

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Douglas Rosario dos Santos

**ANÁLISE DOS REQUISITOS DE INFORMAÇÕES PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTA DE VERIFICAÇÃO
EM PROJETOS BIM**

Porto Alegre
Outubro/2022

DOUGLAS ROSARIO DOS SANTOS

**ANÁLISE DOS REQUISITOS DE INFORMAÇÕES PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTA DE VERIFICAÇÃO
EM PROJETOS BIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Luciani Somensi Lorenzi

Porto Alegre
Outubro/2022

DOUGLAS ROSARIO DOS SANTOS

**ANÁLISE DOS REQUISITOS DE INFORMAÇÕES PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTA DE VERIFICAÇÃO
EM PROJETOS BIM**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, outubro de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof./ Eduardo Luís Isatto (UFRGS)

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof./a Juliana Parise Baldauf (UFRGS)

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família pelo apoio e carinho durante todos esses anos, principalmente à minha mãe, Lilian Regina Alves Rosario, que sempre batalhou muito para dar sempre o melhor para os seus filhos.

Ao Guilherme Dall Cortivo, que esteve presente em quase todo meu período da graduação e que me deu total apoio nesta fase final do curso, principalmente na realização deste trabalho. Obrigado por compartilhar mais este momento especial comigo, e tenho certeza que vamos comemorar muito na vida ainda. Você é uma pessoa que tenho muito amor e carinho. Levarei você sempre em meu coração.

À minha dinda, Sirlene Cancillier, que considero uma segunda mãe por sempre estar presente em todas as etapas da minha vida e por sempre ter me apoiado. Obrigado, sem você, eu não seria a pessoa que sou hoje.

A minha orientadora, Luciani Somensi Lorenzi, pelos conselhos e orientações na realização deste trabalho.

Agradeço imensamente a cada integrante da empresa Otus Engenharia, em especial a Carla Bedin, Paulo Klain e Arthur Oliveira, que tiveram grande influência na minha formação profissional. Sou muito grato de poder contar com profissionais tão competentes e que compartilharam muitos conhecimentos, inclusive no desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, quero agradecer a todos os meus amigos de graduação, em especial a Raquel Rodrigues, Mateus Alves, Sylvio Cruz, Isadora Fraga, Maria Luiza Trevisan e João Severgnini, que sempre estiveram presentes para me dar forças e me ajudar nos estudos para as provas. Sem vocês a graduação não teria me proporcionando momentos tão incríveis e inesquecíveis. Com certeza esses 7 anos deixarão muitas saudades, vocês são pessoas que eu quero levar para a vida. Obrigado por tudo!

RESUMO

A compatibilização de todas as disciplinas é um dos maiores desafios no desenvolvimento de projetos de engenharia. Com o advento do BIM (*Building Information Modeling*), a visualização do projeto através de modelos 3D facilitou a detecção de incompatibilidades e problemas em relação ao seu antecessor CAD (*Computer-Aided Design*). Nesse contexto, os projetistas ou o coordenador de projetos podem fazer verificações manuais usando check-lists, por exemplo, ou utilizar softwares de verificações automatizadas, como Solibri Model Checker (SMC). No entanto, para que a verificação automatizada funcione adequadamente, é imperativo que os modelos venham com uma série de características já especificadas, aqui definidas como requisitos de informação. É com base nisso que este trabalho pretende propor como solução a elaboração de um conjunto de requisitos de informações para aplicação de regras automatizadas em projetos BIM. Os requisitos de informação foram levantados de acordo com os parâmetros necessários para execução das regras aplicadas em um estudo de caso. Utilizou-se dois projetos exportados para o IFC para testar e comparar a execução das regras, onde foi possível constatar que no modelo sem os requisitos mínimos, a implementação do processo de verificação automatizada não foi satisfatória, mas com a proposta de solução desenvolvida neste trabalho, foi possível dar diretrizes para a correta inserção dos requisitos de informação nos modelos BIM permitindo o uso de regras automatizadas. Este trabalho irá complementar estudos brasileiros já realizados nos últimos anos e, esclarecerá os requisitos necessários para a utilização das regras disponibilizadas pelo Solibri, bem como possibilitar o uso das mesmas em qualquer projeto.

Palavras-chave: BIM. Compatibilização de projeto. Requisitos de informação. Solibri.

Verificações automatizadas de regras.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de requisito de informação.....	16
Figura 2: O ciclo de requisito de informação	16
Figura 3: Exemplos de classificações	18
Figura 4: Templates de regras disponíveis do Solibri	19
Figura 5: Exemplo de verificação de regra individual	19
Figura 6: Exemplo de verificação de regra utilizando <i>gatekeeper</i>	19
Figura 7: Fluxo de atividades envolvidas na verificação automatizada	20
Figura 8: Processo realizado para implementação da ferramenta automatizada	22
Figura 9: Modelagem utilizada no Caso 1	21
Figura 10: Modelagem utilizada no Caso 2	24
Figura 11: Classificações realizadas para o caso 1	25
Figura 12: <i>Classification</i> de Ambientes, Lajes e Pisos	26
Figura 13: <i>Classification</i> de Esquadrias, Forros e Escada	26
Figura 14: <i>Classification</i> de Guarda-corpo, Vagas e Vigas	27
Figura 15: Resultado da execução das regras para o caso 1	27
Figura 16: Resultado da regra de áreas mínimas	28
Figura 17: Execução da regra de pé-direito	28
Figura 18: Inserindo parâmetros na regra <i>gatekeeper</i>	29
Figura 19: Inserindo parâmetros na sub-regra	29
Figura 20: Dimensões mínimas da escada	30
Figura 21: Circulação mínima em corredores e Giro mínimo para cadeirante PNE	30
Figura 22: Peitoril mínimo em janelas	31
Figura 23: Altura mínima de guarda corpos	32
Figura 24: Espaço mínimo no entreforço	32
Figura 25: Dimensões mínimas de vagas	32
Figura 26: Execução das <i>classifications</i>	30
Figura 27: Componentes presente no modelo	33
Figura 28: Análise dos parâmetros das esquadrias	34
Figura 29: Filtrando informações na <i>classification</i>	34
Figura 30: Análise dos parâmetros das vagas	34
Figura 31: Resultado da execução das regras para o caso 1	35
Figura 32: Execução da regra de inclinação de rampas	36

Figura 33: Frequência das classificações utilizadas nas regras368

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Metodologia da pesquisa	23
Quadro 2: Regras automatizadas criadas para pesquisa	24
Quadro 3: Requisitos de informação	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo das classificações e regras aplicadas nos projetos	38
--	----

LISTA DE SIGLAS

BIM – Building Information Modeling

CAD – Computer-Aided Design

IFC – Industry Foundation Classes

SMC - Solibri Model Checker

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Requisitos de informação.....	15
2.2 Interoperabilidade e o IFC	16
2.3 Classificações do SMC (<i>Classifications</i>)	17
2.4 Regras de verificações do SMC (<i>Rulesets</i>).....	18
2.5 Processo de verificação automatizada	19
3. MÉTODO	21
4. RESULTADOS	23
4.1 Construção da ferramenta automatizada.....	24
4.2 Implementação da ferramenta automatizada	25
4.2.1 Caso 1	25
4.2.2 Caso 2	33
4.3 Proposta de solução	36
4.4 Análises e reflexões	37
5. CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS	41

Análise dos requisitos de informações para implantação de ferramenta de verificação em projetos BIM

RESUMO

A compatibilização de todas as disciplinas é um dos maiores desafios no desenvolvimento de projetos de engenharia. Com o advento do BIM (*Building Information Modeling*), a visualização do projeto através de modelos 3D facilitou a detecção de incompatibilidades e problemas em relação ao seu antecessor CAD (*Computer-Aided Design*). Nesse contexto, os projetistas ou o coordenador de projetos podem fazer verificações manuais usando check-lists, por exemplo, ou utilizar softwares de verificações automatizadas, como Solibri Model Checker (SMC). No entanto, para que a verificação automatizada funcione adequadamente, é imperativo que os modelos venham com uma série de características já especificadas, aqui definidas como requisitos de informação. É com base nisso que este trabalho pretende propor como solução a elaboração de um conjunto de requisitos de informações para aplicação de regras automatizadas em projetos BIM. Os requisitos de informação foram levantados de acordo com os parâmetros necessários para execução das regras aplicadas em um estudo de caso. Utilizou-se dois projetos exportados para o IFC para testar e comparar a execução das regras, onde foi possível constatar que no modelo sem os requisitos mínimos, a implementação do processo de verificação automatizada não foi satisfatória, mas com a proposta de solução desenvolvida neste trabalho, foi possível dar diretrizes para a correta inserção dos requisitos de informação nos modelos BIM permitindo o uso de regras automatizadas. Este trabalho irá complementar estudos brasileiros já realizados nos últimos anos e, esclarecerá os requisitos necessários para a utilização das regras disponibilizadas pelo Solibri, bem como possibilitar o uso das mesmas em qualquer projeto.

Palavras chave: BIM. Compatibilização de projeto. Requisitos de informação. Solibri. Verificações automatizadas de regras.

