regras porque cria uma base robusta para uma análise de regras e processos de mapeamento de regras para recuperar as informações necessárias incorporadas em um modelo BIM. A parametrização precisa da regra leva a um mapeamento de regras consistente que diminui o esforço de recuperação de informações e aumenta a precisão da validação de dados BIM na fase de implementação da regra ao mesmo tempo (Ghannad *et al.*, 2019).

Um método típico de desenvolver regras de código de construção informatizadas é extrair e traduzir manualmente as regras regulatórias escritas diretamente em código de computador. Nessa abordagem, as informações regulatórias formalizadas em regulamentações codificadas são acessadas internamente pelo código de software do aplicativo de exame de conformidade. Esforços recentes na informatização das regras de código de construção estão mais focados no conceito de mineração de texto regulatório e abordagem da web semântica para criar uma representação computável. Outros pesquisadores estão centrados principalmente na investigação da extração automatizada ou semiautomatizada de informações de textos regulatórios em regras e em outros objetos computáveis, incluindo a aplicação de processamento de linguagem natural (NLP) na extração de regras e regulamentações dos códigos de construção (Nawari, 2020).

Os métodos de IA para modelar linguagens humanas utilizam vários algoritmos de processamento de linguagem natural (NLP) para extrair significado do texto em linguagem natural fornecido. O NLP, como disciplina, vem se desenvolvendo há muitos anos, tendo iniciado em 1960 como um subcampo da IA e da linguística, com o objetivo de estudar problemas na geração automática e na compreensão da linguagem humana. Os algoritmos de NLP geralmente se concentram na área de interação humano-computador. Diversos desafios nos métodos de NLP incluem compreensão de linguagem natural e extração de regras de documentos de regulamentação de construção. Esses métodos buscam permitir que os computadores obtenham significado de formatos textuais, como regulamentos de construção, e gerem regras lógicas para processamento posterior. Eles se baseiam na distribuição de probabilidade prevista das expressões linguísticas sendo extraídas (Nawari, 2018).

Zhang et al. (2023) desenvolveram um método de análise em quatro etapas para identificar as capacidades necessárias na representação de regras de saúde. As três primeiras etapas buscam compreender as regras com base em uma lista consolidada de aspectos, que inclui: 1) características das regras; 2) organização das regras; e 3) intensidade das regras. A quarta etapa enfoca os aspectos de implementação, já que o sistema analise automatizada também precisa estar equipado com capacidades de implementação, estabelecendo requisitos para o método de representação.

O desenvolvimento de normas de construção computáveis é um fator chave para melhorar a prática atual de projeto, simplificando a comunicação das disposições da legislação e das auditorias de conformidade. Representar requisitos e padrões de construção em um formato legível por máquina, que aceita e comprehende as características específicas do domínio do conhecimento, desempenha um papel vital na automação do processo de verificação de conformidade do código de construção. O esquema digital computável das regras e especificações de construção permite a verificação automática de conformidade das disposições sem alterar um projeto de construção, e avalia um projeto com base na conformidade de objetos paramétricos, suas relações ou atributos. Isso envolve sistemas baseados em regras aplicados a um projeto sugerido e produz resultados no formato de “SUCESSO”, “FALHA”, “ALERTA” ou “NÃO IDENTIFICADO” para condições em que os dados obrigatórios são insuficientes ou ausentes (Nawari, 2018).

### **2.1.9 Requisitos para Implementação da Verificação Automatizada de Projetos**

Nawari (2018) ressalta a importância de modelos possuírem informações adequadas para poderem ser analisados automaticamente, garantindo a verificação completa do cumprimento das normas e regulamentações aplicáveis.

Segundo Amor e Dimyadi (2021), em um processo típico de verificação automatizada de conformidade, dois componentes principais são fundamentais: o Modelo da Edificação, que consiste em uma representação digital dos dados do projeto sujeita à auditoria de conformidade, e o Conhecimento Normativo, que representa computacionalmente as normas estabelecidas pelos códigos e padrões, servindo como base para a auditoria. Amor e Dimyadi (2021) também mencionam que diversas abordagens têm sido discutidas na literatura para processar esses componentes em busca de conformidade. Uma estratégia comum envolve identificar objetos e atributos comuns entre as duas fontes de dados, acessar informações de cada fonte de maneira eficiente e mapear objetos e atributos de uma fonte com os da outra, possibilitando a aplicação das regras relevantes de forma apropriada.

Por fim, Lee *et al.* (2020) enfatizam que, embora todos os métodos apresentem procedimentos e especificações distintos, a utilização do BIM é um elemento comum e inseparável em todos os estudos. O IFC, como padrão aberto, desempenha um papel crucial na verificação de modelos BIM, contribuindo significativamente para a eficácia do processo.

### **2.1.10 Passos para Implementação**

Lee *et al.* (2020) analisaram cinco projetos de destaque em verificação automática de regras (*IfcDoc*, KBIM, *ePlanCheck*, ACABIM e SNACC) e constataram que a maioria das abordagens automatizadas de verificação de regras envolve processos e mecanismos semelhantes para traduzir e executar regras para validar dados de projeto, apesar de possuírem propósitos e fontes de regras distintas. Concluíram que existe uniformidade no desenvolvimento do framework, porém com diferentes métodos para cada processo:

- a) tradução e definição de regras;
- b) categorização de regra;
- c) execução de regras.

Conforme Narayanaswamy, Liu e Al-Hussein (2019), o processo de implementação pode ser dividido em quatro etapas principais:

- a) tradução de regras: interpretação das normas de construção em linguagem natural para um formato processável por computador;
- b) preparação do modelo BIM: desenvolvimento do modelo de construção e criação de visualizações a partir do modelo BIM fornecido;
- c) verificação de regras: análise do modelo projetado em conformidade com as regras codificadas;
- d) relatório de verificação: obtenção do resultado da conformidade.

Messaoudi, Nawari e Srinivasan (2019) propuseram um framework para implantação da verificação automatizada no Estado da Flórida, composto pelos seguintes componentes:

- a) planejamento: coleta de dados de *stakeholders* internos e externos sobre o processo atual de autorização na Flórida, envolvendo departamentos de construção, arquitetos e engenheiros licenciados e empreiteiros gerais. O feedback e os requisitos para os novos sistemas são coletados para projetar o framework de verificação automatizada de conformidade;
- b) projeto e execução: inclui a elaboração de um novo fluxo de trabalho para o processo de análise automatizada, usando dados da primeira fase e o desenvolvimento de um padrão BIM para edifícios residenciais na Flórida, juntamente com a aplicação do *Generalized Adaptive Framework* (GAF) proposto por Nawari (2020);
- c) validação: teste e validação do sistema projetado na fase 2, examinando uma série de modelos de edifícios residenciais reais com o sistema de verificação automatizada proposto. O resultado será um relatório de conformidade com o código baseado no Código de Construção Residencial da Flórida.

De acordo com Nawari (2020), o GAF citado no parágrafo anterior possui cinco fases principais:

- a) nível superior I: formação de taxonomia, análise e classificação de texto regulatório;
- b) nível superior II: desenvolvimento da Definição de Modelo de Visualização (MVD) e do esquema IFC, resultando em uma representação *ifcXML*;

- c) nível superior III: desenvolvimento do algoritmo de extração de recursos e tradução completa no modelo baseado em objeto, gerando um modelo de objeto de dados *ifcXML*;
- d) nível inferior: extração de recursos de dados incertos e tradução parcial usando lógica *fuzzy* e raciocínio aproximado, resultando em um modelo de dados *ifcXML*;
- e) fase de execução: verificação da conformidade com as regras, projetando um algoritmo que vincula os dados das fases 2, 3 e 4 ao modelo BIM e gera relatórios de conformidade.

Segundo Lee *et al.* (2016), o projeto da *Statsbygg* desenvolveu métodos para traduzir e transformar códigos relacionados à construção presentes em documentos padrão, códigos nacionais e regulamentos para uso em software de verificação de regras digitais. Este projeto sugeriu um processo de padronização em seis etapas:

- a) definição do escopo e fonte para o conjunto de regras;
- b) avaliação de computabilidade;
- c) avaliação do comitê;
- d) notação de regras lógicas;
- e) seleção do formato de regras;
- f) implementação da regra no software de verificação de regras.

Soliman-Junior, Formoso e Tzortzopoulos (2020) elaboraram um *framework* para verificação automatizada de regras em projetos de construção na área da saúde, que é estruturado da seguinte forma: fases, processamento interno, elementos taxonômicos e interação entre fases e processamento interno.

- a) Fases: O *framework* possui três fases que representam como as informações regulatórias são processadas e transformadas durante o design:
  - Fase A: origina a informação dos requisitos regulatórios;
  - Fase B: torna a informação visível e disponível para coleta e armazenamento de dados, resultando nos requisitos explícitos;
  - Fase C: agrupa e analisa dados de forma lógica, resultando nos requisitos codificados.
- b) Processamento interno: esse elemento analisa como as informações semânticas são transformadas e inclui dois processos de tradução:

- Processo de Tradução 1 – TP1: traduz informações dos requisitos regulatórios em requisitos explícitos, principalmente por meio de atividades de classificação;
  - Processo de Tradução 2 – TP2: traduz informações dos requisitos explícitos em requisitos codificados, principalmente por meio de atividades de codificação.
- c) Elementos taxonômicos: esse elemento inclui três componentes: informação semântica, sentença atômica e expressão lógica:
- informação semântica: refere-se a dados processados, estruturados e significativos;
  - sentença atômica: é a unidade básica das expressões lógicas;
  - expressão lógica: é o resultado da combinação de sentenças atômicas e deve ser estruturada com base no conteúdo e na condição.
- d) Interação entre fases e processamento interno: esse elemento representa a interação entre as principais fases e o processamento interno, que inclui a relação entre requisitos explícitos e tomada de decisão em design, a ligação de dados em um modelo digital de construção com processos de codificação e a convergência de ontologias e classificações para verificação automática de regras.

Macit Ilal e Gunaydin (2017) informam que um processo claro, transparente e bem definido é necessário para implementação de um sistema automatizado de verificação de regras. Sugeriu uma metodologia composta por três estágios de processo:

- a) Estágio 1: análise da norma de construção para definir o que deve ser representado explicitamente para fins de verificação automatizada de conformidade e para documentar o quanto da norma de construção pode ser modelado com confiabilidade;
- b) Estágio 2: representação da norma de construção utilizando o modelo de representação desenvolvido;
- c) Estágio 3: implementação do modelo de norma de construção em um aplicativo de verificação de conformidade.

Kamal (2020) desenvolveu um *framework* para Verificação de Modelo Digital, composto por três módulos. O objetivo principal desse *framework* é estabelecer uma

base sólida para a realização de verificação automática, independentemente da natureza do modelo digital, da complexidade das regras e da solução do sistema fornecida:

- a) representação do modelo digital, em que o objetivo é a representação digital do modelo a ser checado;
- b) formulação de regras, que se concentra na criação de regras que se aplicam ao modelo digital;
- c) plano de implementação, em que é estabelecido um plano detalhado para a implementação da verificação do modelo digital usando as regras criadas.

Ao analisar os *frameworks* mencionados até agora, pode-se notar similaridades entre eles:

- a) tradução e definição de regras: todos os *frameworks* envolvem um processo de tradução das normas e regras em linguagem natural para um formato processável por computador;
- b) categorização e estruturação de regras: vários *frameworks* abordam a categorização e a estruturação de regras para facilitar sua execução e verificação. Isso é evidente nos *frameworks* de Lee *et al.* (2020), Messaoudi, Nawari e Srinivasan (2019), Nawari (2020), Lee *et al.* (2016) e Soliman-Junior, Formoso e Tzortzopoulos (2020);
- c) preparação e desenvolvimento do modelo BIM: a preparação do modelo BIM e a criação de visualizações a partir desse modelo é uma etapa comum nos *frameworks* de Narayanaswamy, Liu e Al-Hussein (2019), Messaoudi, Nawari e Srinivasan (2019) e Nawari (2020);
- d) verificação de regras e de conformidade: todos os *frameworks* envolvem a verificação das regras codificadas no modelo projetado e a análise de sua conformidade;
- e) relatório de verificação e de resultados: a obtenção de resultados e de relatórios de conformidade é uma etapa comum a todos os *frameworks* mencionados;
- f) envolvimento das partes interessadas: o envolvimento das partes interessadas são aspectos presentes somente no *framework* proposto por Messaoudi, Nawari e Srinivasan (2019).

Em resumo, a maioria dos frameworks compartilha processos semelhantes, como tradução e definição de regras, categorização e estruturação de regras,

preparação e desenvolvimento do modelo BIM, verificação de regras e de conformidade, relatório de verificação e de resultados. Essas similaridades reforçam a necessidade dessas etapas no desenvolvimento de um *framework* para implantação de um projeto de verificação automática de regras.

Por fim, Beach, Hippolyte e Rezgui (2020) foram mais amplos e formularam um roteiro para impulsionar a adoção de processos de verificação digitalizados, organizado em quatro fases, seguindo uma abordagem gradual, incluindo uma fase de pesquisa, um piloto ou uma prova de conceito, uma fase de industrialização, em que as tecnologias desenvolvidas para o piloto são amadurecidas e, finalmente, a adoção comercial. Mais especificamente, cada um desses estágios inclui:

- a) pesquisa e engajamento das partes interessadas: catalogar e priorizar regulamentações com o objetivo de digitalizar para o desenvolvimento de regras;
- b) testes piloto: desenvolver regras juntamente com uma linguagem comum e demonstrar funcionamento para identificar áreas de melhoria;
- c) industrialização: construir um produto ou processo para atender à maioria das necessidades, testar e experimentar em ambiente representativo e capturar métricas-chave, refinar e preparar para escalabilidade;
- d) escalonamento: desenvolver treinamento e orientação específicos para o público, estabelecer métodos para *feedback* do usuário e refinar continuamente junto com caminhos para aprimoramento.

### **2.1.11 Desafios e Barreiras na Implementação**

Soliman-Junior *et al.* (2021), Amor e Dimyadi (2021) e Lee *et al.* (2020) relatam diversos desafios e limitações no processo de análise automatizada e de verificação de conformidade. Segundo Soliman-Junior *et al.* (2021), há dificuldades em lidar com inúmeros requisitos regulatórios e limitações tecnológicas existentes. Amor e Dimyadi (2021) ressaltam o desafio de extrair conhecimento normativo de disposições de linguagem natural e a necessidade de alinhar objetos e atributos do projeto com o conjunto de regras.

Lee *et al.* (2020) destacam a conversão de regras e regulamentos escritos para um formato compreendido por usuários finais e computadores como um dos principais

desafios. A diversidade de leis e normas entre países e a constante atualização das regras e regulamentações também são desafios relevantes.

A falta de flexibilidade e transparência em plataformas de verificação de regras atuais é abordada por Lee *et al.* (2020), que mencionam a necessidade de padrões abertos, processos independentes de software e programação de linguagem visual. O autor também ressalta o desafio de traduzir automaticamente regulamentos para formatos implementáveis usando padrões abertos e semântica.

Amor e Dimyadi (2021) apontam uma limitação na prática de formalizar a interpretação das disposições normativas e incorporá-las em um sistema de verificação de conformidade de caixa-preta. Ele sugere que a melhor prática é permitir que versões sintáticas e semânticas estejam estreitamente acopladas, facilitando atualizações e vinculando alterações em uma versão às seções relacionadas da outra.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo detalha o contexto da pesquisa, a caracterização do estudo, que descreve a natureza, a abordagem e os procedimentos metodológicos utilizados. Em seguida, serão descritas as etapas realizadas para execução da pesquisa.

#### 3.1 CONTEXTO DA PESQUISA

O estudo foca na otimização do processo de análise dos PPCIs, identificando pontos críticos e propondo melhorias. Esta seção explora a relevância do estudo, enfatizando a necessidade de modernização e eficiência no CBMSC. A relevância do estudo advém da observação de que o processo manual atual é moroso, suscetível a erros e ineficiente. Assim, o estudo busca identificar oportunidades de melhoria e avaliar os impactos da implantação de um sistema de verificação automatizada, com base no BIM.

Para definir de que forma seria realizada a pesquisa, foram levantadas as informações necessárias para atingir cada objetivo. O Quadro 1 apresenta cada um dos cinco objetivos do estudo e os dados a serem obtidos.

Quadro 1 – Dados Necessários em Relação aos Objetivos da Pesquisa

Objetivos Específicos	Dados Necessários
a) Descrever o processo atual de análise e verificação de PPCI	<ul style="list-style-type: none"> <li>Situação atual da análise de PPCI no CBMSC</li> <li>Como é realizada a análise de PPCI no CBMSC</li> </ul>
b) Identificar o tempo de resposta do método atual de análise manual de PPCI no CBMSC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo médio de resposta na análise de PPCI</li> <li>Frequência e variações nas análises</li> </ul>
c) Verificar junto à literatura as melhores práticas, etapas e os requisitos necessários para a implantação da verificação automática de projetos no CBMSC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soluções tecnológicas de análise existentes</li> <li>Como outras organizações realizam a análise de PPCI</li> </ul>
d) Indicar os impactos potenciais da implementação da verificação automatizada no processo de análise de PPCI no CBMSC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Processos a serem modificados</li> <li>Viabilidade de implementação</li> <li>Dificuldades e limitações da nova tecnologia</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir desse levantamento, foram definidos os procedimentos a serem utilizados neste trabalho e as etapas a serem seguidas, os quais estão descritos nos tópicos subsequentes.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

Com relação à natureza, a pesquisa caracteriza-se como aplicada. De acordo com Thiolent (2009), a pesquisa aplicada concentra-se na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções para dificuldades vivenciadas atividades de instituições, organizações, grupos ou atores sociais.

Por se tratar de um estudo que visa avaliar um novo método de análise dos PPCI no CBMSC, a pesquisa utiliza as abordagens qualitativa e quantitativa, caracterizando-se como mista. Hernández Sampieri, Fernández Collado e Baptista Lucio (2013) destacam que nos métodos mistos a coleta e a análise dos dados quantitativos e qualitativos ocorre de forma conjunta, visando um maior entendimento do fenômeno estudado. Nesta pesquisa, a coleta quantitativa pode ser observada na análise e na comparação do tempo de resposta do sistema atual manual com o sistema automatizado. E a coleta qualitativa observa-se na revisão de literatura e na pesquisa documental, que permitem investigar a realidade atual e as melhores práticas, etapas e requisitos necessários para a implantação da verificação automática de projetos no CBMSC.

Em relação aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como exploratória, pois tem como objetivo possibilitar maior familiaridade com o problema, buscando torná-lo explícito ou construir hipóteses (Gil, 2008).

Como procedimentos técnicos, será realizado um estudo de caso, que, de acordo com Gil (2008, p. 57), “é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado”. Importante destacar que, de acordo com Yin (2005), ao realizar um estudo de caso, não se pretende a generalização, mas tem, sim, o objetivo de entender aquele caso em específico, gerando conhecimentos para pesquisas futuras e situações semelhantes. Além do estudo de caso, este trabalho conta com pesquisa bibliográfica e análise documental para embasar suas descobertas.

O Quadro 2 compila a forma com que se deu a coleta de dados, as fontes utilizadas e as técnicas de análise para cada objetivo específico da pesquisa:

Quadro 2 – Sistematização dos procedimentos metodológicos por objetivo

<b>Etapas da Pesquisa (Objetivos Específicos)</b>	<b>Técnicas de Coleta de Dados</b>	<b>Onde?</b>	<b>Técnicas de Análise</b>
a) Descrever o processo atual de análise e verificação de PPCI	Análise documental	Instruções normativas do CBMSC; Legislações;	Qualitativa descritiva
b) Identificar o tempo de resposta do método atual de análise manual de PPCI no CBMSC	Análise documental	Dados do <i>Analytics Qlik</i> do CBMSC	Quantitativa
c) Verificar junto à literatura as melhores práticas, etapas e os requisitos necessários para a implantação da verificação automática de projetos no CBMSC	Análise bibliográfica	Revisão de literatura	Qualitativa descritiva
d) Indicar os impactos potenciais da implementação da verificação automatizada no processo de análise de PPCI no CBMSC	Análise documental e bibliográfica	Dados do <i>Analytics Qlik</i> do CBMSC e Revisão de literatura	Qualitativa descritiva

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No próximo tópico serão descritas as etapas realizadas na pesquisa e como ocorreu cada uma delas.

### 3.3 ETAPAS DA PESQUISA

Esta seção tem como objetivo detalhar as três etapas percorridas para o desenvolvimento deste estudo. Inicialmente, será descrito como ocorreu a pesquisa bibliográfica, o levantamento documental, e, por fim, será descrito como os dados foram analisados.

#### 3.3.1 Pesquisa Bibliográfica

A primeira etapa da pesquisa foi a realização do levantamento teórico por meio de pesquisa bibliográfica. De acordo com Gil (2008, p. 50), é o tipo de pesquisa “desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”.

Para a seleção dos textos foram realizadas buscas em duas bases de dados, a Science Direct, e o portal de periódicos Capes. Por se tratar de um tema relativamente recente, o tipo de documento pesquisado foram os artigos científicos, pois é por meio deles que a literatura científica é atualizada de forma mais rápida e dinâmica.

Ao realizar as primeiras buscas observou-se que não existe um consenso sobre a terminologia utilizada para a análise automatizada de projetos. Observando este obstáculo para realizar uma busca estruturada, foi realizada uma revisão narrativa, não sistemática. Foram identificadas as palavras-chave utilizadas nos primeiros artigos recuperados e realizadas buscas em português com palavras que se relacionavam ao assunto, como, por exemplo: Análise automatizada de projetos; Análise de Projetos; Verificação automatizada de projetos e Verificação automatizada. Também foram realizadas buscas com o objetivo de recuperar textos em inglês, para o que foram utilizadas palavras-chave como: *Automated Model Checker*; *Model checking*; *Software verification*; e *Model Checking Software*.

Em seu trabalho, Caldas (1986) comenta que a produção científica não tem o mesmo ritmo e os mesmos resultados em todas as áreas, sendo possível perceber escassez de literatura em alguns campos, logo, todas as referências encontradas são relevantes. Tendo em vista o pensamento de que todas as referências encontradas são relevantes, buscamos ampliar os resultados das buscas por meio da avaliação da lista de referência dos artigos recuperados. Após a leitura das listas de referências, foram identificados novos artigos relevantes para compor o corpus da pesquisa.

Realizada a seleção inicial dos textos por meio da busca nas bases de dados e nas referências dos textos iniciais, realizamos a leitura de título, resumo e palavras-chave para identificar os textos que realmente eram relevantes para o trabalho.

Foram selecionadas 61 referências, a maioria dos estudos e das publicações datam dos últimos cinco anos (2019-2023), indicando a relevância e a atualidade do tema. Paralelamente, trabalhos fundamentais publicados em anos anteriores servem como base teórica e metodológica para o estudo, sendo esses principalmente artigos de grande relevância na área.

Foi realizada a leitura integral dos textos selecionados e foram elaborados fichamentos baseados nos assuntos pesquisados no trabalho. Como foco da leitura buscou-se observar os seguintes tópicos relacionados à verificação automatizada:

- a) impactos;

- b) tempo de respostas;
- c) melhores práticas;
- d) etapas;
- e) requisitos necessários para a implantação.

Esses fichamentos, realizados de forma direcionada, serviram de suporte para a construção do referencial teórico e para a avaliação dos impactos potenciais da implementação da verificação automatizada no processo de análise de PPCI no CBMSC, ao comparar o que está descrito na literatura com os resultados atuais da análise manual.

### **3.3.2 Pesquisa documental**

A pesquisa documental é elaborada a partir de materiais que não receberam tratamento analítico, como relatórios, legislações, dados brutos etc. (Silva; Menezes, 2005). Para Hernández Sampieri, Fernández Collado e Baptista Lucio (2013), os documentos são fontes valiosas de informação, eles podem auxiliar no entendimento do fenômeno central do estudo, pois servem para que o pesquisador conheça e entenda a realidade a ser estudada, os antecedentes e o dia a dia de um local a ser estudado.

Para a pesquisa documental foram utilizadas duas principais fontes documentais: as instruções normativas do CBMSC, que influenciam diretamente na análise de PPCI, e os dados extraídos do sistema *Analytics Qlik*.

As instruções normativas utilizadas foram retiradas do site do CBMSC e estão disponíveis em acesso aberto para toda a população.

Os dados coletados do sistema *Analytics Qlik* (software de BI – *Business Intelligence*) do CBMSC foram relativos ao período de 9/7/2022 a 25/11/2023, período que retornou informações de 13.119 projetos preventivos.

A escolha da data de corte inicial para esta análise documental foi estratégica. A data marca a implementação da emissão de atestados por meio da autodeclaração em processos simplificados, conforme estabelecido pelo Decreto n. 1.908/2022 (Santa Catarina, 2022). A decisão de não incluir dados anteriores a essa data foi tomada para garantir a precisão e a relevância da análise.

Para a coleta dos dados, o autor criou uma pasta denominada “Prazos” no sistema *Analytics Qlik* do CBMSC e, utilizando uma caixa de seleção padrão do

sistema, selecionou as seguintes variáveis: Data (9/7/2022 a 25/11/2023), Ano/mês (jul. 2022 a nov. 2023), Tipo processo (Projeto) e Finalidade processo (Análise de PPCI e Retorno de PPCI), com a opção “Liberação automática” marcada como “Não”. As caixas de seleção denominadas “Batalhão”, “Município”, “Tipo de deferimento processo” e “Situação do prazo” foram deixadas em branco, pois não são válidas para o contexto da pesquisa, conforme verifica-se na Figura 4.

Figura 4 – Tela do sistema *Analytics Qlik* com a seleção dos campos utilizados na pesquisa

Gestão de Segurança contra Incêndio - CBMSC									
Analisar		Posta		Narrar		Finalizar processo		Data	
Insight Advisor		Finalizado processo		Avançado		X		Tipo processo	
Prazos (2)		Finalizado processo		Avançado		X		Projeto	
Q. Data	Año/més	Q. Batalhão	Q. Município	Q. Tipo processo	Q. Finalidade processo	Q. Tipo deferimento processo	Q. Situação prazo	Q. Liberação automática	
25/11/2023	dez 2023	1º BBM	Abelino Belita	Projeto	X	DEFERIDO	Cumprido	Não	
24/11/2023	dez 2023	2º BBM	Abelardo Luz	Evento Grande Ponto	X	INDEFERIMENTO	Incómodo há mais de 5 dias		
23/11/2023	dez 2023	3º BBM	Agroindíbia	Evento Médio Ponto	X	INDEFERIMENTO SUMÁRIO	Incómodo há menos de 5 dias		
22/11/2023	dez 2023	4º BBM	Agroindíbia	Evento Pequeno Ponto	X	DEFERIMENTO PARCIAL	Pagamento		
21/11/2023	dez 2023	5º BBM	Águia Doce	Funcionamento	X	DEFERIMENTO PROJETO PRÓRIO...			
20/11/2023	dez 2023	6º BBM	Águas de Chapeú	Habite-se	X				
19/11/2023	dez 2023	7º BBM	Águas Frias	Sem processo vinculado	X				
18/11/2023	dez 2023	8º BBM	Águas Normais		X				
17/11/2023	dez 2023	9º BBM	Alfredo Wagner		X				
16/11/2023	dez 2023	10º BBM	Altô Bela Vista		X				
15/11/2023	dez 2023	11º BBM	Anchieta		X				
14/11/2023	dez 2023	12º BBM	Angélica		X				
13/11/2023	dez 2023	13º BBM	Anta Garibaldi		X				
12/11/2023	dez 2023	14º BBM	Antônopolis		X				
11/11/2023	dez 2023	15º BBM	Antônio Carlos		X				
10/11/2023	dez 2023	16º BBM	Apucarana		X				
09/11/2023	dez 2023	17º BBM	Araxá		X				
08/11/2023	dez 2023	18º BBM	Areia Preta		X				
07/11/2023	dez 2023	19º BBM	Ariranha		X				
06/11/2023	dez 2023	20º BBM	Armação		X				
05/11/2023	dez 2023	21º BBM	Arraial Trinta		X				
04/11/2023	dez 2023	22º BBM	Arvoredo		X				
03/11/2023	dez 2023	23º BBM	Assurama		X				

Fonte: Tela do sistema *Analytics Qlik* (2023).

Após esse passo, o autor criou uma tabela com as colunas “Protocolo”, “Data demanda/produção”, “Código processo” e “Área analisada/vistoriada”, conforme a Figura 5, e fez o download do arquivo com extensão .xls.