ABSTRACT

The compatibility of all the parts that consists a new project is one of the biggest challenges of engineer projects. With the advent of BIM (Building Information Modeling), the visualization of the project through 3d models made easier to detect the interferences, overlapping and project problems when compared to its predecessor CAD (Computer-Aided Design). In this context, designers or the project manager can do the project matching manually using checklists, or they can use verifications software's, such as the Solibri Model Checker (SMC). However, for the automated verification to work properly, it is imperative that the models come with a series of characteristics already specified, here defined as information requirements. It is based on this that this work intends to propose as a solution the elaboration of a set of information requirements for the application of automated rules in BIM projects. The information requirements were raised according to the parameters necessary for the execution of the rules applied in a case study. Two projects exported to the IFC were used to test and compare the execution of the rules, where it was possible to verify that in the model without the minimum requirements, the implementation of the automated verification process was not satisfactory, but with the proposed solution developed in this work, it was possible to provide guidelines for the correct insertion of information requirements in BIM models, allowing the use of automated rules. This work will complement Brazilian studies carried out in recent years and will clarify the necessary requirements for the use of

Keywords: BIM. Projects Compatibility. Information Requirements. Solibri. Automatized Model Checker.

1. INTRODUÇÃO

O uso do *Building Information Modelling* (BIM), ou modelagem da informação da construção é um tema de crescente importância no mercado da construção civil (PAIVA, 2016). Crespo e Ruschel (2007) expressam em sua pesquisa que o *Computer-Aided Design* (CAD) era a ferramenta mais utilizada nos escritórios de engenharia e arquitetura, que funcionava basicamente como uma prancheta eletrônica, efetuando apenas projetos 2D. Segundo estes mesmos autores, devido a esta forma de projetar, a compatibilização entre os diferentes tipos de projetos foi um dos principais problemas que emergiam e tiveram de ser resolvidos durante as obras. Por esse motivo, o uso do BIM para compatibilização de projetos tem sido um das principais aplicações, pois tem se mostrado uma alternativa eficaz aos métodos tradicionais, baseados em documentação em 2D (PAIVA, 2016). Esta colocação pode ser comprovada por uma pesquisa recente feita pela empresa brasileira Thórus Engenharia (2021), onde é demonstrado que o principal motivo das empresas adotarem o uso do BIM foi para melhorar a compatibilização dos projetos. Dessa pesquisa nos anos 2019, 2020 e 2021 o uso para compatibilização teve os seguintes percentuais: 84%, 95% e 87% respectivamente. Em estudos realizados em outros países, os autores Kiviniemi *et al.* (2008) mostram em sua pesquisa que nos países nórdicos, o principal fator motivador para o uso do BIM se deve à facilidade de geração de quantitativos (em torno de 23%), seguido da checagem de conflitos (em torno de 21%).

O BIM pode auxiliar de diversas formas além da compatibilização. Rotava (2018), também mostra que é possível utilizar softwares que verificam os elementos e as propriedades dos modelos BIM de forma automatizada por meio de regras. O mesmo autor afirma que por meio dessas verificações é possível verificar as interferências entre disciplinas (compatibilização), o atendimento às normas técnicas, a identificação de deficiências do projeto etc. Nos últimos anos, autores brasileiros também tem realizado pesquisas onde o uso de regras foi aplicado para: verificar e validar recomendações normativas de sistemas prediais de esgoto sanitário, água fria e água quente (TAKAGAKI, 2016); Verificação automatizada de requisitos em empreendimentos Habitacionais de Interesse Social (FERNANDES, FORMOSO E TZORTZOPOULOS-FAZENDA, 2018); Automatizar a verificação de conformidade com a norma brasileira de desempenho para edificações habitacionais em empreendimentos do PMCMV (ANDRADE E SILVA, 2017); Análise de sistemas preventivos por extintores de incêndio de modelos BIM (ROTAVA, 2018). A favor da utilização deste recurso, os equívocos e o tempo associados à análise do projeto são minimizados, além de facilitar a cooperação entre os agentes envolvidos no processo de construção (KATER; RUSCHEL, 2020).

Andrade e Silva (2017) já afirmou que quando as verificações são realizadas de forma convencional e manual, elas podem ser consideradas um problema, pois o processo de conferência demanda muito tempo e sugere uma alta probabilidade de ocorrência de erros. Além disso, softwares de verificações automatizadas disponíveis no mercado tornam a verificação manual um processo obsoleto. No entanto, segundo os autores Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda, (2018) “a simples aplicação de um software com diferentes capacidades não constitui um método sistemático de verificação. É também necessário que exista um processo, ou seja, um conjunto de atividades, orientações e padrões que permita a verificação dos requisitos relevantes ao tipo de empreendimento a ser avaliado, em um contexto de aplicação específico”.

Segundo Eastman *et al.* (2009), para a verificação adequada das regras, os projetistas devem definir e preparar os modelos de construção para fornecer as informações necessárias. Essas informações devem ser codificadas e exportadas adequadamente no formato IFC para permitir a tradução e o teste adequado na execução das regras. Porém, é muito comum nos depararmos com projetos sem as informações e sem os requisitos mínimos necessários para verificação de regras. Isso pode estar relacionado ao fato do projeto em BIM ser uma realidade recente no mercado brasileiro, o que faz das empresas ainda não terem maturidade e conhecimento suficiente com o uso do BIM. A evidencia disso é comprovada pela pesquisa Grant Thornton (2022), realizada com 478 empresas, onde em um nível de 0 a 3 essas empresas precisariam se autoavaliar sobre seu grau de maturidade com o uso do BIM. Percebeu-se que a maioria das organizações se classificou nos níveis iniciais de maturidade, totalizando 59,4% entre os níveis 0 e 1, onde a informação é maioritariamente produzida com desenhos CAD 2D e 3D. Já para os níveis de maturidade 2 e 3 essa percentagem foi de 21,5% e 2,5% respectivamente, sendo o nível 2 as empresas que utilizam e compartilham modelos BIM de maneira unificada e, no nível 3 estão as empresas que realizam um processo de integração total, com aplicação e gerenciamento de informações.

Dessa forma, pensando em auxiliar os profissionais da área de engenharia e arquitetura, este trabalho tem como objetivo propor o desenvolvimento de um conjunto de requisitos de informações, onde são informadas quais são as informações necessárias para a aplicação de regras automatizadas em projetos BIM.

A motivação da escolha do tema se deu quando o autor realizou o estágio obrigatório em uma empresa de gerenciamento e compatibilização de projetos. Durante o período do estágio uma das principais atividades foi auxiliar na compatibilização e nas verificações de projetos com o uso do software Solibri. Com esta ferramenta foi possível desenvolver regras automatizadas

para auxiliar nas verificações, porém, como os projetos eram realizados por empresas diferentes, percebeu-se que em alguns casos faltavam as informações necessárias para utilização dessas regras. Portanto, é em razão do descrito acima que o autor se motivou em realizar este trabalho, tendo a pretensão de servir como um guia aos profissionais da área. Quanto aos softwares, foram utilizados o Solibri Model Checker (SMC) e o Revit Architecture porque ambos foram disponibilizados pela empresa que possibilitou este estudo.

Deve-se destacar que algumas delimitações precisaram ser tomadas:

- Apenas algumas regras automatizadas de verificações solicitadas pelo código de obras de Florianópolis/SC serão expostas.
- O processo de criação das *classifications* e regras não serão abordados nesta pesquisa, pois o objetivo é demonstrar a importância da presença dos elementos, informações e parâmetros no modelo BIM.
- O estudo focou em apresentar somente regras de verificação da fase de aprovação do projeto legal. Nesta fase a disciplina de arquitetura tem muito impacto e precisa de mais atenção para aprovação do projeto, por isso, ela foi a disciplina com maior foco para realizar as verificações das regras automatizadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Requisitos de informação

De acordo com a ISO 19650-1: 2022, as informações devem ser criadas para um propósito específico para que alguém possa utilizá-las. Os requisitos de informação servem para especificar e definir entradas de informações precisas necessárias para que, quando forem recebidas, seja possível realizar o gerenciamento da informação (RIBEIRO *et al.* 2021). Segundo os mesmos autores, o gerenciamento de informações trata de garantir que as informações certas sejam entregues ao destino certo, no momento certo, para atender a um propósito específico.

No ponto de vista da gestão da informação, existem duas partes atuantes com suas devidas responsabilidades, sendo elas: a) Receptor da informação (especificador) - indivíduo/equipe/organização que receberá a informação (para uso próprio ou em nome de terceiros); b) Provedor de informações – indivíduo/equipe/organização que gera e/ou produz as informações (ISO 19650-1, 2022). O fluxo de trabalho (Figura 1) mostra que o ponto de partida é através do receptor (especificador) da informação, que estipula seus requisitos, pois ao fazer isso, antes de tudo precisa-se entender os propósitos para os quais requerem informações, e

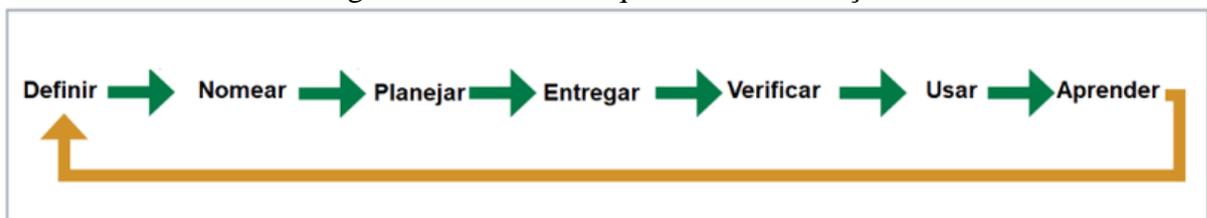
após deve-se definir e comunicar ao provedor de informações, para que este entenda o escopo do que precisa produzir (UK BIM FRAMEWORK, 2019).