Figura 5 – Tabela elaborada no programa *Analytics Qlik* com os campos relevantes para a pesquisa

Protocolo	Q	Data demanda/produção	Q	Código processo	Q	Área analisada/motorizada
<b>Totais</b>						
A7583000312A		24/11/2023		1378093		0,00 m <sup>2</sup>
A7430000059A		24/11/2023		1424494		0,00 m <sup>2</sup>
A8023003595A		24/11/2023		1423094		0,00 m <sup>2</sup>
A8027009185A		24/11/2023		1421267		0,00 m <sup>2</sup>
A8019003815A		24/11/2023		1402259		3.443,44 m <sup>2</sup>
A8023003333A		24/11/2023		1415087		0,00 m <sup>2</sup>
A8029007950A		24/11/2023		1413205		0,00 m <sup>2</sup>
A8019007953A		24/11/2023		1413773		0,00 m <sup>2</sup>
A8019008186A		24/11/2023		1424796		0,00 m <sup>2</sup>
A8019008184A		24/11/2023		1423809		0,00 m <sup>2</sup>
A8023003244A		24/11/2023		1305544		990,40 m <sup>2</sup>
A8023003245A		24/11/2023		1387858		0,00 m <sup>2</sup>
A8047007164A		24/11/2023		1420912		0,00 m <sup>2</sup>
A8047009862A		24/11/2023		1423556		0,00 m <sup>2</sup>
A8011004123A		24/11/2023		1417079		0,00 m <sup>2</sup>
A8001005679A		24/11/2023		1372944		0,00 m <sup>2</sup>
A80010114237A		24/11/2023		1379126		0,00 m <sup>2</sup>
A8029004947A		24/11/2023		1413091		0,00 m <sup>2</sup>
A8009007939A		24/11/2023		1423180		13.807,39 m <sup>2</sup>
A5125000006A		24/11/2023		1417613		0,00 m <sup>2</sup>
A5115010747A		24/11/2023		1426108		0,00 m <sup>2</sup>
A8115002904A		24/11/2023		14031232		0,00 m <sup>2</sup>
A8130012559A		24/11/2023		1417537		0,00 m <sup>2</sup>
A81470012333A		24/11/2023		1427573		3.403,41 m <sup>2</sup>
A8117000358A		24/11/2023		1424339		31.740,46 m <sup>2</sup>
A8131009329A		24/11/2023		1414246		0,00 m <sup>2</sup>
A8133005074A		24/11/2023		1392521		0,00 m <sup>2</sup>
A8133005375A		24/11/2023		1384282		0,00 m <sup>2</sup>
A8173000673A		24/11/2023		1417819		0,00 m <sup>2</sup>

Fonte: Tela do sistema *Analytics Qlik* (2023).

A nomenclatura do sistema *Analytics Qlik* do CBMSC diverge do que é empregado nas Instruções Normativas. Dessa forma, cabe esclarecer que “Protocolo” é o número dado a um PPCI, e “Processo”, no caso em tela, é uma análise de PPCI ou uma reanálise em virtude de um relatório de indeferimento emitido pelo analista. Dessa forma, um PPCI pode ter um ou mais processos atrelados a si, a depender da quantidade de análises ou reanálises executadas. A coluna “Data demanda/produção” informa o momento em que o PPCI é protocolado no CBMSC para análise ou reanálise, sempre com duas datas atreladas ao mesmo processo (análise e reanálise) – uma data de entrada no CBMSC e outra de saída do CBMSC.

É importante destacar que, embora os dados necessários para esta análise pudessem ser extraídos do sistema E-SCI, optou-se pelo uso do *Analytics Qlik* devido a limitações do E-SCI. Os relatórios gerados pelo sistema E-SCI não são personalizáveis, o que resultaria em um processo mais lento e trabalhoso de processamento e de análise dos dados. O uso do *Analytics Qlik* permitiu uma análise mais eficiente e adaptada às necessidades específicas desta pesquisa.

### **3.3.3 Análise e organização dos dados**

A análise dos dados coletados do sistema *Analytics Qlik* do CBMSC exigiu uma inspeção inicial detalhada para entender a estrutura das colunas e dos dados presentes no arquivo. Identificamos que as datas de entrada e de saída dos processos estavam registradas na coluna “Data demanda/produção”. Para cada código de processo (análise ou reanálise de PPCI), havia duas entradas correspondentes, uma representando a data de saída e a outra a data de entrada no CBMSC. Os processos que não possuíam pares de datas foram desconsiderados, pois indicavam que os projetos ainda estavam em análise e, portanto, não possuíam data de saída.

Após a depuração dos dados, o arquivo final continha informações relativas a 13.119 Projetos Preventivos Contra Incêndio (PPCI) e 25.144 processos de análises/reanálises. Essa depuração foi crucial para garantir a precisão e a relevância dos dados analisados.

O passo seguinte envolveu o cálculo de estatísticas descritivas para as seguintes variáveis:

- a) tempo de resposta dos PPCIs (tempo médio, mediana, quartis, desvio padrão, coeficiente de variação);

- b) tempo de resposta dos processos de análise e reanálise (tempo médio, mediana, quartis, desvio padrão, coeficiente de variação);
- c) área analisada/vistoriada nos PPCIs;
- d) razão entre análises/reanálises e PPCIs.

A análise revelou que o tempo médio de resposta para os PPCIs era de 33 dias, com uma mediana de 20 dias. O tempo de resposta no terceiro quartil atingia 49 dias, e no primeiro quartil, 5 dias. O desvio padrão era de 37,87 dias, e o coeficiente de variação, 114,8%. Para os processos de análise e de reanálise, o tempo médio de resposta foi de 11,53 dias, com uma mediana de 7 dias, um primeiro quartil de 2 dias e um terceiro quartil de 21 dias. O desvio padrão observado foi de 11,14 dias, com um coeficiente de variação de 96,57%.

O somatório da área analisada nos PPCIs alcançou 46.586.159,87 m<sup>2</sup>. A análise da correlação entre a área analisada/vistoriada e o tempo de resposta dos PPCIs resultou em um coeficiente de Pearson de 0,145, indicando uma relação linear fraca entre essas duas variáveis.

A razão entre o número total de análises/reanálises e o número de PPCIs foi de aproximadamente 1,91, destacando a frequência de revisões necessárias em cada PPCI.

A figura 6, a seguir, resume a análise dos dados.

Figura 6 – Resumo da análise dos dados

### Análise dos dados (09/07/2022 a 25/11/2023)

A pesquisa retornou **13.119 PPCI** que continham  
**25.144 processos de análise e reanálise**



**Tempo Médio** de Resposta para os PPCI: 33 dias  
**Tempo** Resposta no **terceiro quartil**: 49 dias  
**Frequência de revisões** nos PPCI: 1,91

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Esses dados foram fundamentais para compreender as dinâmicas e os desafios enfrentados pelo CBMSC no processo de análise e de aprovação de PPCIs.

Com esses dados em mãos, confrontou-se os dados atuais da análise manual com os dados da verificação automatizada obtidos na literatura.

## **4 CARACTERIZAÇÃO, DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DA REALIDADE ESTUDADA**

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO**

O CBMSC, com sua missão constitucional, desempenha um papel crucial na garantia da segurança pública, especialmente na prevenção e no combate a incêndios e pânico. Essa responsabilidade, enraizada em uma série de legislações específicas, compreende a análise de projetos preventivos, socorros, combate a incêndios e perícias relacionadas, conforme destacado por Santa Catarina (1989).

Com a sanção da Lei Complementar n. 724, conhecida como Lei de Organização Básica do Corpo de Bombeiros Militar, o CBMSC consolidou sua competência constitucional, adquirindo autoridade para instituir instruções normativas de prevenção e de segurança contra incêndios em Santa Catarina (Santa Catarina, 2018a). Essa legislação é complementada pela Lei (estadual) n. 16.157, que define os requisitos legais para a implementação de medidas de segurança contra incêndio em edificações e em áreas de risco no estado. Essa lei estipula que os responsáveis técnicos devem desenvolver e submeter o PPCI para aprovação junto ao CBMSC, regulamentando os sistemas preventivos e as medidas de segurança por meio de INs. (Santa Catarina, 2013)

No cenário estratégico, o CBMSC delineou seu Plano Estratégico para o período de 2018-2030, com objetivos claros e diretrizes estratégicas, incluindo ações específicas, indicadores chave e metas bem definidas (Portaria n. 80, 2018). Esse plano reflete o compromisso do CBMSC com a excelência e a inovação na prestação de serviços, visando a proteção da vida, do patrimônio e do meio ambiente, bem como a modernização e a inovação no gerenciamento operacional e administrativo (Santa Catarina, 2018b).

Um dos indicadores chave do plano estratégico, relacionado à segurança contra incêndio e pânico, foi a implementação da análise digital dos PPCI em todas as Organizações de Bombeiro Militar (OBM) dentro de cinco anos, um objetivo que foi alcançado com sucesso antes do prazo estipulado, demonstrando a eficiência e o comprometimento da organização em atingir suas metas estratégicas.

No contexto legal mais amplo, a Lei (federal) n. 13.874 (Brasil, 2019) trouxe novos desafios para o CBMSC, exigindo processos mais rápidos e menos

burocráticos, mantendo a segurança e a confiança do público. A Lei (estadual) n. 17.071 (Santa Catarina, 2017b) reforça essa demanda, exigindo dos órgãos públicos, incluindo o CBMSC, a revisão e a adoção de normas mais objetivas e procedimentos mais céleres, utilizando estratégias e ferramentas tecnológicas modernas (Santa Catarina, 2017).

A análise de PPCI é uma tarefa complexa, que envolve a verificação da conformidade dos sistemas preventivos e medidas de segurança com a legislação vigente e os requisitos mínimos definidos em Lei e Instruções Normativas (CBMSC, 2021). Esse processo, fundamental na segurança contra incêndio, demonstra o rigor e a seriedade com que o CBMSC aborda sua missão de proteger a vida, o patrimônio e o meio ambiente, em conformidade com as diretrizes constitucionais e legais.

#### 4.2 DESCRIÇÃO DETALHADA DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

O CBMSC enfrenta desafios significativos no que diz respeito ao processo de análise e de aprovação de PPCI. A situação-problema predominante identificada na dissertação caracteriza-se pela predominância de um processo manual, marcado pela morosidade, susceptibilidade a erros e falta de eficiência. Esse cenário atrasa o desenvolvimento de novos empreendimentos e impõe riscos à segurança pública e ao cumprimento efetivo das normas de segurança contra incêndio.

A análise manual de PPCI representa um custo significativo para as empresas que aguardam a análise do PPCI e para os órgãos públicos que executam esse processo. O processo mostra-se por vezes ineficiente, visto que podem ocorrer erros ou lapsos nas análises. A ineficiência na análise de PPCI pelo CBMSC pode acarretar atrasos significativos na aprovação de projetos de construção e de reforma, impactando negativamente o desenvolvimento econômico e urbano do Estado. Adicionalmente, a morosidade e a potencial imprecisão no processo manual de verificação dos PPCI aumentam os riscos à segurança pública, comprometendo a eficácia das medidas de prevenção e de combate a incêndios em edificações.

Essa abordagem tradicional, embora tenha sido a norma, está se tornando cada vez mais insustentável à luz das demandas modernas de eficiência e de precisão.

#### 4.3 ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

O processo manual de análise de PPCI é descrito como moroso, ineficiente, suscetível a erros e economicamente insustentável. Essas características do processo manual resultam em interpretações arbitrárias dos requisitos por parte dos analistas. Devido ao seu caráter subjetivo, a verificação manual de conformidade tende a apresentar inconsistências, pois se baseia no julgamento e na interpretação humana (Amor; Dimyadi, 2021; Dimyadi; Amor, 2013; Ghannad *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2020; Nawari, 2020).

A identificação desses problemas demanda uma revisão crítica à luz do referencial teórico apresentado no Capítulo 2. A transição para verificação automatizada surge como uma solução para os problemas associados ao processo manual, com o objetivo de otimizar a análise das informações, proporcionando resultados previsíveis e coerentes e minimizando ambiguidades nos relatórios de avaliação. Essa abordagem não só oferece qualidade e eficiência econômica, mas, também, previne falhas no processo de aprovação de projetos (Eastman *et al.*, 2009; Nawari, 2018, 2019; Lee *et al.*, 2020).

O processo manual atual, descrito na Seção 2.1.1 a 2.1.3, apresenta desafios significativos tanto para os participantes do projeto quanto para os responsáveis pela fiscalização. Essa realidade deve-se aos inúmeros requisitos e componentes regulatórios dos projetos de construção, instalações ou infraestrutura, que impõem um fardo pesado, especialmente para profissionais como arquitetos, que atuam na fase inicial do projeto (Lee *et al.*, 2020).

Os desafios e problemas são ainda mais ressaltados quando contrastados com as capacidades de sistemas automatizados de análise, que podem realizar tarefas similares com maior rapidez e precisão (Nawari, 2020; Lee *et al.*, 2020).

A necessidade de automação na análise de PPCI no CBMSC é, portanto, não apenas uma questão de atualização tecnológica, mas um imperativo para garantir a segurança e a eficiência no processo de análise de PPCI.

A adoção de tecnologias como o BIM, juntamente com a automação do processo de análise, pode proporcionar uma solução eficaz para os desafios enfrentados pelo CBMSC. Como apontado por Nawari (2018), a integração do BIM no processo de análise de PPCI pode facilitar a identificação e a correção de erros, aumentando a eficiência do processo. Além disso, a capacidade do BIM de simular

diferentes cenários de incêndio e de verificar a conformidade dos projetos com as normas de segurança é fundamental para aprimorar a qualidade das análises realizadas pelo CBMSC.

Considerando as melhores práticas no campo da análise de segurança contra incêndio, é evidente que a implementação de um sistema de verificação automatizada não só alinha o CBMSC com as tendências globais de digitalização e inovação tecnológica, mas, também, representa um passo significativo na melhoria da segurança pública e na otimização dos recursos do CBMSC. Essa transição para métodos automatizados, conforme explorado por Nawari (2020) e por Lee *et al.* (2020), reflete as melhores práticas globais, atendendo às necessidades atuais e futuras de segurança e de eficiência.

Os aspectos relacionados com a situação-problema aqui apresentada serão discutidos sob duas perspectivas: a primeira relacionada ao CBMSC e a segunda à análise automatizada.

#### **4.3.1 Aspectos Críticos da Situação-Problema no Contexto do CBMSC**

##### *4.3.1.1 Complexidade, Variedade e Mudança das Normas*

A constante evolução e a complexidade das normas de segurança contra incêndio impõem desafios significativos ao processo manual de análise no CBMSC.

O texto de Soliman-Junior *et al.* (2021) destaca a dificuldade de traduzir informações regulatórias complexas para expressões lógicas computadorizadas, enfatizando a necessidade de capturar o conhecimento humano de modo formalizado para garantir completude e precisão. Essa complexidade é corroborada por Nawari (2020), que aponta as dificuldades na elaboração e na entrega de projetos de construção, devido à crescente complexidade das regulamentações.

Lee *et al.* (2020) acrescentam que a variação de códigos e normas entre diferentes regiões e a constante mudança das regulamentações aumentam o desafio, exigindo atualizações frequentes nas metodologias de verificação de regras. Amor e Dimyadi (2021) mencionam, ainda, a classificação das normas como um desafio adicional, dada a dependência de classificações atribuídas a componentes de construção para identificar informações específicas.

Nawari (2018) aprofunda essa discussão, apontando para a natureza dos regulamentos de construção que, frequentemente, referem-se a várias outras fontes e requerem conhecimento especializados distintos. A subjetividade, o uso inconsistente de terminologias e a complexidade na estruturação das legislações são aspectos que tornam a execução dos PPCI e suas análises atividades complexas e propensas a erros.

Em Santa Catarina, a legislação e as normas de segurança contra incêndio exemplificam a complexidade das regulamentações nesse âmbito. A Lei Kiss, juntamente com a Lei (federal) n. 13.425 de 2017 (Brasil, 2017), estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndios e desastres. Essa complexidade é aprofundada pela Lei (estadual) n. 16.157, de 2013 (Santa Catarina, 2013), e seu respectivo Decreto (estadual) n. 1.908, de 2022 (Santa Catarina, 2022), que delineiam normas e requisitos mínimos para a prevenção e a segurança contra incêndio e pânico.

Além disso, a Lei (estadual) n. 15.124, de 2010 (Santa Catarina, 2010b), e o Decreto (estadual) n. 3.465, de 2010 (Santa Catarina, 2010a), regulamentam exigências de segurança para eventos de grande concentração pública e a atividade de brigadistas particulares. As leis (estaduais) n. 11.339, de 2000 (Santa Catarina, 2000), e n. 16.768, de 2015 (Santa Catarina, 2015), juntamente com o Decreto (estadual) n. 1.412, de 2017 (Santa Catarina, 2017a), abordam especificamente as áreas recreativas aquáticas e as piscinas, impondo obrigações relativas à segurança nesses espaços.

No que tange ao enquadramento empresarial, a Lei Complementar n. 631, de 2014 (Santa Catarina, 2014), e a Lei (estadual) n. 17.071, de 2017 (Santa Catarina, 2017b), estabelecem diretrizes para microempresas, empresas de pequeno porte e microempreendedores individuais, enquanto a Lei (estadual) n. 7.541, de 1988 (Santa Catarina, 1988), dispõe sobre as taxas estaduais.

Complementando esse cenário, existem 34 INs em vigor que detalham uma série de diretrizes específicas, abarcando desde processos gerais de segurança contra incêndio (IN 01) e de aspectos mais detalhados, como instalações de gás combustível (IN 08), sistema de iluminação de emergência (IN 11), prevenção em espetáculos pirotécnicos (IN 27), até o controle de materiais de revestimento e acabamento (IN 18). A existência dessas 34 INs ilustra a abrangência e a

complexidade do panorama regulatório de segurança contra incêndio em Santa Catarina, refletindo os desafios inerentes às suas aplicação e conformidade.

Essa profusão de regulamentos e a necessidade de constante atualização e interpretação, como argumentado por João Soliman-Junior *et al.* (2021) e por Fenves *et al.* (1995), apresentam um desafio significativo. A natureza indeterminada dos requisitos regulatórios, com sua dependência de contexto e potencial para imprecisão e ambiguidade, dificulta a transição para processos automatizados de verificação de conformidade.

#### *4.3.1.2 Conhecimento e Subjetividade no Processo de Análise*

O processo de análise manual de PPCI dentro do CBMSC revela uma complexidade intrínseca que desafia tanto a eficiência quanto a eficácia do sistema. Silva e Arantes (2016) destacam a complexidade e o tempo exigido nessa tarefa, sublinhando o conhecimento aprofundado necessário dos agentes públicos responsáveis. Essa complexidade é amplificada pela natureza subjetiva do processo, como observado por Nawari (2020), em que as interpretações arbitrárias e a falta de uniformidade nas análises podem levar a inconsistências significativas.

Rodrigues (2015) enfatiza a ineficiência e a predisposição a erros inerentes ao processo manual de análise de PPCI, uma realidade que se torna ainda mais acentuada quando consideramos a diversidade e a constante mudança nas normas de segurança contra incêndio e pânico em Santa Catarina. Esses desafios são amplificados pelos requisitos detalhados e componentes regulatórios variados, conforme apontado por Lee *et al.* (2020), que ressaltam a dificuldade adicional para os participantes do projeto e os responsáveis pela análise.

Além disso, a interpretação humana, com suas limitações e variações, conforme discutido por Amor e Dimyadi (2021) e Dimyadi e Amor (2013), destaca a subjetividade do processo de análise manual. As análises realizadas por indivíduos diferentes podem levar a resultados divergentes para o mesmo projeto, afetando a consistência e a previsibilidade necessárias na análise de PPCI.

No contexto do CBMSC, a necessidade de precisão, de eficiência e de rapidez na análise de PPCI também é necessária. Os desafios destacados reforçam a necessidade de buscar métodos mais eficientes e menos propensos a erros, como a

análise automatizada, para garantir não apenas a conformidade regulamentar, mas, também, a segurança e o bem-estar da sociedade.

#### *4.3.1.3 Desafios na elaboração de PPCIs para os Responsáveis Técnicos*

A confecção dos PPCIs por parte dos responsáveis técnicos apresenta desafios notáveis. Lee *et al.* (2020) destacam que a confecção de projetos implica desafios significativos aos responsáveis técnicos. Esses desafios decorrem da necessidade de cumprir com um vasto leque de requisitos e componentes regulatórios complexos, em constante mudança e frequentemente ambíguo.

Esse cenário no CBMSC exemplifica a complexidade das regulamentações de segurança contra incêndio em Santa Catarina. A complexidade das normas e a constante necessidade de atualização e de interpretação, como discutido por Soliman-Junior *et al.* (2021) e Fenves *et al.* (1995), impõem desafios significativos. Os responsáveis técnicos, ao lidarem com essa diversidade de regulamentos e a necessidade de interpretação precisa, encontram-se frequentemente em um processo burocrático e moroso, o que pode dificultar a eficácia e a eficiência na realização dos PPCIs.

#### *4.3.1.4 Etapas Múltiplas no Processo de Análise de PPCIs*

O procedimento de análise de PPCIs no CBMSC é caracterizado por uma série de etapas interconectadas que vão desde a submissão inicial do projeto até a aprovação final. Esse processo, descrito na IN 01, Parte 1 (CBMSC, 2022a), inclui o preenchimento de formulários de solicitação, pagamento de taxas, envio de documentação e recebimento de *feedback*. Embora algumas dessas etapas tenham sido digitalizadas, a essência do processo permanece convencional e manual, implicando em uma carga administrativa significativa e abrindo espaço para possíveis atrasos e erros.

O relatório Fapesc (2023) aponta que tal abordagem é marcada pela burocratização e pela demora no processo de checagem. A complexidade e a lentidão do processo tradicional não apenas prolongam o tempo de resposta, mas também exigem um acompanhamento meticoloso e uma coordenação eficaz entre as diferentes instâncias dentro do CBMSC.

Em contrapartida, a adoção de um processo de análise automatizado pode simplificar e acelerar significativamente essas etapas, minimizando a necessidade de intervenções manuais e reduzindo o tempo geral de processamento. Tal abordagem não apenas agiliza a aprovação dos PPCIs, mas, também, contribui para uma gestão mais eficaz e responsiva das demandas de segurança contra incêndios.

#### *4.3.1.5 Motivos de indeferimento dos PPCI no CBMSC*

Caron (2021) investigou as principais razões pelas quais os PPCIs são indeferidos no CBMSC. O estudo revelou um padrão significativo de inconformidade dos projetos com as INs. As INs mais comumente associadas a pendências nos pareceres são a IN 01 – Procedimentos Administrativos –, a IN 09 – Sistema de Saída de Emergência –, a IN 11 – Sistema de Iluminação de Emergência –, a IN 08 – Instalações de Gás Combustível – e a IN 18 – Controle de Materiais de Revestimento e Acabamento. A maioria dos casos de indeferimento está relacionada a falhas na documentação.

A análise de Caron (2021) é crucial para entender onde os projetos falham em atender às normativas, direcionando a atenção para áreas específicas que requerem melhoria. A predominância de pendências em procedimentos administrativos sugere uma necessidade de maior clareza e formação nas diretrizes de documentação. A frequência de inconformidades nas outras INs aponta para a necessidade de revisão e talvez simplificação dessas normas, para torná-las mais acessíveis e fáceis de cumprir.

#### *4.3.1.6 Prazos dos Projetos Preventivos Contra Incêndio*

Conforme discutido nas seções 3.3.2 e 3.3.3, a investigação documental e a subsequente análise dos dados obtidos do sistema *Analytics Qlik* do CBMSC revelaram informações importantes sobre o processo de análise dos PPCIs. A partir desses dados, identificamos 13.119 PPCIs, gerando um total de 25.144 processos de análise e de reanálise. Essa quantidade elevada evidencia o volume significativo de trabalho realizado pelo CBMSC, destacando não apenas a alta demanda de análise inicial, mas, também, a frequente necessidade de reanálise em virtude da inadequação dos PPCIs apresentados. Para compreender melhor essas dinâmicas e

suas implicações, foi realizada uma análise estatística detalhada, utilizando medidas de tendência central e dispersão para desvendar as nuances dos tempos de resposta dos protocolos e dos processos, bem como as áreas analisadas/vistoriadas.

A aplicação de estatísticas descritivas revela que o tempo de resposta no terceiro quartil é de 49 dias, indicando que aproximadamente 25% dos casos excedem substancialmente o prazo regulamentar. O tempo médio de resposta dos protocolos de PPCI é de 33 dias, ultrapassando significativamente o prazo máximo de 20 dias estipulado pela IN 01 do CBMSC. A mediana de 20 dias alinha-se ao limite regulamentar, mas o desvio padrão elevado de 37,87 dias e um coeficiente de variação de 114,8% evidenciam uma ampla variação nos tempos de resposta. Essa variabilidade é ainda mais acentuada ao considerar o intervalo interquartil, que varia de 5 a 49 dias.

Interessante notar que a razão entre o número total de análises/reanálises e o número de PPCIs é de aproximadamente 1.91 (25.144 análises/reanálises para 13.119 PPCIs), indicando que, em média, cada PPCI passa por quase duas análises ou reanálises. Essa razão realça a frequente necessidade de análises múltiplas por PPCI, o que pode contribuir para o alongamento dos tempos de resposta.

Por fim, a correlação entre a área analisada nos PPCIs e o tempo de resposta, com um coeficiente de Pearson de 0.153, indica uma relação linear fraca. Isso implica que, embora PPCIs com áreas maiores tendam a ter tempos de resposta ligeiramente mais longos, a área analisada não é um fator determinante crítico no tempo de resposta.

Esses resultados apontam para desafios significativos no cumprimento dos prazos regulamentares para a análise de PPCI no CBMSC. A análise dos tempos de resposta, especialmente considerando os dados do terceiro quartil, juntamente com a razão entre análises/reanálises e PPCIs, indicam a necessidade de uma avaliação mais profunda dos procedimentos atuais, visando identificar e abordar os fatores que contribuem para os atrasos e as inconsistências observadas.

### 4.3.2 Aspectos Críticos da Situação-Problema em Relação à Análise Automatizada

#### 4.3.2.1 Adoção Lenta de Avanços Tecnológicos no Setor de Segurança Contra Incêndio

A lentidão na adoção de avanços digitais, como o BIM e a análise automatizada no setor de segurança contra incêndio, apresenta desafios significativos, como destacado por Malagnino *et al.* (2022) e por Siddiqui *et al.* (2021). Essa resistência à inovação digital é atribuída a vários fatores, incluindo a falta de conhecimento sobre o BIM no setor de consultoria de incêndio, a necessidade de padronizar conceitos e processos, definir papéis e responsabilidades mais claros e criar regulamentações de incêndio que facilitem o desenvolvimento de código executável para verificação de conformidade.

Os problemas de interoperabilidade entre as plataformas BIM e as ferramentas computacionais de segurança contra incêndio são um dos principais obstáculos para a integração dessas tecnologias avançadas. Além disso, Siddiqui *et al.* (2021) apontam para a falta de um fluxo contínuo e consistente de informações relevantes ao longo do ciclo de vida de um projeto, conhecido como “*golden thread of information*”, que atenda às necessidades específicas do setor de segurança contra incêndio. Essa ausência de um submodelo específico de domínio para segurança contra incêndio, como é comum nos modelos arquitetônico e estrutural, destaca uma lacuna significativa na integração de informações cruciais de segurança contra incêndios de maneira eficiente e coerente.

#### 4.3.2.2 Complexidade das Normas e a Análise Automatizada

A complexidade e constante evolução das normas de contra incêndio representam desafios significativos para a transição da análise manual para a automatizada de PPCI. Ghannad *et al.* (2019) destacam a natureza genérica das normas que dificulta a adaptação às necessidades específicas dos projetos. Lee *et al.* (2020) enfatizam a necessidade de constante atualização das metodologias de verificação de regras, dada a variação de códigos e normas normativas.

A tradução de informações regulatórias para expressões lógicas computadorizadas, mantendo o sentido original, é um desafio crítico apontado por Soliman-Junior *et al.* (2021). Além disso, Amor e Dimyadi (2021) abordam a complexidade das classificações das normas, ressaltando a falta de padronização e a dificuldade de integrá-las em sistemas de verificação automatizada.

Nawari (2018) propõe a implementação de linguagens de modelagem que convertam regulamentos escritos em linguagem humana em regras executáveis por computador, facilitando a análise automatizada.

No contexto do CBMSC, superar esses obstáculos é vital para efetivar a verificação automatizada, exigindo esforços colaborativos para desenvolver sistemas precisos e adaptáveis. A integração de tecnologias como BIM na análise de PPCI pode otimizar o processo, mas requer superação de desafios técnicos e de interoperabilidade.

#### *4.3.2.3 Aspectos Críticos na Transformação de Normas em Regras Computacionais*

A conversão de normas regulatórias, compostas por textos, tabelas, desenhos e imagens, em expressões lógicas para sistemas computacionais é uma tarefa desafiadora, como destacado por Soliman-Junior *et al.* (2021). A necessidade de manter o sentido original dessas informações enquanto são transformadas em formatos compreensíveis por computador implica em dificuldades substanciais. Lee *et al.* (2020) reforçam essa visão, identificando a transição de um formato legível por humanos para um legível por computador como um dos principais desafios.

A precisão e eficiência na interpretação e representação das regras ainda representam limitações significativas. Apesar dos avanços na pesquisa, como mencionado por Soliman-Junior *et al.* (2021), a automação total desses processos ainda não foi alcançada. Nawari (2020) destaca a complexidade envolvida na interpretação formal da lógica das disposições do código e sua codificação em instruções computacionais.