Fonte: adaptada de Ribeiro *et al.* (2021)

É muito importante conhecer e entender quais os requisitos de informações são realmente necessários para o projeto, pois assim será possível ter um processo de gerenciamento de informação eficaz, conforme mostra o ciclo dos requisitos de informação na Figura 2.

Figura 2: O ciclo de requisito de informação



Fonte: Ribeiro *et al.* (2021)

2.2 Interoperabilidade e o IFC

O desenvolvimento de um projeto de edificação, é um processo colaborativo que envolve diferentes participantes de muitas disciplinas, precisando interagir na troca de informação ao longo de todo o ciclo de vida do projeto da construção e do uso (ANDRADE E SILVA, 2017). Nesse contexto, Eastman *et al.* (2009) afirmam que a interoperabilidade representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas contribuam para o desenvolvimento dos trabalhos. Se houver uma boa interoperabilidade, evita-se a duplicação de dados de entrada, eliminando assim o retrabalho e o potencial erro acumulado na replicação dos dados, atingindo um bom fluxo de trabalho entre as diferentes ferramentas (ANDRADE; RUSCHEL, 2009). Estes mesmos autores ainda declaram que é muito importante

estabelecer um protocolo padrão de trocas de dados para que seja possível ter uma boa interoperabilidade.

A BuildingSMART com a intenção de publicar um modelo neutro de dados de produtos na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) desenvolveu o *Industry Foundation Classes* (IFC) (EASTMAN *et al.*, 2014). Esta organização define o IFC como um formato de dados comum que possibilita manter a troca de dados relevantes entre diferentes softwares. De acordo com Maia *et. al* (2015), o formato IFC é um repositório de dados e informações que incluem a geometria, propriedades e relações dos elementos de modelagem na construção. Entre seus usos, podemos citar uma melhor coordenação interdisciplinar durante a fase de modelagem, a possibilidade de compartilhamento e a troca de informações entre os softwares que utilizam este mesmo formato universal (SANTOS, 2021).

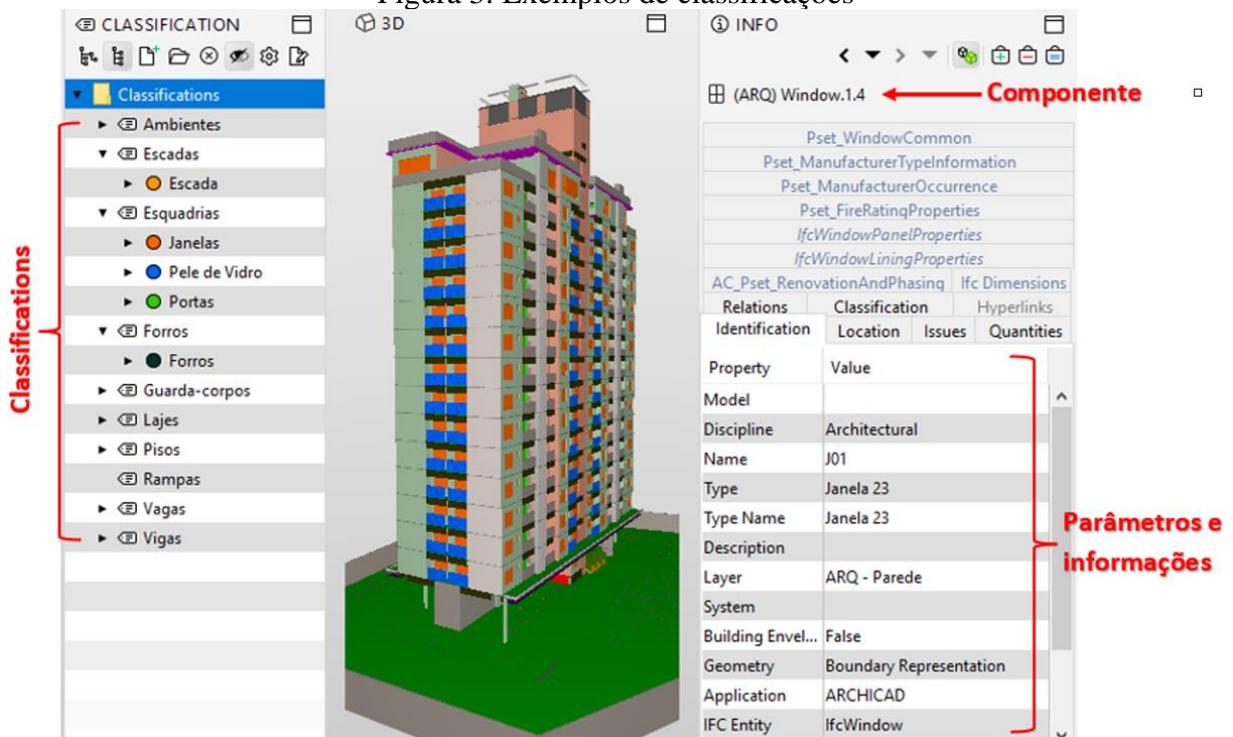
O modelo IFC consiste em entidades que descrevem objetos físicos do edifício, elementos relacionados com a AEC, processos, etc. Cada objeto é identificado através de um código que pode ser representado como um objeto, por exemplo, uma parede, um móvel, uma conexão de tubos, etc. Também pode ser representado como uma propriedade que define algumas características de materiais, de desenho e entre outras (EASTMAN *et al.*, 2014). Esses objetos e propriedades são a base para realização das classificações (*classifications*) que serão exemplificadas no próximo subitem.

2.3 Classificações do SMC (*Classifications*)

A classificação denominada no software Solibri como “*classification*” é uma maneira de adicionar informações de componentes a um arquivo BIM. Com ela também conseguimos filtrar os dados do modelo IFC de maneira diferente, facilitando na visualização e na compreensão dos elementos do projeto (SOLIBRI, 2022).

Nas palavras de Santos (2021) as classificações podem ser utilizadas para categorizar as componentes e os parâmetros de um projeto de acordo com critérios pré-definidos, tornando-os verificáveis por regras (*rule checking*). As *classifications* criadas possibilitam codificar as componentes por cores diferentes com base nos parâmetros e informações do modelo (Figura 3). Essa forma de codificação fornece outra estrutura de detalhamento, mas é semelhante ao dado na representação do modelo original (SOLIBRI, 2022).

Figura 3: Exemplos de classificações



Fonte: Autor

2.4 Regras de verificações do SMC (*Rulesets*)

Um dos principais objetivos das regras do Solibri Model Checker (SMC) é verificar e indicar possíveis problemas e conflitos na modelagem de uma edificação. As regras ou *rulesets* são definidas no Solibri a partir de customizações de *templates* de regras (Figura 4), contidos no próprio software (LABIM, 2018). Segundo Andrade e Silva (2017), os usuários podem realizar amplas customizações nas *rulestes*, permitindo que um mesmo *template* possa atender a diversos tipos de situações, onde todos os parâmetros incluídos em cada regra possam ser editados, tornando-os ajustáveis a uma determinada realidade. As regras que compõem o banco de dados do software normalmente se referem a países restritos e suas respectivas legislações. No entanto, a simples modificação dos parâmetros que compõem uma regra pode ser o suficiente para adequar o código à jurisdição de interesse (SANTOS, 2021).

Figura 4: Templates de regras disponíveis do Solibri

LIBRARIES			
Name	Support Tag	Help	
▼ Solibri Accessibility Rules			^
§ Accessible Door Rule	SOL/208/3.1	⊕	
§ Accessible Ramp Rule	SOL/207/1.4	⊕	
§ Accessible Route Rule	SOL/238/1.0	⊕	
§ Accessible Stair Rule	SOL/210/3.1	⊕	
§ Accessible Window Rule	SOL/211/1.2	⊕	
§ Free Floor Space	SOL/209/1.2	⊕	
▼ Solibri Common Rules			
§ Allowed Beam Intersections	SOL/233/1.3	⊕	
§ Allowed Profiles	SOL/215/1.1	⊕	
§ Architectural Components Are Filled	SOL/224/2.1	⊕	

Fonte: Autor

O software permite a verificação individualmente (Figura 5), ou também é permitido a construção de verificação com combinações dos *templates*, onde diversas regras são utilizadas em conjunto de maneira hierárquica. Uma regra que contém outras, dentro deste sistema, recebe o nome de *Gatekeeper* (Figura 6), cuja principal função é filtrar os elementos que serão dados de entrada para as regras subsequentes (LABIM, 2018).

Figura 5: Exemplo de verificação de regra individual

VERIFICAÇÃO →	▼ § 1. Áreas mínimas dos ambientes		
Regra →	§ 1.1 Verifica as áreas dos ambientes	SOL/132/1.3	⊕

Fonte: Autor

Figura 6: Exemplo de verificação de regra utilizando *gatekeeper*

VERIFICAÇÃO →	▼ § 7. Pé-direito		
Regra gatekeeper (Filtro) →	▼ § 7.1.1 Banheiro	SOL/222/4.2	⊕
Sub-Regra →	§ 7.1.1 Pé-direito do Banheiro	SOL/222/4.2	⊕

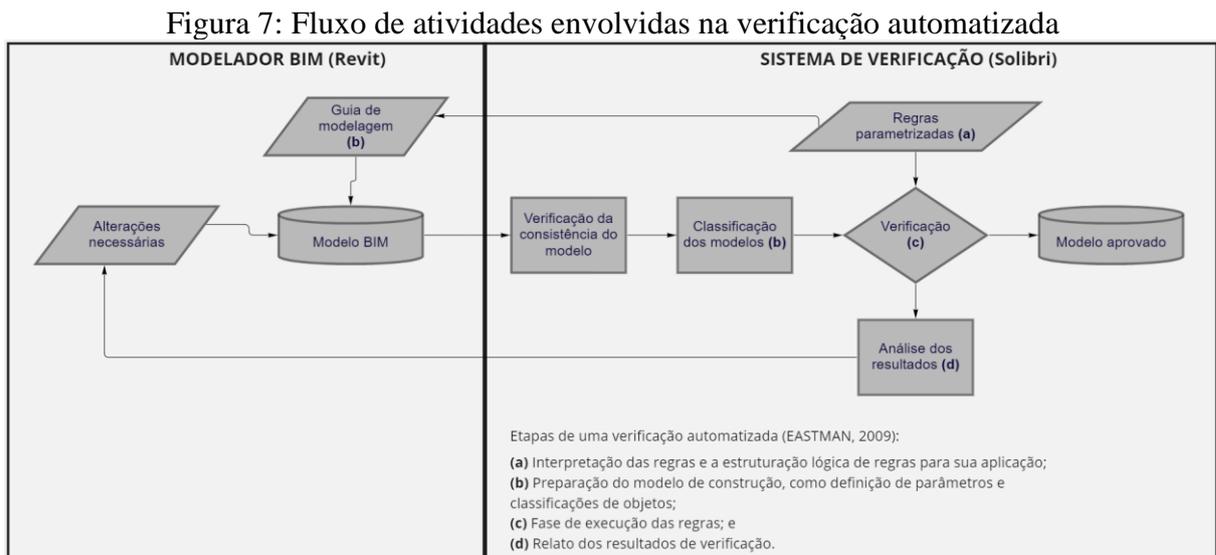
Fonte: Autor

2.5 Processo de verificação automatizada

De acordo com Eastman *et al.* (2009), o processo de verificação automatizada baseada em regras pode ser dividido em quatro etapas:

- Interpretação das regras e a estruturação lógica de regras para sua aplicação;
- Preparação do modelo de construção, como definição de parâmetros e classificações de objetos;
- Fase de execução das regras; e
- Relato dos resultados de verificação.

A Figura 7, mostra um fluxo das atividades envolvidas na verificação automatizada, envolvendo as quatro etapas indicadas acima. Também podemos perceber, que neste processo há uma divisão de dois estágios: (a) Modelador BIM e (b) Sistema de verificação. Esta divisão serve para indicar qual software é utilizado em cada etapa do processo de verificação, ou seja, para o caso do modelador BIM utiliza-se o Revit, e o Solibri para o sistema de verificação.



Fonte: Adaptada de Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda, (2018)

No sistema de verificação (Solibri) podemos ver que as quatro etapas de Eastman *et al.* (2009) são realizadas, começando pelas regras padronizadas que visam interpretar e compreender a estruturação das regras para realizar as verificações dos itens normativos. Após é necessário preparar o modelo para a aplicação da ferramenta, que inicia com a verificação de consistência do modelo, onde é identificado se todos os elementos necessários foram modelados e nomeados, e se os objetos estão conectados entre si de forma coerente (EASTMAN *et al.*, 2009). Feito esta verificação e validado a inserção desses itens, é possível realizar a classificação dos elementos e objetos do modelo. Por fim, é realizada verificação do modelo através da execução das regras, e assim, é feita a análise dos resultados. Se a regra não for executada devido à falta de informações, é solicitado ao modelador BIM para que realiza as alterações e as inserções das informações necessárias no modelo. Caso contrário, o modelo é admitido se funcionar corretamente.

O estágio modelador BIM (Revit), tem como principal atribuição a elaboração do modelo, que está vinculado a etapa (b) do processo de verificação de Eastman. Pode-se observar na Figura 7, que a etapa (b) também ocorre para o sistema de verificação, mas neste estágio os principais envolvidos são os projetistas. O principal objetivo aqui é notificar aos projetistas que eles

precisam inserir as informações no modelo de construção, com base em um guia de modelagem, que para esta pesquisa seriam os requisitos de informações. Andrade e Silva (2017) afirma que o conteúdo e o modo como o modelo BIM é construído, impacta diretamente na qualidade, complexidade e eficiência do software que fará a verificação automática das regras. Portanto, nesta fase é muito importante que sejam informados aos projetistas os requisitos mínimos necessários para o desenvolvimento do modelo BIM e, assim, seja possível realizar a verificação por meio de regras automatizadas.

3. MÉTODO

A etapa de compressão da pesquisa buscou evidenciar algumas das formas em que o uso do BIM pode auxiliar os profissionais da área de engenharia e arquitetura e, assim, foi apresentado o uso da verificação automatizada. Em seguida foi introduzido quais os requisitos são necessários para utilização desta ferramenta, e com isso, foi determinado o objetivo da pesquisa. Com esse objetivo foi realizada a pesquisa bibliográfica específica sobre os requisitos de informação e sobre a verificação automatizada em projetos BIM.

A construção da ferramenta automatizada teve início com a criação das *classifications*, pois elas serviram como dados de entrada para as regras de verificação. As *classifications* criadas e utilizadas nas regras foram: Ambientes, Escadas, Esquadrias, Forros, Piso, Rampas e Vagas. Após isso, foram desenvolvidas algumas regras com base em verificações exigidas pelo código de obras de Florianópolis/SC, onde foram selecionados alguns itens dessa normativa que são verificados pelos profissionais da área. Desses itens foram selecionadas 10 verificações, conforme lista abaixo:

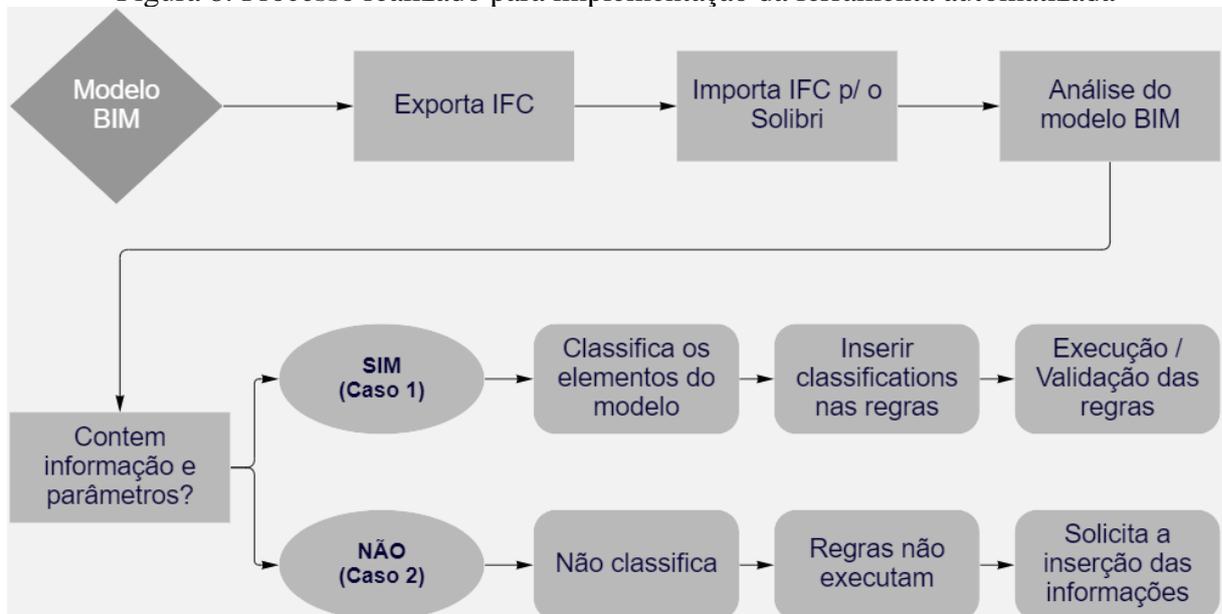
1. Áreas mínimas
2. Dimensões mínimas de escadas
3. Inclinação de rampas
4. Largura mínima em corredores
5. Giro mínimo cadeirante PNE
6. Peitoril mínimo de janelas
7. Pé-direito
8. Espaço mínimo no entreferro
9. Dimensões mínima de vagas de estacionamento
10. Altura mínima do guarda-corpo

A operacionalização dessas regras visou demonstrar casos de execução efetiva nos projetos quando modelados com as informações corretas, bem como demonstrar casos de falha de execução quando um projeto não apresenta os requisitos mínimos de informação. Dito isto, para implementar e testar o funcionamento da ferramenta automatizada, foram utilizados dois projetos, um dos quais apresenta as informações e parâmetros no modelo e o outro não. O

projeto que foi concebido e exportado corretamente para o IFC com as informações e parâmetros bem definidos é chamado aqui de caso 1. Para o caso 2, foi selecionado propositalmente um projeto de uma empresa que não tinha maturidade com uso do BIM, e devido a isto o modelo foi exportado em IFC de forma errada sem as informações e parâmetros necessárias para testar a solução proposta.