Para mitigar essas dificuldades, a transformação de textos regulatórios em regras legíveis por computador pode ser dividida em duas etapas principais: interpretação e representação de regras. Essa abordagem, necessitando de ampla experiência e expertise, ainda é predominantemente manual e consome tempo significativo, conforme indicado por Zhang, Ma e Broyd (2022). A automatização

desses processos, embora reconhecida como crucial, enfrenta obstáculos devido à complexidade e à diversidade dos textos regulatórios, limitando a eficácia dos métodos de aprendizado de máquina, como NLP.

O desenvolvimento de métodos de IA e de NLP, como indicado por Nawari (2018), pode proporcionar avanços significativos na extração e na interpretação automatizada de regras a partir de textos regulatórios. Além disso, a parametrização de regras, enfatizada por Ghannad *et al.* (2019), é fundamental para criar uma base robusta para a análise de regras e para o mapeamento de processos. A abordagem de Nawari (2020) para a informatização das regras, focada em mineração de texto regulatório e na web semântica, também apresenta potencial significativo para a criação de representações computáveis.

Em suma, a tradução das normas em regras computacionais é um processo complexo, marcado por desafios significativos e limitações atuais. No entanto, as perspectivas futuras, com o desenvolvimento contínuo de tecnologias de IA e de NLP, indicam um caminho promissor para superar esses obstáculos e efetivar a transformação de normas regulatórias em expressões lógicas orientadas por computador, contribuindo para a eficácia e eficiência no campo regulatório.

#### *4.3.2.4 Limitações de Personalização e Especificidade Extrema na Análise Automatizada*

A transição para a análise automatizada de normas no contexto do CBMSC enfrenta desafios críticos relacionados à falta de personalização e de especificidade extrema em sistemas automatizados. Amor e Dimyadi (2021), Nawari (2018; 2020) e Ghannad *et al.* (2019) destacam que muitos sistemas de verificação de conformidade são baseados em esquemas proprietários ou regras específicas de domínio, classificados como sistemas de caixa preta, cinza e branca. Esses sistemas, embora eficazes em algumas implementações, sofrem limitações devido ao alto custo de manutenção, dificuldade de modificação e falta de um framework generalizado para modelagem adaptável.

A maior parte dessas ferramentas utiliza mecanismos baseados em IA e regras codificadas, restringindo a capacidade do usuário de personalizar as regras de verificação. A falta de transparência desses sistemas codificados impede que especialistas de domínio verifiquem ou validem com precisão o processo de

verificação, limitando sua aplicabilidade em situações complexas e dinâmicas. Em contraste, sistemas semiautomatizados, como o *Solibri Code Checker*, oferecem maior personalização, permitindo a adição de regras usando linguagens como JAVA.

Nesse contexto, o CBMSC enfrenta o desafio de adaptar sistemas de análise automatizada às suas necessidades específicas, dada a complexidade e a constante evolução das NSCI. A natureza genérica dos sistemas existentes e a falta de um arcabouço generalizado para regras e modelagem de regulamentos adaptáveis dificultam a transição para processos automatizados eficazes. Além disso, a necessidade de constante atualização e interpretação das normas, como discutido por Soliman-Junior *et al.* (2021) e por Fenves *et al.* (1995), amplia essa dificuldade.

#### *4.3.2.5 Interoperabilidade na Análise Automatizada: Desafios e Soluções*

A interoperabilidade entre diferentes sistemas e ferramentas de análise automatizada das NSCI é um aspecto crítico. Conforme destacado por Nawari (2018), o BIM tem seus benefícios maximizados quando há um compartilhamento eficiente de informações entre diferentes organizações e sistemas. A adoção de extensões de arquivo abertos como o IFC é fundamental para essa interoperabilidade.

Ghannad *et al.* (2019) ressaltam a importância dos padrões abertos, que promovem a transparência, a flexibilidade e a interoperabilidade, essenciais para a troca eficaz de dados. Entretanto, a interoperabilidade de dados entre plataformas de criação BIM e ferramentas de análise BIM é complexa, conforme indicado por Getuli *et al.* (2017), e enfrenta desafios significativos para manter a compatibilidade e o fluxo de informações.

No fluxo de trabalho BIM, a necessidade de interoperabilidade entre diferentes partes envolvidas no projeto, como projetistas, contratantes, fornecedores e analistas, é crucial. Amor e Dimyadi (2021) e Nawari (2018) observam que os sistemas de análise automatizada requerem que os modelos de construção baseados em objetos contenham informações precisas para permitir a verificação automatizada das normas de construção.

A falta de um padrão universal para os arquivos BIM e a complexidade na integração de diferentes sistemas e ferramentas limitam a eficiência da análise automatizada. Portanto, a adoção de padrões abertos como o IFC e a promoção de

uma colaboração mais estreita entre os diferentes atores envolvidos são passos essenciais para superar essas barreiras.

#### *4.3.2.6 Desafios na Qualidade e na Modelagem BIM para Análise Automatizada*

A análise automatizada enfrenta desafios relacionados à qualidade dos modelos BIM e às diversas abordagens de modelagem. Segundo Nawari (2018), os modelos BIM destinados à verificação de conformidade automatizada requerem um nível de detalhe e de informações mais rigoroso do que os desenhos 3D ou 2D comuns. Isso implica que os profissionais responsáveis pela criação desses modelos devem incluir informações detalhadas nos projetos.

Amor e Dimyadi (2021) reforçam que a qualidade dos dados no modelo BIM deve ser alta para garantir uma verificação automatizada confiável. A diversidade nas formas de modelagem BIM resulta em representações variadas para construções semelhantes, criando desafios adicionais para análise automatizada, que espera encontrar objetos específicos nos modelos BIM.

Além disso, Amor e Dimyadi (2021) destacam o alto custo envolvido na criação de um modelo BIM completo e de alta qualidade, necessário para a verificação automatizada. Esses custos muitas vezes excedem as expectativas atuais dos responsáveis técnicos, refletindo um investimento significativo em termos de tempo e de recursos.

Esses desafios indicam a necessidade de um investimento considerável na formação dos profissionais envolvidos na criação de modelos BIM e na definição de padrões de qualidade e de detalhamento. Além disso, é essencial a adaptação dos sistemas de verificação automatizada para acomodar as variações nos métodos de modelagem BIM, garantindo uma análise eficaz e precisa de PPCI.

### **4.3.3 Potencialidades do CBMSC em relação ao PPCI**

#### *4.3.3.1 Programa de Pesquisa e Inovação em Projetos Preventivos (PPCI) por meio da verificação automática de regras com o uso da Plataforma BIM no CBMSC*

No âmbito do Programa de Pesquisa e Inovação em Projetos Preventivos (PPCI) (Fapesc, 2023) por meio da verificação automática de regras com o uso da Plataforma BIM no CBMSC, foram identificados três tipos principais de requisitos nas INs do CBMSC: Requisitos Não Aplicáveis (NA), Requisitos Aplicáveis em projeto, mas Não Paramétricos (ANP) e Requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP). Essa categorização revela uma maioria de Requisitos Aplicáveis e Paramétricos, que são essenciais para a implementação de verificações automatizadas, ao passo que os requisitos NA e ANP requerem uma abordagem mais manual e interpretativa.

O relatório final do Programa revela o potencial da automação na verificação de PPCIs, com uma significativa maioria de requisitos sendo Aplicáveis e Paramétricos. Tal constatação sugere uma facilidade para a implementação de verificações automatizadas no CBMSC. No entanto, a presença de requisitos NA e ANP indica que ainda há um papel essencial para o julgamento humano e a análise manual, especialmente em áreas que exigem interpretação subjetiva ou que estão fora do escopo do modelo BIM. Essa combinação de abordagens automatizadas e manuais, ou seja, análises semiautomatizadas, pode levar a um equilíbrio mais eficiente e eficaz na análise de PPCIs.

Tal abordagem reconhece as limitações atuais da tecnologia BIM para algumas áreas da verificação de normas de segurança contra incêndio e pânico, ao mesmo tempo em que capitaliza as vantagens da automação nos casos em que é aplicável. A implementação dessa estratégia combinada no CBMSC pode, portanto, levar a melhorias significativas na precisão, na eficiência e na rapidez das análises de PPCI, alinhando-se com os objetivos de modernização e de inovação da instituição.

#### *4.3.3.2 Movimento para simplificação, desburocratização e inovação no serviço público*

O CBMSC tem demonstrado notável progresso no campo da simplificação, da desburocratização e da inovação no serviço público. Essa evolução é evidenciada pela implementação de estratégias inovadoras na Diretoria de Segurança Contra Incêndio.

A implementação do processo simplificado de regularização de edificações pelo CBMSC, iniciada em julho de 2022, marcou uma importante evolução no serviço público relacionado à segurança contra incêndios. Com base na Lei n. 18.284 (Santa Catarina, 2021) e no Decreto 1.908 (Santa Catarina, 2022), esse processo foi resultado de um ano de estudos colaborativos entre o CBMSC e diversas entidades, como Crea, CAU, Fiesc, Sebrae e Jucesc.

Essa mudança permitiu que processos de construção de novas edificações e a emissão do atestado de Habite-se para empreendimentos de até 5 mil m<sup>2</sup> sejam processados em apenas um dia útil, uma melhoria significativa em termos de eficiência. Além de agilizar os procedimentos, a iniciativa promove maior autonomia e responsabilidade para os profissionais técnicos envolvidos.

Com essa inovação, o CBMSC destaca-se no cenário nacional pela otimização dos procedimentos no serviço público, mantendo os padrões de segurança necessários. Tal esforço de simplificação e de desburocratização reflete um compromisso com a prestação de serviços públicos mais ágeis e eficientes.

Esses procedimentos estão intrinsecamente ligados ao Plano Estratégico 2018-2030 do CBMSC, que visa a modernização e a inovação no gerenciamento operacional e administrativo da corporação.

## 5 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

A implementação da verificação automatizada de PPCIs no CBMSC apresenta uma oportunidade notável para melhorar a eficiência, a precisão e a conformidade dos processos de análise. A análise crítica dos dados presentes na dissertação revela que a introdução de análises automatizadas poderia ter um impacto significativo na agilidade dos processos, principalmente ao considerar os prazos atuais. Atualmente, o tempo médio de resposta para os protocolos de PPCI é de 33 dias, superando o prazo regulamentar de 20 dias estabelecido pela IN 01 do CBMSC.

Com essa inovação tecnológica, a análise dos projetos pode ser realizada de forma instantânea, uma mudança significativa em relação aos prazos atuais que, em média, excedem o limite regulamentar estabelecido.

A automação possibilitaria aos responsáveis técnicos realizar uma checagem prévia dos projetos utilizando o próprio sistema. Esse processo garantiria que todos os requisitos necessários fossem atendidos antes da submissão do projeto para a análise definitiva. Tal abordagem não só aceleraria o processo de análise, mas, também, aumentaria a precisão e a conformidade dos PPCIs com as normativas vigentes.

Com a checagem prévia, os responsáveis técnicos poderiam identificar e corrigir possíveis inadequações ou falhas no projeto em tempo real, reduzindo a necessidade de reanálises frequentes que atualmente prolongam os prazos de resposta do CBMSC. Além disso, o sistema de análise automatizada forneceria feedback instantâneo, permitindo ajustes imediatos e aumentando as chances de aprovação do PPCI na primeira tentativa de submissão.

A proposta de uma abordagem semiautomática ou híbrida para a análise de PPCI no CBMSC, conforme sugerido por diversos autores, apresenta-se como uma solução pragmática e inovadora. Essa estratégia, que equilibra a automação com análises manuais, pode ser particularmente eficaz durante a fase de transição para um sistema totalmente automatizado no futuro.

A abordagem semiautomática aproveita as vantagens da tecnologia para realizar tarefas repetitivas e de grande volume, ao mesmo tempo em que mantém o discernimento humano para questões mais complexas e subjetivas que não puderam ser traduzidas para a linguagem computacional. Essa combinação é crucial,

especialmente em situações em que a interpretação normativa exige um nível de julgamento que ainda não pode ser completamente replicado por máquinas.

A implementação de uma estratégia semiautomática no CBMSC permitiria uma adaptação gradual às novas tecnologias, minimizando potenciais interrupções no serviço e garantindo que o sistema automatizado seja implementado de maneira eficaz e eficiente. Essa abordagem também proporciona uma oportunidade para o CBMSC testar e aprimorar os aspectos automatizados do sistema em um ambiente real, enquanto ainda se beneficia da experiência e do conhecimento dos profissionais humanos.

Esse processo gradual e controlado de mudança permitiria ao CBMSC explorar plenamente os benefícios da automatização, enquanto gerencia de forma proativa os desafios e as limitações inerentes a essa transição.

A IN 09 (CBMSC, 2022c), que versa sobre o sistema de saída de emergência, destaca-se com a maior quantidade de requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP). A escolha dessa IN como ponto de partida para a implementação da verificação automatizada de PPCI no CBMSC apresenta uma oportunidade estratégica significativa. A predominância de requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP) nessa IN sugere que ela contém critérios bem definidos e mensuráveis, que são ideais para a aplicação de sistemas de análise automatizada, facilitando a sua tradução em regras lógicas computacionais, tornando-a uma candidata ideal para um projeto-piloto.

A implementação de um sistema de verificação automatizada nessa IN permitiria ao CBMSC avaliar a eficácia da automatização em um escopo mais limitado e gerenciável. Esse teste inicial proporcionaria *insights* valiosos sobre a capacidade do sistema de lidar com normas complexas e diversas, oferecendo uma oportunidade para ajustes e melhorias antes da expansão para outras INs.

Além disso, o CBMSC poderia desenvolver e aperfeiçoar metodologias e algoritmos que poderiam ser adaptados posteriormente para atender às necessidades de outras INs. Isso inclui o ajuste de parâmetros do sistema, aprimoramento de interfaces de usuário, e a garantia de que o sistema possa lidar eficientemente com variações e especificidades de diferentes INs.

Por fim, a transição para a verificação automatizada deve ser escalonada, considerando tanto os desafios tecnológicos quanto as complexidades das normas e regulamentações de segurança contra incêndio. As melhorias potenciais, como a otimização dos recursos, o aprimoramento da segurança pública e o alinhamento com

as tendências tecnológicas globais, reforçam a viabilidade e a necessidade de adotar essa abordagem. No entanto, é essencial considerar os desafios e as limitações, especialmente no que diz respeito à complexidade das normas e às barreiras tecnológicas, para garantir uma transição bem-sucedida e eficaz para sistemas de verificação automatizada.