A Figura 8, apresenta um fluxo do processo realizado nesta etapa de implementação da ferramenta automatizada. O processo começa com a elaboração do modelo, após realiza-se a exportação em IFC 2x3 e a importação para o software de verificação. Nesse momento, é realizada a análise de consistência do modelo, na qual será possível identificar se as informações e os parâmetros estão corretamente inseridos. Caso seja positivo (Caso 1), o processo segue para classificação das componentes, que após são inseridas nas regras para sua execução. Para este caso, também é realizada uma validação de veracidade dos resultados das regras, ou seja, são realizados testes substituindo alguns dados dos parâmetros das regras, para validar se a regra realmente é executada e se apresenta resultados coerentes. Já para o caso negativo (Caso 2), as classificações das componentes e a execução das regras não ocorreram, sendo necessário solicitar aos projetistas a inserção das informações nos parâmetros das componentes do modelo, bem como a exportação correta para o IFC.

Figura 8: Processo realizado para implementação da ferramenta automatizada



Fonte: Autor

Então, foi pensando em solucionar problemas semelhantes ao do caso 2 que esta pesquisa desenvolveu como proposta de solução um quadro que informa quais os requisitos mínimos

necessários de informação que um projeto em BIM deve conter para que seja possível utilizar as regras automatizadas desenvolvidas na pesquisa. Estes requisitos foram levantados, principalmente, com base nos elementos necessários para execução das regras e, também com base nos padrões de exportação de dados do IFC da BuildingSmart (2022), pois quando o mesmo for importado para o software de verificação, as informações contidas no modelo serão traduzidas de forma correta pelas regras e classificações.

Por fim, foram realizadas as análises e reflexões sobre a aplicação da ferramenta automatizada aos dois casos, bem como uma comparação entre eles e também se apresentou algumas vantagens e desvantagens.

O Quadro 1 apresenta o resumo das etapas desenvolvidas nesta pesquisa.

Quadro 1: Metodologia da pesquisa

Etapa	Descrição	Detalhamento
1	Compreensão	<ul style="list-style-type: none"> ● Entendimento do problema ● Definição do objetivo da pesquisa ● Limitações e delimitações ● Embasamento teórico
2	Elaboração da ferramenta automatizada	Criação de <i>classifications</i> e regras
3	Implementação da ferramenta automatizada	Aplicação das <i>classifications</i> e regras em dois projetos diferentes.
4	Proposta de solução para o problema	Elaboração do requisito de informação
5	Análises e reflexões	Benefícios, desvantagens, sugestões, mudanças e comparações.

4. RESULTADOS

Os modelos utilizados para aplicação da ferramenta automatizada para o caso 1 e caso 2 estão apresentados na Figura 9 e Figura 10 respectivamente. É importante ressaltar que as características dos empreendimentos, como por exemplo, a área total, quantidade de pavimentos, porte e etc. não são relevantes para este trabalho, pois o foco foi analisar a execução e o funcionamento das regras nesses projetos.

Figura 9: Modelagem utilizada no Caso 1



Figura 10: Modelagem utilizada no Caso 2



4.1 Elaboração da ferramenta automatizada

Com base nos *templates* do Solibri (Figura 4) desenvolveu-se dez regras automatizadas de verificação. Essas regras, bem como os códigos dos *templates* (*Rulesets* SOL) utilizados para a criação, estão indicados na primeira e na segunda coluna do Quadro 2. Para cada verificação, primeiramente foram analisadas as componentes necessárias para execução das regras, e com base nelas foram realizadas as classificações (*classifications*), conforme demonstradas na terceira e quarta coluna do Quadro 2. Nas próximas subseções, estas regras foram aplicadas nos projetos selecionados para o estudo.

Quadro 2: Regras automatizadas criadas para pesquisa

VERIFICAÇÕES NORMATIVAS				
Verificações	Rulesets (SOL)		Classifications	Componentes
1. Áreas mínimas	132	-	Ambientes	<i>Space</i>
2. Dimensões mín. de escadas	210	-	Escadas	<i>Stair</i>
3. Inclinação de rampas	207	-	Rampas	<i>Ramp</i>
4. Largura mínima em corredores	209	-	Ambientes	<i>Space</i>

5. Giro mínimo cadeirante PNE	209	-	Ambientes	Space
6. Peitoril mínimo de janelas	222	222	Esquadrias; Ambientes e Pisos	<i>Window; Door; Space e Slab</i>
7. Pé-direito	222	222	Forros; Ambientes e Pisos	<i>Suspended Ceiling; Space e Slab</i>
8. Espaço mín. no entreferro	222	-	Lajes e Forros	<i>Slab e Suspended Ceiling</i>
9. Dimensões mín. de vagas estacionamento	230	-	Vagas	<i>Space ou Object</i>
10. Altura mínima do guarda-corpo	222	-	Guarda-corpo e Piso	<i>Railing e Slab</i>

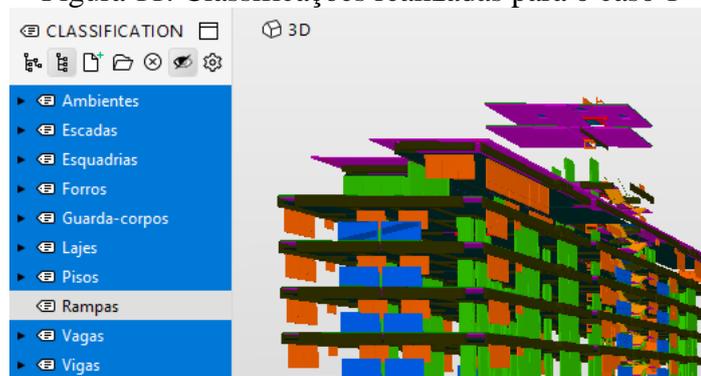
4.2 Implementação da ferramenta automatizada

Uma vez definidas as regras, a aplicação nos modelos ocorre de maneira rápida e dinâmica. O software gera um relatório que identifica quais as regras foram atendidas e quais não foram. As regras que não foram atendidas podem ser visualizadas dinamicamente na posição exata que ela se encontra no modelo facilitando a identificação do problema por parte do usuário (ANDRADE E SILVA, 2017).

4.2.1 Caso 1

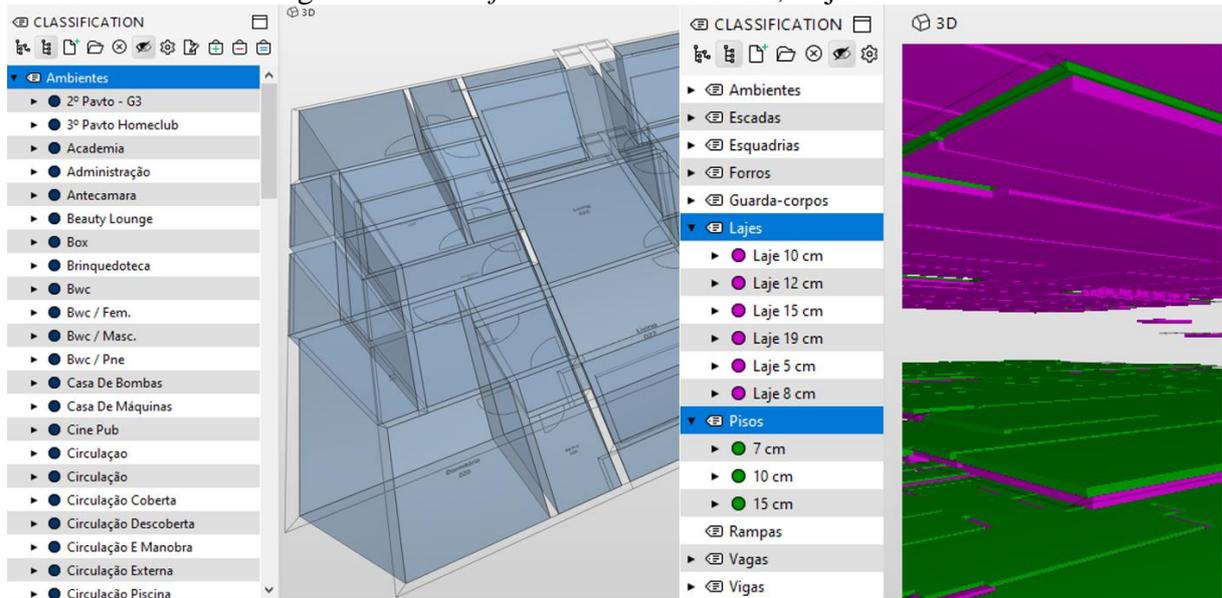
O teste começou com a classificação dos elementos indicados na terceira e quarta coluna do Quadro 2. A Figura 11 destaca em azul os elementos que foram possíveis realizar as classificações. As rampas neste projeto são inexistentes, pois não existe subsolos e não se faz necessário para os requisitos de acessibilidade, e por isso estas não puderam ser classificadas. Partiu-se para uma análise de cada elemento que teve sua classificação realizada, observando quais parâmetros foram responsáveis pelo sucesso da classificação.