## 5.1 ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA ANÁLISE AUTOMATIZADA DE PPCI NO CBMSC

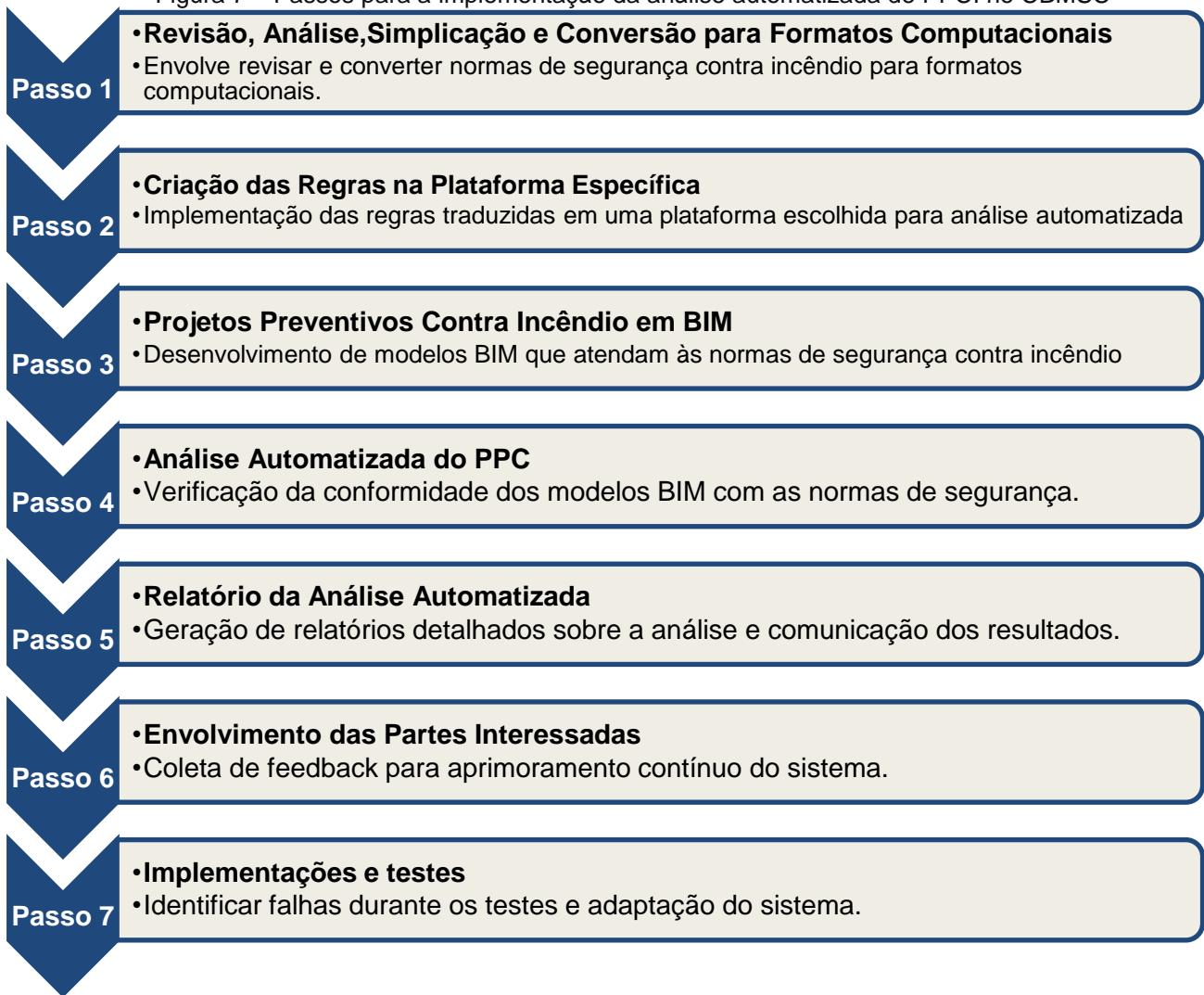
Para a implementação da análise automatizada no CBMSC, é essencial considerar o contexto e as necessidades específicas do CBMSC, juntamente com as melhores práticas descritas na seção 2.1.10.

As estratégias apontadas nesta seção, são igualmente aplicáveis para implementação de análises semiautomáticas. Para garantir sua implementação nesse caso, é necessário direcionar o foco para os requisitos objetivos e lógicos das normas de segurança contra incêndio. Desta forma, concentrando-se em normas com parâmetros claramente definidos e mensuráveis, as estratégias indicadas poderão ser adaptadas para promover uma abordagem semiautomática. Nesse cenário, a automação gerencia a verificação de critérios claros e quantificáveis, enquanto a intervenção humana é reservada para áreas que demandam julgamento e interpretação subjetiva.

Assim, a abordagem focada em requisitos objetivos e lógicos, é uma ferramenta valiosa não apenas para a análise totalmente automatizada, mas, também, para análises semiautomáticas no CBMSC. Esse método não apenas atua como uma fase intermediária no processo de automação, mas, também, apresenta-se como uma solução a longo prazo em casos em que a intervenção humana continua sendo indispensável.

As estratégias sugeridas compreendem os passos descritos na figura 7, a seguir, e que serão detalhados nas seções seguintes.

Figura 7 – Passos para a implementação da análise automatizada de PPCI no CBMSC



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 5.1.1 Revisão, Análise, Simplificação e Conversão para Formatos Computacionais

O objetivo principal dessa etapa é revisar, analisar, simplificar e converter normas e regulamentos de segurança contra incêndio em código computacional, o que representa um desafio significativo devido à complexidade inerente a esses textos regulatórios. Nawari (2018), ressalta a importância de transformar textos regulatórios em representações de regras que sejam legíveis por computador, evidenciando a complexidade envolvida nesse processo. Esse desafio é reforçado por Amor e Dimyadi (2021), que destacam as dificuldades de extrair conhecimento normativo de disposições em linguagem natural. A tradução dessas normas para uma linguagem computacional não é apenas uma questão de reescrever o texto, mas, também,

envolve a compreensão e a representação apropriada da intenção e do conteúdo normativo subjacente.

Para o desenvolvimento dessa etapa, utilizou-se o estudo de Lee *et al.* (2020), que propôs a estruturação de regras lógicas em três partes distintas. Essa metodologia estabelece uma estrutura clara para identificar e definir os componentes essenciais de uma legislação, tais como os objetos, as ações envolvidas e a lógica subjacente. Paralelamente, a conversão de sentenças em formato lógico implica na simplificação e na reestruturação desses elementos em unidades lógicas que podem ser eficientemente processadas por um computador. Essas técnicas combinadas facilitam a criação de sistemas de avaliação automatizada capazes de interpretar e aplicar regras legais com eficiência e precisão.

Além disso, é importante ressaltar que a execução dos passos de análise da norma e simplificação e decomposição por si só já facilitaria significativamente a execução da análise manual de PPCI. Ao analisar e compreender a intenção e os detalhes técnicos de cada norma, seguido pela decomposição em componentes chave e pela simplificação da linguagem, cria-se uma base mais clara e acessível para os profissionais envolvidos. Essa abordagem não apenas facilita a interpretação das normas, mas também ajuda a identificar rapidamente as áreas cruciais e os requisitos específicos durante a análise manual de PPCI, promovendo uma aplicação mais consistente e eficiente das regras de segurança contra incêndio.

É importante destacar que a tradução efetiva para o formato computacional é viável somente para regras objetivas e mensuráveis. No âmbito do CBMSC e conforme indicado pela Fapesc (2023), essa conversão é aplicável predominantemente aos Requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP), que compreendem a maioria das normas catalogadas e são caracterizados por parâmetros objetivos e mensuráveis. Contudo, na execução dessa etapa, mesmo regras subjetivas, incluindo tanto os Requisitos Não Aplicáveis (NA) quanto os Requisitos Aplicáveis e Paramétricos (AP), podem ser simplificadas e potencialmente transformadas em parâmetros objetivos e quantificáveis. Tal processo não só facilita a interpretação automática das normas, mas, também, contribui para uma aplicação mais consistente e precisa das regras de segurança contra incêndio na análise de PPCI manual.

## **Processo Detalhado:**

### **1. Análise da norma:**

**Identificação:** revisar as NSCI para identificar todas as regras e diretrizes relevantes.

**Compreensão:** entender a intenção e os detalhes técnicos de cada norma.

### **2. Simplificação e Decomposição:**

**Decomposição em Componentes Chave:** separar as normas em componentes essenciais, identificando sujeitos, objetos e ações descritas.

**Simplificação de Linguagem:** transformar o texto legal em uma linguagem mais clara e direta.

### **3. Conversão para Formato Computacional:**

**Tradução em Estrutura Lógica:** utilizar a estruturação em três partes (frases nominais, frases verbais, lógica) para criar uma representação lógica das normas, utilizando conectores lógicos do tipo IF(SE), AND(E), OR(OU), THEN(ENTÃO) e outros.

**Criação de Unidades Lógicas Básicas:** converter as regras simplificadas em unidades lógicas básicas que podem ser facilmente processadas por computadores.

A seguir, um exemplo de aplicação utilizando o art. 16 da IN 06 do CBMSC:

Art. 15. A proteção por extintores sobrerochas deve ser obrigatória nos imóveis sem hidrantes em que houver manipulação e ou armazenamento:  
I - de explosivos; ou  
II - volume superior a 10 m<sup>3</sup> de líquidos inflamáveis ou combustíveis.  
(CBMSC, 2022b).

### **1. Análise da norma:**

**Identificação:** extintores sobrerochas são obrigatórios em imóveis sem hidrantes que manipulam ou armazenam explosivos ou mais de 10 m<sup>3</sup> de líquidos inflamáveis/combustíveis.

**Compreensão:** a norma foca na segurança em locais de alto risco sem hidrantes.

## **2. Simplificação e Decomposição:**

**Decomposição em Componentes Chave:** extintores (objeto), ausência de hidrantes (condição), armazenamento/manipulação de materiais perigosos (condição).

**Simplificação de Linguagem:** em locais sem hidrantes, extintores sobre rodas são necessários se houver explosivos ou grandes quantidades de líquidos inflamáveis.

## **3. Conversão para Formato Computacional:**

**Tradução em Estrutura Lógica:** IF (sem hidrantes) AND (presença de explosivos ou  $>10\ m^3$  de líquidos inflamáveis) THEN (obrigatório extintores sobre rodas).

**Criação de Unidades Lógicas Básicas:** sentença lógica simplificada representando a regra.

### **5.1.2 Criação das Regras na Plataforma Específica**

Após a revisão, análise, simplificação e conversão das normas e regulamentos de segurança contra incêndio para formatos computacionais, a próxima etapa envolve a implementação dessas regras na plataforma específica escolhida para a análise automatizada no CBMSC.

É crucial destacar a necessidade de um estudo aprofundado para a escolha da plataforma de verificação. Essa necessidade decorre da ampla gama de opções disponíveis, cada uma com suas particularidades e adequações a diferentes contextos e necessidades. Entretanto, é fundamental que o sistema seja baseado em BIM e que seja capaz de realizar a leitura de arquivos IFC.

Entre as plataformas disponíveis para a verificação de regras em dados de modelos BIM e que executam arquivos IFC, destacam-se o *Solibri Model Checker* (SMC), *Fornax* e *Jotne EDModelChecker* (EDM), conforme mencionado por Eastman *et al.* (2009) e Solihin *et al.* (2020). Esses sistemas variam em termos de funcionalidades e aplicações, tornando a escolha dependente de critérios específicos do CBMSC.

## **Processo Detalhado:**

### **1. Criação das Regras:**

Inserir as regras computacionais na plataforma, garantindo que elas sejam compatíveis com a estrutura e o formato do sistema. A integração deve ser feita de forma que as regras sejam facilmente acessíveis e executáveis pelo software.

### **2. Teste e Validação:**

Realizar testes rigorosos para garantir que as regras sejam aplicadas corretamente pelo sistema. Isso inclui validar a lógica das regras, a precisão na identificação de não conformidades e a eficácia na geração de relatórios.

### **3. Ajustes e Melhorias:**

Com base nos resultados dos testes, realizar ajustes necessários nas regras para aprimorar a precisão e a eficácia do sistema. Isso pode envolver refinamentos na lógica das regras ou na forma como são aplicadas pela plataforma.

Para ilustrar a aplicação prática, utilizamos o exemplo da norma referente à proteção por extintores sobrerrodas, conforme o art. 15 da IN 06 do CBMSC (CBMSC, 2022b):

#### **Regra Original:**

A proteção por extintores sobrerrodas deve ser obrigatória nos imóveis sem hidrantes em que houver manipulação e/ou armazenamento de explosivos ou volume superior a 10 m<sup>3</sup> de líquidos inflamáveis ou combustíveis.

#### **Implementação na Plataforma:**

**Regra Computacional:** IF (sem hidrantes) AND (presença de explosivos ou >10 m<sup>3</sup> de líquidos inflamáveis) THEN (obrigatório extintores sobrerrodas).

**Procedimento:** inserir a regra computacional no sistema, assegurando que a plataforma reconheça as condições especificadas e aplique a regra de forma automática e precisa.

### **5.1.3 Projetos Preventivos Contra Incêndio em BIM**

Após a criação e a implementação das regras na plataforma específica, o próximo passo é a confecção de Projetos Preventivos Contra Incêndio em BIM.

#### **Processo detalhado:**

##### **1. Desenvolvimento da Biblioteca de Objetos BIM:**

**Compilação de Objetos Relevantes:** desenvolver e compilar uma biblioteca abrangente de objetos BIM que inclua todos os elementos necessários para a construção de modelos em conformidade com as NSCI.

**Padronização e Detalhamento:** garantir que os objetos da biblioteca sejam detalhados e padronizados, facilitando a criação de modelos BIM consistentes e precisos.

##### **2. Facilitação do Acesso e Uso da Biblioteca:**

**Disponibilidade e Acesso:** tornar a biblioteca de objetos BIM facilmente acessível para os usuários, incluindo arquitetos, engenheiros e analistas de PPCI do CBMSC.

**Treinamento e Suporte:** fornecer treinamento e suporte sobre como utilizar efetivamente a biblioteca na criação de modelos BIM, assegurando a utilização ótima dos recursos disponíveis.

**3. Desenvolvimento do PPCI em BIM:** criar modelos BIM que incorporem todas as normas de segurança contra incêndio disponíveis.

#### **Exemplo Prático de Implementação:**

Utilizando o exemplo da norma de proteção por extintores sobrerrodas:

**Objeto BIM de Extintor Sobreroda:** desenvolver e incluir na biblioteca um objeto BIM detalhado de um extintor sobreroda, completo com todas as especificações técnicas necessárias.

**Integração no Modelo BIM:** facilitar o uso do objeto BIM de extintor sobreroda pelos profissionais, assegurando que eles possam integrá-lo facilmente nos seus modelos BIM, em conformidade com a norma relevante.

### **5.1.4 Análise Automatizada do PPCI**

Após o desenvolvimento e a implementação das regras na plataforma específica, e a confecção de Projetos Preventivos Contra Incêndio em BIM, o próximo passo é a verificação de regras e a conformidade com as normas de segurança contra incêndio.

#### **Processo detalhado:**

##### **1. Utilização do PPCI em BIM:**

**Utilização do Modelo BIM Desenvolvido:** utilizar o modelo de código de construção desenvolvido nas fases anteriores para realizar verificações automáticas de conformidade. Isso inclui a aplicação das regras computacionais inseridas na plataforma de verificação para analisar os modelos BIM em busca de qualquer não conformidade com as NSCI.

**Integração de Modelos BIM com a Plataforma:** garantir uma integração eficiente entre os modelos BIM e a plataforma de análise automatizada, permitindo uma verificação precisa e consistente.

##### **2. Teste e Validação**

**Verificações de Conformidade:** realizar testes rigorosos para validar a precisão da verificação automática de conformidade. Isso envolve a análise de diferentes modelos BIM sob várias NSCI para garantir que todas as não conformidades sejam identificadas corretamente pelo sistema.

**Ajuste do Sistema de Verificação:** com base nos resultados dos testes, realizar ajustes no sistema de verificação automática para melhorar sua precisão e eficiência. Isso pode incluir refinamentos na interpretação das regras ou melhorias na integração dos modelos BIM.

#### **Exemplo Prático de Implementação:**

Para ilustrar a aplicação prática dessa etapa, continuamos com o exemplo da norma de proteção por extintores sobre rodas:

**Verificação Automática de Conformidade:** utilizar o modelo BIM que inclui o objeto detalhado do extintor sobre rodas para realizar verificações automáticas. O sistema deve verificar se os extintores sobre rodas estão presentes e corretamente

positionados em edificações sem hidrantes e onde exista manipulação ou armazenamento de explosivos ou líquidos inflamáveis em volumes superiores a 10 m<sup>3</sup>, conforme especificado na norma.

**Teste e Validação do Modelo:** testar o modelo BIM em diferentes cenários para assegurar que o sistema identifique corretamente a conformidade ou não conformidade com a norma especificada, e ajustar a configuração do sistema conforme necessário para garantir precisão e eficiência na verificação.

### 5.1.5 Relatório da Análise Automatizada

Após a análise automatizada de PPCI e a verificação de conformidade com as NSCI, a próxima etapa é a geração de relatórios detalhados e a comunicação dos resultados aos *stakeholders* envolvidos. Essa etapa é crucial para assegurar transparência, permitir ações corretivas quando necessário e garantir a eficácia do processo de verificação.

#### Processo detalhado:

##### 1. Geração de Relatórios:

**Produção de Relatórios Detalhados:** criar relatórios detalhados sobre a conformidade dos projetos com as NSCI. Esses relatórios devem destacar áreas de conformidade e não conformidade, sugerindo ações corretivas para quaisquer problemas identificados.

**Relatórios Claros e Compreensíveis:** assegurar que os relatórios sejam claros e comprehensíveis, facilitando a interpretação pelos *stakeholders*, incluindo detalhes técnicos e recomendações práticas.

##### 2. Feedback aos Stakeholders:

**Comunicação com Responsáveis pelo Projeto:** comunicar os resultados das verificações de forma clara e eficiente aos responsáveis pelo projeto, incluindo arquitetos, engenheiros e membros do CBMSC.

**Promoção do Diálogo e Colaboração:** estabelecer canais de comunicação eficientes para discutir os resultados dos relatórios, permitindo um diálogo construtivo e colaborativo para melhorias nos projetos.

Exemplo Prático de Implementação:

Utilizando o exemplo anterior da norma de proteção por extintores sobreroadas:

**Relatório de Conformidade do Modelo BIM:** produzir um relatório detalhado sobre a análise do modelo BIM que inclui o objeto do extintor sobreroadas. Esse relatório deve identificar se os extintores estão ou não presentes e corretamente posicionados conforme a norma, destacando quaisquer áreas de não conformidade e recomendando ações corretivas.

**Comunicação dos Resultados:** enviar o relatório aos responsáveis pelo projeto e permitir um canal de comunicação entre as partes.

#### 5.1.6 Envolvimento das partes interessadas

O objetivo dessa etapa é obter *feedback* dos *stakeholders* internos e externos para aprimorar continuamente o sistema de análise automatizada. De acordo com Soliman-Junior *et al.* (2021), o desafio reside em integrar as diferentes necessidades e expectativas em um sistema unificado, equilibrando as diversas perspectivas para criar um sistema eficaz e amplamente aceito.

##### Processo detalhado:

###### 1. Realização de Reuniões, Palestras e similares:

Organizar sessões com uma variedade de partes interessadas, incluindo bombeiros, arquitetos, engenheiros e autoridades governamentais. Essas sessões devem envolver demonstrações do sistema, coleta de feedback e discussões sobre melhorias necessárias.

#### 5.1.7 Implementações e testes

Conforme Soliman-Junior *et al.* (2021), os desafios incluem identificar falhas durante os testes e adaptar o sistema para lidar com uma ampla gama de situações de projeto.

##### Processo detalhado:

**Fase Piloto e Avaliação:** implementar o sistema inicialmente em uma escala menor para testar e aperfeiçoar, antes de uma implementação em larga escala. Esse processo permite identificar e corrigir falhas.

## 6 CONCLUSÕES

Esta dissertação investigou a implementação da análise automatizada de PPCIs no CBMSC, abordando os desafios e as potenciais soluções para a modernização desse processo. O estudo confirmou que a análise manual de PPCI é marcada por uma complexidade significativa, que leva a ineficiências, demoras e, em alguns casos, a erros e inconsistências nas avaliações. A natureza subjetiva e a variação nas interpretações humanas destacam a necessidade de abordagens mais consistentes e objetivas.

Com o objetivo de elaborar estratégias para a implementação da análise automatizada de Projetos Preventivos Contra Incêndio no Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, a pesquisa delineou um processo composto por 7 passos que podem ser seguidos pela organização para a implantação deste novo processo.

A execução dos 7 passos propostos resultaria em um processo de análise mais eficiente, preciso e rápido, alinhado com os objetivos de modernização e de inovação do CBMSC.

Em linhas gerais, os objetivos específicos traçados na pesquisa foram alcançados da seguinte forma:

**Descrever o processo atual** - A pesquisa detalhou a dinâmica vigente, destacando seus pontos críticos e as etapas envolvidas na análise de manual PPCI, fornecendo um panorama claro da situação atual no CBMSC.

**Identificar o tempo de resposta do método manual** - A pesquisa constatou a demora intrínseca ao método manual de análise de PPCI, ressaltando a necessidade de métodos mais ágeis e precisos.

**Verificar práticas, etapas e requisitos para a verificação automatizada** - Através da revisão bibliográfica e análise de iniciativas de verificação automatizada de projetos em outras organizações, a pesquisa identificou a melhores práticas, etapas e requisitos necessários para a efetiva implementação da verificação automatizada no CBMSC.

**Indicar os impactos da verificação automatizada** - A pesquisa revelou os benefícios potenciais da automatização, incluindo maior eficiência, precisão, e agilidade no processo de análise de PPCI, alinhando-se às expectativas de modernização e inovação do CBMSC.

A pesquisa apontou a viabilidade de automatizar uma parcela significativa dos requisitos de PPCI, especialmente aqueles que são objetivos e mensuráveis. No entanto, foi também reconhecida a importância da análise manual em certas áreas que requerem julgamento subjetivo ou interpretação.

Por este motivo, a dissertação sugere uma abordagem semiautomática como um meio eficaz durante a fase de transição para um sistema totalmente automatizado. Essa estratégia híbrida tiraria proveito das capacidades de processamento e precisão das máquinas, enquanto mantém a valiosa contribuição humana em aspectos que exigem julgamento e interpretação especializados.

Além disso, a pesquisa enfatizou a importância de envolver as partes interessadas no desenvolvimento e na implementação do sistema de análise automatizada. O *feedback* dos *stakeholders* internos e externos é crucial para garantir que o sistema atenda às diversas necessidades e expectativas e seja amplamente aceito.

Dentre os desafios identificados para a implementação da análise automatizada, destacam-se a necessidade de lidar com a complexidade das normas e limitações tecnológicas, a extração de conhecimento normativo de disposições em linguagem natural, e a conversão de regras e regulamentos escritos em formatos comprehensíveis tanto por usuários quanto por sistemas computacionais. Com base nestes desafios recomendamos pesquisas futuras, incluindo o desenvolvimento de metodologias para a tradução eficiente de normas para o ambiente digital, a criação de plataformas mais flexíveis e transparentes para a verificação de regras, e o aprimoramento da interoperabilidade entre diferentes sistemas BIM.

Em resumo, a dissertação destaca que, embora haja desafios significativos na transição para a análise automatizada de PPCI, as potencialidades e os benefícios dessa abordagem, como a melhoria na eficiência, precisão e conformidade dos processos, são claros. O caminho para a mudança organizacional e a inovação no CBMSC está pavimentado com desafios, mas também com oportunidades significativas para melhorar a segurança pública e alinhar-se com as tendências tecnológicas globais.

## REFERÊNCIAS

- AMOR, R.; DIMYADI, J. The promise of automated compliance checking. **Developments in the Built Environment**, [s.l.], v. 5, mar., 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100039>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ARANTES, E. *et al.* Development and analysis of an automated performance code checking workflow. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 27-42, abr./jun. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212022000200592>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ARIAS, J. *et al.*. Building Information Modeling Using Constraint Logic Programming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOGIC PROGRAMMING. 38th, 2022. (Apresentação). ICLP: Cambridge University Press, 2022. p. 723-738. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.08572>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ARMANI, C. R.; SOUZA, José Carlos Lacerda. **SCIER - Segurança Contra Incêndio em Edificações**: Recomendações. Espírito Santo: Firek Segurança Contra Incêndio, 2018.
- BALABAN, Ö.; KILIMCI, E. S. Y.; ÇAĞDAŞ, G. Automated Code Compliance Checking Model for Fire Egress Codes. **Digital Applications in Construction**, [s.l.], v. 2, 2012.
- BEACH, T. H.; HIPPOLYTE, J.-L.; REZGUI, Y. Towards the adoption of automated regulatory compliance checking in the built environment. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 118, oct. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103285>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- BERTO, A.; DE PAULA, D.; BÖTTGER, I. Segurança contra Incêndio ?: parte II. **Revista Emergência**, [s.l.], n. 118, p. 34-41, jan. 2019.
- BRASIL. **Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017**. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público; altera as Leis nº s 8.078, de 11 de setembro de 1990, e 10.406, de 10 de janeiro de 2002 – Código Civil; e dá outras providências. Brasília, 30 de março de 2017. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/l13425.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13425.htm). Acesso em: 20 nov. 2023.
- BRASIL. **Lei nº 13.726, de 8 de outubro de 2018**. Racionaliza atos e procedimentos administrativos dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e institui o Selo de Desburocratização e Simplificação. Brasília, 8 de outubro de 2018. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/l13726.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13726.htm). Acesso em: 20 nov. 2023.

**BRASIL. Lei nº 13.874, de 20 de setembro de 2019.** Institui a Declaração de Direitos de Liberdade Econômica; estabelece garantias de livre mercado; altera as Leis nos 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil), 6.404, de 15 de dezembro de 1976, 11.598, de 3 de dezembro de 2007, 12.682, de 9 de julho de 2012, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 10.522, de 19 de julho de 2002, 8.934, de 18 de novembro 1994, o Decreto-Lei nº 9.760, de 5 de setembro de 1946 e a Consolidação das Leis do Trabalho, aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943; revoga a Lei Delegada nº 4, de 26 de setembro de 1962, a Lei nº 11.887, de 24 de dezembro de 2008, e dispositivos do Decreto-Lei nº 73, de 21 de novembro de 1966; e dá outras providências. Brasília, 20 de setembro de 2019. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/lei/l13874.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13874.htm). Acesso em: 20 nov. 2023.

CALDAS, M. A. E. **Estudos de revisão de literatura:** fundamentação e estratégia metodológica. São Paulo: Hucitec, 1986.

CARON, J. V. **Deficiências nos projetos de prevenção contra incêndio e diretrizes para agilizar a sua análise e aprovação.** 2021. (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226803>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CBMSC. **Análise digital de projetos preventivos:** manual público externo. Florianópolis: CBMSC, [2019]. Disponível em: <https://www.cbm.sc.gov.br/images/PDF/Manual-publico-externo-anlise-digital---DSCI--1-verso---out.2019.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CBMSC. **IN 008:** Instalação de Gás Combustível (GLP e GN). Florianópolis: CBMSC, 2018a. Disponível em: <https://documentoscbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/de5a5dde520557248a07b7daedcfd2c1.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CBMSC. **Normas de Segurança Contra Incêndio IN 01** – Parte 1. Procedimentos Administrativos: Processos gerais de Segurança Contra Incêndio e Pânico. 2. ed. Florianópolis: CBMSC, 2022a. Disponível em: <https://documentoscbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/27b7015535814beea46b2412ef28abc5.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CBMSC. **Normas de Segurança Contra Incêndio IN 06.** Sistema Preventivo por Extintores - SPE. Florianópolis: CBMSC, 2022b. Disponível em: <https://documentoscbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/de15fa71ae11b35600a94d580d68820c.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CBMSC. **Normas de Segurança Contra Incêndio IN 09.** Saídas de Emergência. 5. ed. Florianópolis: CBMSC, 2022c. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1limIx64JznN0kWJQxU9jINY8exilJrdQ/view>. Acesso em: 20 nov. 2023.

**CBMSC. Normas de Segurança Contra Incêndio IN 11.** Sistema de Iluminação de Emergência - SIE. Florianópolis: CBMSC, 2022d. Disponível em: <https://documentoscbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/0435642220a1896d58d23ab659574f38.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

**CBMSC. Normas de Segurança Contra Incêndio IN 18.** Controle de materiais de revestimento e acabamento. Florianópolis: CBMSC, 2016. Disponível em: <https://documentoscbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/d9a7facc18a64b12e848216de5aea54d.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

**CBMSC. Plano Estratégico 2018-2030.** Florianópolis: CBMSC, 2018b.

DIMYADI, J.; AMOR, R. Automated Building Code Compliance Checking - Where is it at? In: INTERNATIONAL CIB WORLD BUILDING CONGRESS. 19. maio 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.4920.4161>. Acesso em: 20 nov. 2023.