Figura 11: Classificações realizadas para o caso 1



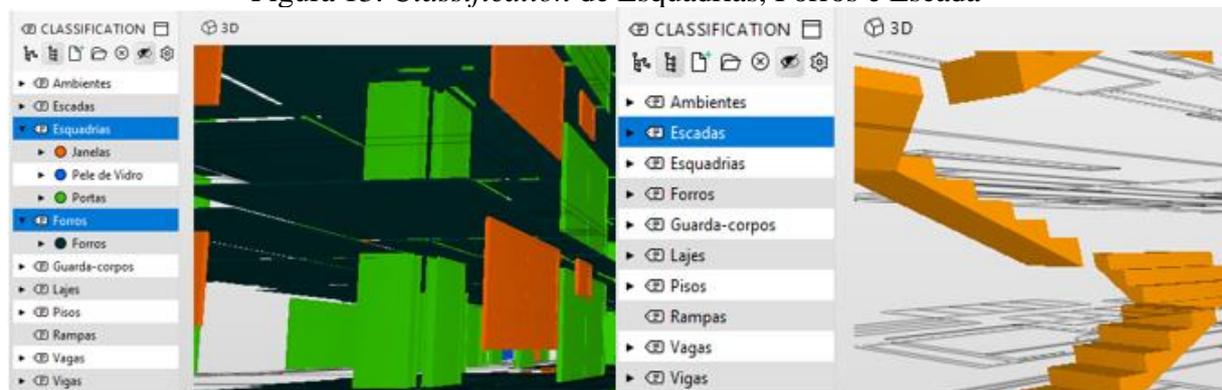
Para a classificação de ambientes, a associação correta do nome de cada cômodo do empreendimento na componente *Space* foi o que garantiu a execução da classificação. O mesmo vale para as espessuras dos pisos e lajes, quando a informação da espessura foi associada corretamente na componente *Slab* (Figura 12).

Figura 12: *Classification* de Ambientes, Lajes e Pisos



Na Figura 13 temos a classificação das esquadrias (janelas, portas e pele vidro) que foi possível agrupar através das componentes *Window*, *Door* e *Curtain wall*. Nesta mesma figura são representados os forros e as escadas pelas componentes *Suspended Ceiling* e *Stair*.

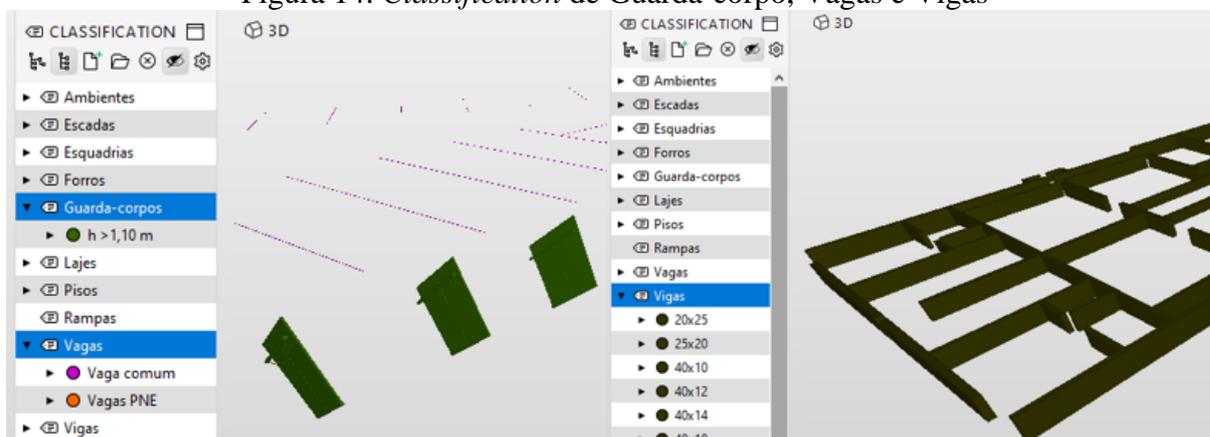
Figura 13: *Classification* de Esquadrias, Forros e Escada



Já para a Figura 14, temos as classificações dos guarda-corpos, vagas de garagem e vigas. A componente utilizada para o guarda-corpo foi *Railing* que também foi possível extrair a informação de altura, pois essa medida estava informada em seu parâmetro. No caso das vagas, elas foram exportadas com a componente *Object* que só foi possível diferenciar uma vaga

comum do PNE por possuir um parâmetro que informa sobre o tipo de vaga. No caso das vigas, o processo foi semelhante aos demais, onde sua componente de classificação é *Beam* e em seus parâmetros também foi informado as dimensões possibilitando a classificação por tipo de seção.

Figura 14: *Classification* de Guarda-corpo, Vagas e Vigas



Com as classificações realizadas, foi possível inseri-las nas regras desenvolvidas (Quadro 2) e executá-las, obtendo os resultados apresentados na Figura 15.

Figura 15: Resultado da execução das regras para o caso 1

CHECKING		Check Model	Report
Ruleset - Checked Model			
▼ FASE_01			
§ 1. Áreas mínimas		⚠ ⚠	
§ 2. Dimensões mín. da escada			OK
§ 3. Inclinação de rampas			—
§ 4. Largura mín. em corredores			OK
§ 5. Giro mínimo caideirante PNE			OK
▶ § 6. Peitoril mínimo de janelas			
▶ § 7. Pé-direito		⚠	
▶ § 8. Espaço mín. no entreferro			OK
▶ § 9. Dimensões mín. de vagas estacionamento			OK
▶ § 10. Altura mínima do guarda-corpo			OK

LEGENDA

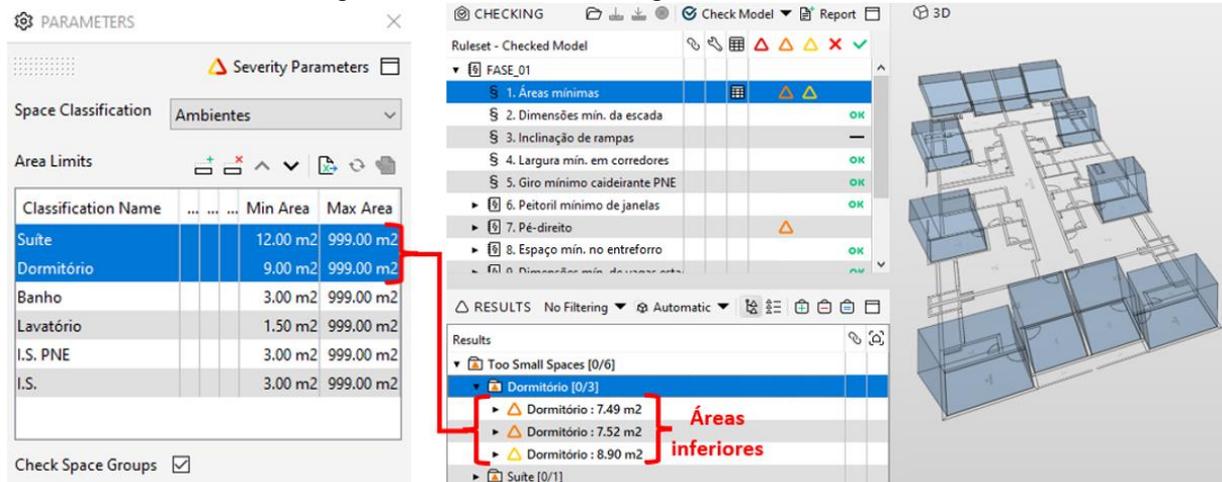
- OK Regra aprovada
- Regra não executada
- ✗ Regra rejeitada automaticamente
- ⚠ Regra tem problemas críticos
- ⚠ Regra tem problemas moderados
- ⚠ Regra tem problemas leves

A partir da análise dos resultados da operação, percebeu-se que as regras rodaram corretamente. Esses resultados sinalizam que a maioria deles está como “OK”, ou seja, todas essas verificações estavam dentro dos padrões normativos. Como mencionado anteriormente, nota-se que a regra de inclinação de rampas não foi aplicada, pois não consta no projeto. Por outro lado, a verificações de Áreas mínimas e de Pé-direito do dormitório, apresentaram sinais de alerta para os verificadores.

O resultado da regra de áreas mínimas (Figura 16) alerta que no projeto existem três dormitórios e uma suíte cuja área não atinge o mínimo por norma, que neste caso é de 9m². Esta é uma regra

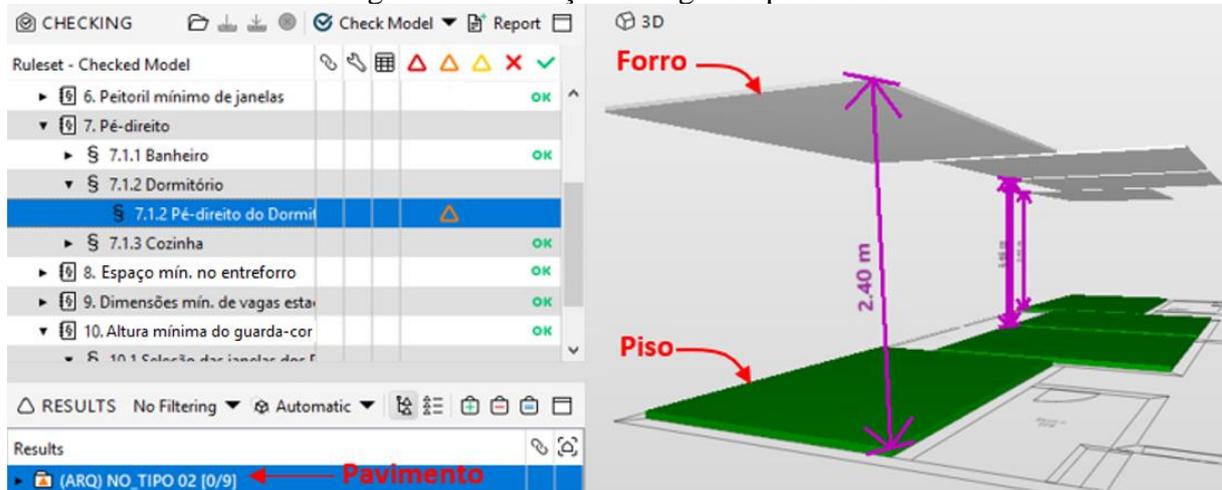
que precisou utilizar apenas a *classification* de Ambientes, que através dela foi possível selecionar os cômodos desejados para verificar as áreas mínimas.

Figura 16: Resultado da regra de áreas mínimas



Para o caso do pé-direito (Figura 17), o alerta da regra está indicando que no pavimento tipo 02 existem alguns dormitórios com pé-direito igual a 2,40 m, sendo inferior ao mínimo estabelecido pelo código de obras, que para o município deste projeto é de 2,50 m.

Figura 17: Execução da regra de pé-direito



Pode-se observar na Figura 18 que para esta verificação foi utilizada a regra *gatekeeper*, que conforme explicado anteriormente, primeiro é executada a regra que filtra os dados (7.1.2 Dormitório) utilizando as *classifications* de Forros e Ambientes. Posteriormente, a execução da sub-regra (7.1.2 Pé-direito do dormitório) é realizada com as *classifications* Forros e Piso. Em outras palavras, a primeira regra selecionou os locais desejados para que e a sub-regra pudesse de fato realizar a verificação do pé-direito deste local.

Figura 18: Inserindo parâmetros na regra *gatekeeper*

7. Pé-direito

- 7.1.1 Banheiro SOL/222/4.2
- 7.1.2 Dormitório SOL/222/4.2
- 7.1.2 Pé-direito do Dormitório SOL/222/4.2
- 7.1.3 Cozinha SOL/222/4.2

PARAMETERS

Checked Distance to Target Component: Directly Below

Component Surfaces: Bottom To Top

Allowed Maximum Distance: 1.00 m

Required Minimum Distance: 1.00 m

Use Door Swing in Distance Calculation:

Space or Space Group Containment: Ignore Space or Space Group

Space Group Type:

Source Component

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Any	Forros	Is Defined	

Target Component

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Any	Ambientes	One Of	[Dormitório, Suite]

Classification

Classification

Seleção dos ambientes

Figura 19: Inserindo parâmetros na sub-regra

7. Pé-direito

- 7.1.1 Banheiro SOL/222/4.2
- 7.1.2 Dormitório SOL/222/4.2
- 7.1.2 Pé-direito do Dormitório SOL/222/4.2
- 7.1.3 Cozinha SOL/222/4.2

PARAMETERS

Distance Calculation

Checked Distance to Target Component: Directly Below

Component Surfaces: Bottom To Top

Allowed Maximum Distance: 1.00 m

Required Minimum Distance: 2.50 m

Use Door Swing in Distance Calculation:

Space or Space Group Containment: Ignore Space or Space Group

Space Group Type:

Source Component

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Any	Forros	Is Defined	

Target Component

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Any	Pisos	Is Defined	

Pé-direito

Classification

Classification

A visualização de como as regras funcionam só é possível se o resultado da verificação causar problemas. Sendo assim, para conseguirmos visualizar da mesma forma as verificações que tiveram o resultado “OK” (Figura 15), foi necessário modificar os valores dos parâmetros das regras do *software* para induzir a verificação ao erro. Essa alteração permitirá visualizar o funcionamento e, principalmente, autenticar a veracidade dos resultados, observando se regra verifica aquilo que lhe foi solicitado. Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda, (2018) já alertaram que a verificação automatizada pode retornar falsos negativos ou positivos e, devido

a isto é muito importante ter um profissional treinado que saiba validar os resultados apresentados das regras. Soliman Junior (2018) também ressaltou que há a existência do efeito ‘caixa-preta’, onde não é possível saber se a regra já parametrizada verifica exatamente o que foi determinado pelo usuário, pois o *software* não permite que seja observado a rotina lógica de programação dentro de cada regra, de modo que seja possível visualizar onde se encontra um problema quando a regra se mostra inconsistente ou não-funcional. Portanto, é devido a casos como estes que se fez necessário realizar neste trabalho a validação dos resultados das regras.

Nas imagens a seguir, os locais que apresentam retângulo em vermelho, indicam os parâmetros que foram alterados dessas regras. Todos os parâmetros foram alterados por valores genéricos e superiores aos já apresentados nas imagens, por exemplo, se a dimensão mínima do patamar é de 1,20 m, então esta medida foi alterada para 2 m, e assim foi realizado para o restante das regras. Posto isso, o resultado na Figura 20 mostra que as medidas do patamar, espelho e degrau estão inferiores ao mínimo que foi indicado. Para a Figura 21, percebe-se que o diâmetro nos corredores (hall e circulação) e nos banheiros PNE não tem a distância suficiente para uma pessoa circular, sendo o Círculo verde = Diâmetro existente; Círculo vermelho = Diâmetro que deveria ter. No caso da Figura 22, o peitoril mínimo da janela está muito baixo, da mesma forma acontece para as alturas dos guarda-corpos (Figura 23). Para a Figura 24, tem-se a indicação que não há espaço suficiente no entreforro, que de acordo com a imagem, este espaço seria entre a base da laje até o forro. Por fim, para a Figura 25, temos que a largura e comprimento das vagas de estacionamento não atendem às dimensões mínimas.