EASTMAN, C. et al. Automatic rule-based checking of building designs. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 18, n. 8, p. 1011-1033, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>. Acesso em: 20 nov. 2023.

EL-DIRABY, T. **Beyond e-permitting: Framing the Business Case for Automated Rule Checking in AEC in the Era of Big Data.** Building Smart: International home of openBIM, Technical Report No. TR 1012. 2019.

**FAPESC. Programa de Pesquisa e Inovação em Projetos Preventivos (PPCI) por meio da verificação automática de regras com o uso da Plataforma BIM.** Florianópolis: Fapesc, 2023.

FENVES, S. J. et al. Computer representations of design standards and building codes: a U.S. perspective. International **Journal of Construction Information Technology**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 13-34, 1995. Disponível em: [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=917011](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=917011). Acesso em: 20 nov. 2023.

**FRANCA, F. W. Método para verificação automática de regras utilizando BIM aplicado ao código de segurança contra incêndio e pânico do Paraná (CSCIP-PR).** 2018. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Curitiba, 2018.

GETULI, V. et al. BIM-based Code Checking for Construction Health and Safety. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 196, p. 454-461, 2017.

GHANNAD, P. et al. Automated BIM data validation integrating open-standard schema with visual programming language. **Advanced Engineering Informatics**, [s.l.], v. 40, p. 14-28, 2019.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HACKITT, J. **Building a Safer Future: Independent Review of Building Regulations and Fire Safety:** Final Report. UK: OGL, 2018.

HERNANDÉZ SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ COLLADO, C.; BAPTISTA LUCIO, M. P. **Metodología da pesquisa.** 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

HJELSETH, E. BIM-based model checking (BMC). *In:* ISSA, R. R. A. I.; OLBINA, S. [eds.]. **Building Information Modeling.** Reston: ASCE Library, 2015. p. 33-61.

HJELSETH, E.; NISBET, N. N. Capturing normative constraints by use of the semantic mark-up RASE methodology. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE – SOPHIA ANTIPOlis, France, 2011. **[Proceedings...],** CIB, Oct., 2011.

ISO. **ISO 16739:2018:** Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. ISO, 2018.

KAMAL, A. **A framework for digital model checking.** 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Porto, 2020.

KATER, M.; RUSCHEL, R. Avaliando a aplicabilidade de BIM para a verificação da norma de segurança contra incêndio em projeto de habitação multifamiliar. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE COSNTRUÍDO. 15. **[Anais...],** Maceió, 2014. p. 2821-2831.

KELERYTĖ, A. **Projekto dinaminio valdymo galimybių tyrimas taikant BIM technologijas.** 2021. Theses (Masters) - Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilniaus, 2021. 85 p.

KIM, I. A Methodology of Building Code Checking System for Building Permission based on openBIM. *In:* INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION (ISARC). 34th. 2017. **[Proceedings...],** Tribun EU, 2017. p. 945-950. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22260/ISARC2017/0131>. Acesso em: 20 nov. 2023.

LEE, H. *et al.* Translating building legislation into a computer-executable format for evaluating building permit requirements. **Automation in Construction,** [s.l.], v. 71, p. 49-61, 2016.

LEE, Y.-C. *et al.* A Comparative Analysis of Five Rule-Based Model Checking Platforms. *In:* CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2020, 2020. **[Proceedings...],** 2020. p. 1127-1136.

LUGON, A. P. *et al.* A investigação de incêndio no brasil: uma visão para o futuro. *In:* ARMANI, C. R.; SOUZA, José Carlos Lacerda. **SCIer - Segurança Contra Incêndio em Edificações:** Recomendações. Espírito Santo: Firek Segurança Contra Incêndio, 2018.

MACIT İLAL, S.; GÜNAyDİN, H. M. Computer representation of building codes for automated compliance checking. **Automation in Construction,** [s.l.], v. 82, p. 43-58, 2017.

MALAGNINO, A. *et al.* The Digital Transformation in Fire Safety Engineering over the Past Decade Through Building Information Modelling: A Review. **Fire Technology,** [s.l.], v. 58, n. 6, p. 3317-3351, 2022.

- MALSANE, S. et al. Development of an object model for automated compliance checking. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 49, p. 51-58, 2015.
- MARTINS, J. P.; MONTEIRO, A. LicA: A BIM based automated code-checking application for water distribution systems. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 29, p. 12-23, 2013.
- MESSAOUDI, M.; NAWARI, N. O.; SRINIVASAN, R. Virtual Building Permitting Framework for the State of Florida: Data Collection and Analysis. In: ASCE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING. [Proceedings...], 2019. p. 328-335.
- NAMA, E. A.; ALALAWI, A. The Adoption of Automated Building Code Compliance Checking Systems in the Architecture, Engineering, and Construction Industry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CYBER MANAGEMENT AND ENGINEERING (CyMaEn). 2023. [Proceedings...], 2023. p. 289-296.
- NARAYANASWAMY, H.; LIU, H.; AL-HUSSEIN, M. BIM-based Automated Design Checking for Building Permit in the Light-Frame Building Industry. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION. 36. 2019. [Proceedings...]. Canadá, 2019.
- NAWARI, N. O. A Generalized Adaptive Framework (GAF) for Automating Code Compliance Checking. **Buildings**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 86, 2019.
- NAWARI, N. O. **Building Information Modeling**: Automated Code Checking and Compliance Processes. Flórida: CRC Press, 2018.
- NAWARI, N. O. Generalized Adaptive Framework for Computerizing the Building Design Review Process. **Journal of Architectural Engineering**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 04019026, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000382](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000382). Acesso em: 20 nov. 2023.
- NAWARI, N. O.; ALSAFFAR, A. The Role of BIM in Simplifying Construction Permits in Kuwait. In: AEI. 2017. [Proceedings...], ASCELibrary, 2017. p. 855-866.
- NOARDO, F. et al. IFC models for semi-automating common planning checks for building permits. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 134, p. 104097, 2022.
- NORÉN, J. et al. **Fire protection engineering in a BIM environment**. Malmö: Briad R&B, 2018.
- NOVA-HUB. **E-Governement**. 2023. Disponível em: <https://www.nova-hub.com/e-government/>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- PALUDO, A. V. **Administração pública**. rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- PORTO, M. F.; FRANCO, J. R. Q. Modelagem da informação para otimização de sistemas de combate a incêndios e pânico em edificações. **Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação**, [s.l.], v.9, n.1, jan./ago. 2016.

RODRIGUES, J. P. P. **Utilização de modelos BIM para verificação automática de projetos: plano de acessibilidades.** 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/79440>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ROMERO, J. M.; SCHEER, S. Potencial da Implementação da BIM no Processo de Aprovação de Projetos de Edificação na Prefeitura Municipal de Curitiba. In: I Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído e IX Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. 2009, São Carlos. [Anais...], São Carlos, 2009. p. 583-590.

SANTA CATARINA. **[Constituição (1989)]**. Constituição do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Assembleia Legislativa do Estado de Santa Catarina, 1989.

SANTA CATARINA. **Constituição do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Assembleia Legislativa, 2003.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 1.412 de 18/12/2017**. Regulamenta a Lei nº 16.768, de 2015, que dispõe sobre a instalação obrigatória de dispositivos de segurança nas piscinas residenciais ou coletivas, no Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 18 de dezembro de 2017a.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 1.908, de 9 de maio de 2022**. Regulamenta a Lei nº 16.157, de 2013, que dispõe sobre as normas e os requisitos mínimos para a prevenção e segurança contra incêndio e pânico e estabelece outras providências. Florianópolis, 9 de maio de 2022.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 3.465 de 19/08/2010**. Regulamenta a Lei nº 15.124, de 19 de janeiro de 2010, que fixa exigências mínimas de segurança para estabelecimentos ou eventos de grande concentração pública e regula a atividade de brigadista particular no Estado. Florianópolis, 19 de agosto de 2010a.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 39, de 21 de fevereiro de 2019**. Institui o programa Governo sem Papel no âmbito da Administração Pública Estadual Direta e Indireta e estabelece outras providências. Florianópolis, 21 de fevereiro de 2019.

SANTA CATARINA. **Lei Complementar nº 631, de 21 de maio de 2014**. Institui o Estatuto Estadual da Microempresa, da Empresa de Pequeno Porte, do Microempreendedor Individual e da Empresa Individual de Responsabilidade Limitada e estabelece outras providências. Florianópolis, 21 de maio de 2014.

SANTA CATARINA. **Lei Complementar nº 724, de 18 de julho de 2018**. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina (CBMSC) e estabelece outras providências. Florianópolis, 18 de julho de 2018a.

SANTA CATARINA. **Lei nº 11.339, de 08 de janeiro de 2000**. Dispõe sobre a obrigatoriedade de disposição de salva-vidas em áreas recreativas com opção aquática de lazer. Florianópolis, 08 de janeiro de 2000.

SANTA CATARINA. **Lei nº 15.124, de 19 de janeiro de 2010.** Fixa exigências mínimas de segurança para estabelecimentos ou eventos de grande concentração pública e regula a atividade de brigadista particular no Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 19 de janeiro de 2010b.

SANTA CATARINA. **Lei nº 16.157, de 7 de novembro de 2013.** Dispõe sobre as normas e os requisitos mínimos para a prevenção e segurança contra incêndio e pânico e estabelece outras providências. Florianópolis, 7 de novembro de 2013.

SANTA CATARINA. **Lei nº 16.768, de 24 de novembro de 2015.** Dispõe sobre a instalação obrigatória de dispositivos de segurança nas piscinas residenciais ou coletivas, no Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 24 de novembro de 2015.

SANTA CATARINA. **Lei nº 17.071, de 12 de janeiro de 2017.** Dispõe sobre as regras comuns ao Enquadramento Empresarial e das Entidades de Fins não Econômicos Simplificado (EES) e à Autodeclaração e estabelece outras providências. Florianópolis, 12 de janeiro de 2017b.

SANTA CATARINA. **Lei nº 18.284, de 20 de dezembro de 2021.** Altera a Lei nº 16.157, de 2013, que dispõe sobre as normas e os requisitos mínimos para a prevenção e segurança contra incêndio e pânico e estabelece outras providências. Florianópolis, 20 de dezembro de 2021.

SANTA CATARINA. **Lei nº 7.541 de 30/12/1988.** Dispõe sobre as taxas estaduais e dá outras providências. DOE – SC, 30 dez 1988.

SANTA CATARINA. **Plano Estadual de Segurança Pública e Defesa Social:** Santa Catarina - 2018-2028. Florianópolis: SSP, 2018b.

SHI, J. et al. Research on IFC- and FDS-Based Information Sharing for Building Fire Safety Analysis. **Advances in Civil Engineering**, [s.l.], ano 2019, p. 3604369, 2019.

SIDDIQUI, A. A. et al. Building Information Modelling for performance-based Fire Safety Engineering analysis – A strategy for data sharing. **Journal of Building Engineering**, [s.l.], v. 42, p. 102794, 2021.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, F. P. A. **Verificação automática dos requisitos de projetos da norma de desempenho pela plataforma Bim Solibri Model Checker.** 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SILVA, F.; ARANTES, E. Proposta de verificação automática dos requisitos de projeto pelo uso de ferramentas de análise BIM aplicados a norma de desempenho. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 16., 2016. **[Anais...]**, São Paulo. 2016.

SINGAPURA. **Circular No.: URA/PB/2023/01-DCG 2023.** Sigapura, 2023.

SOBHKHIZ, S. et al. Framing and Evaluating the Best Practices of IFC-Based Automated Rule Checking: **A Case Study. Buildings**, [s.l.], v.11, n. 10, p. 456, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings11100456>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SOLIHIN, W. **A simplified BIM data representation using a relational database schema for an efficient rule checking system and its associated rule checking language**. 2016. Tese (Doutorado) – Georgia Institute of Technology, Georgia, 2016..

SOLIHIN, W. et al. Simplified schema queries for supporting BIM-based rule-checking applications. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 117, p. 103248, 2020.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 53, p. 69-82, 2015.

SOLIMAN-JUNIOR, J. et al. Automated compliance checking in healthcare building design. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 129, p. 103822, 2021.

SOLIMAN-JUNIOR, J.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPoulos, P. A semantic-based framework for automated rule checking in healthcare construction projects. **Canadian Journal of Civil Engineering**, Canada, v. 47, n. 2, p. 202-214, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0460>. Acesso em: 20 nov. 2023.

STEIN, S. **Conhecimentos necessários para códigos & normas**: proteção contra incêndio em edificações. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

STEIN, S.; SELL, D.; GODINHO, M. Melhoria contínua na segurança contra incêndio em edificações: a contribuição efetiva da gestão do conhecimento. In: FIREK SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO; UNICAMP/FEC (Orgs). **Segurança contra incêndio em edificações: recomendações**. Vitória: Firek Segurança Contra Incêndio, 2018. p. 147-158.

SYDORA, C.; STROULIA, E. Rule-based compliance checking and generative design for building interiors using BIM. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 120, p. 103368, 2020.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2009.

TOMCZAK, A. **SIMBA - Statsbygg's BIM requirements**. Standard. Oslo: buildingSMART International, 2022. Disponível em: <https://ucm.buildingsmart.org/use-case-details/2553/en>. Acesso em: 20 nov. 2023.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Referencial básico do programa de inovação / Tribunal de Contas da União**. Brasília: TCU; Instituto Serzedello Correa (ISC); Centro de Pesquisa e Inovação (Cepi), 2017.

WARREN, D. R.; SALEEB, N. Improving Productivity by the Automation of Checking of 3D Parametric Modelling. **International Journal of Safety and Security Engineering**, [s.l.], v. 10, n. 4, p. 441-450, 2020.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZHANG, R.; EL-GOHARY, N. Clustering-Based Approach for Building Code Computability Analysis. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s.l.], v. 35, n. 6, p. 04021021, 2021.

ZHANG, Z. *et al.* Capabilities of rule representations for automated compliance checking in healthcare buildings. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 146, p. 104688, 2023.

ZHANG, Z.; MA, L.; BROUD, T. Towards fully-automated code compliance checking of building regulations: challenges for rule interpretation and representation. *In:* EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTING IN CONSTRUCTION, 2022, Greece. **[Proceedings...]**, Ixia, Rhodes, Greece, 2022.

ZHOU, H.; LEE, S.; YING, H. VPL-Based Code Translation for Automated Compliance Checking of Building Envelope Energy Efficiency. *In:* CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2018. **[Proceedings...]**, ASCE Library, 2018. p. 1-12.