Figura 20: Dimensões mínimas da escada

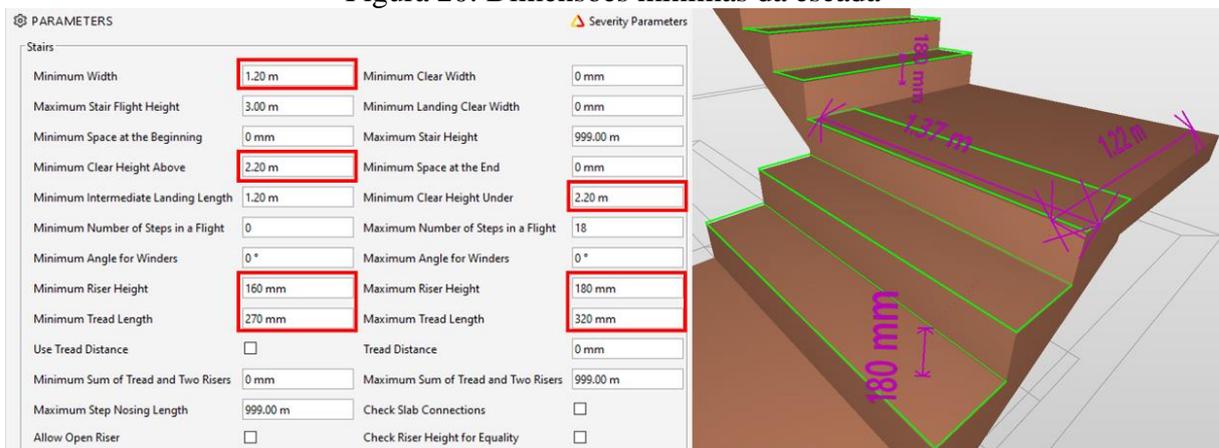


Figura 21: Circulação mínima em corredores e Giro mínimo para cadeirante PNE

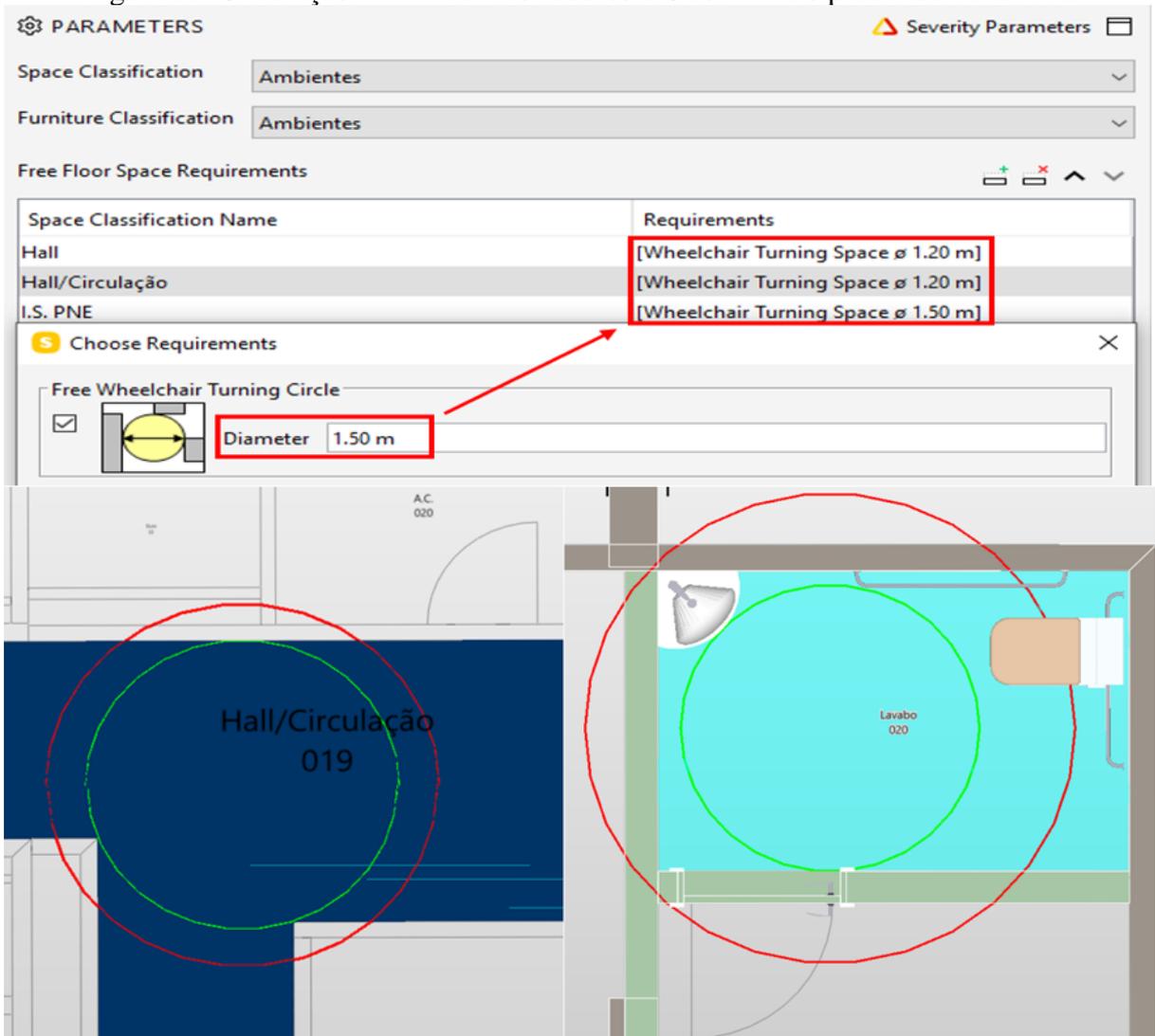


Figura 22: Peitoril mínimo em janelas

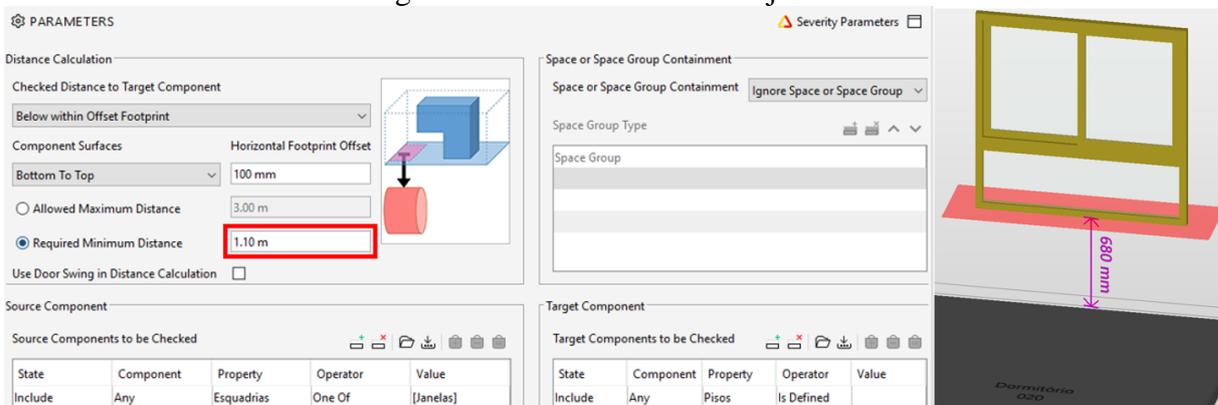


Figura 23: Altura mínima de guarda corpos

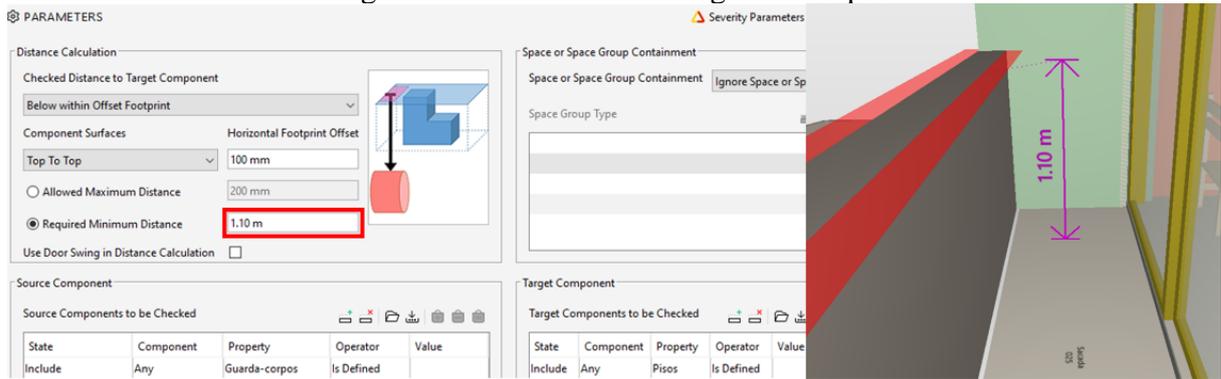


Figura 24: Espaço mínimo no entreferro

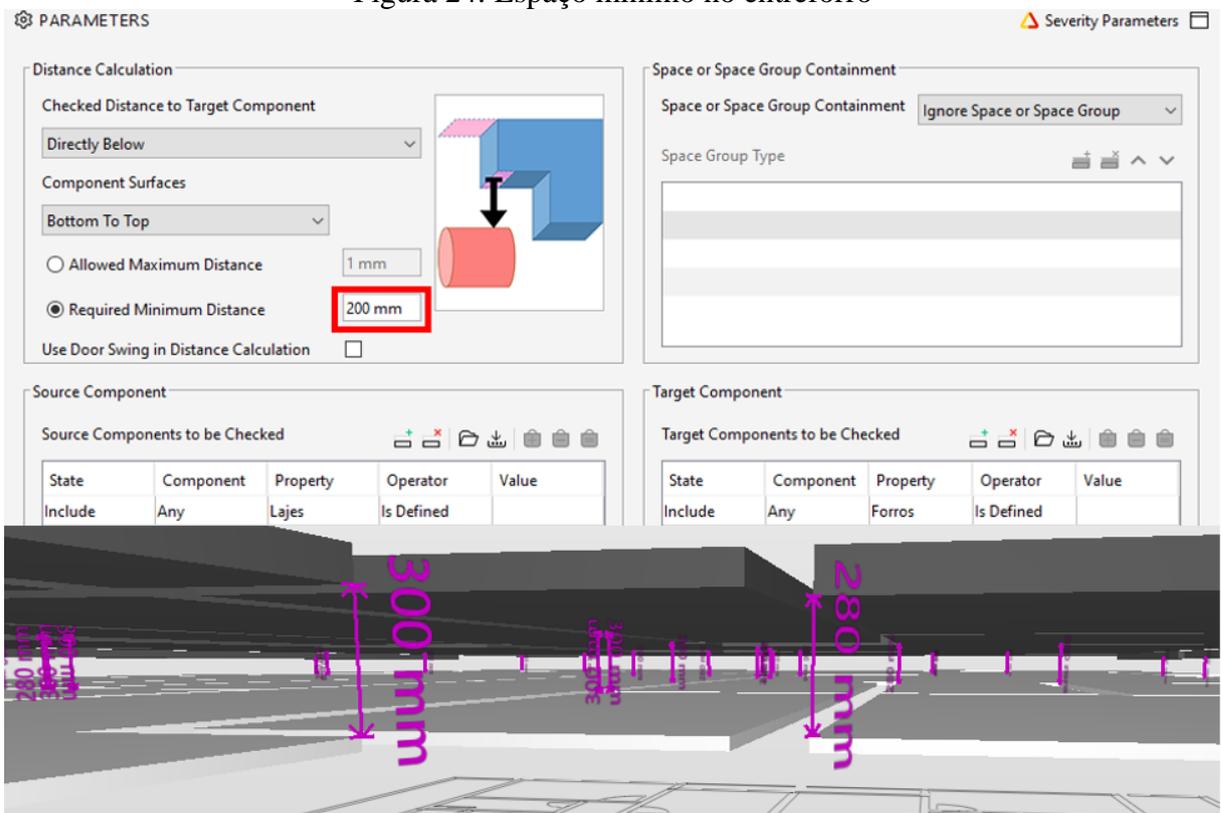
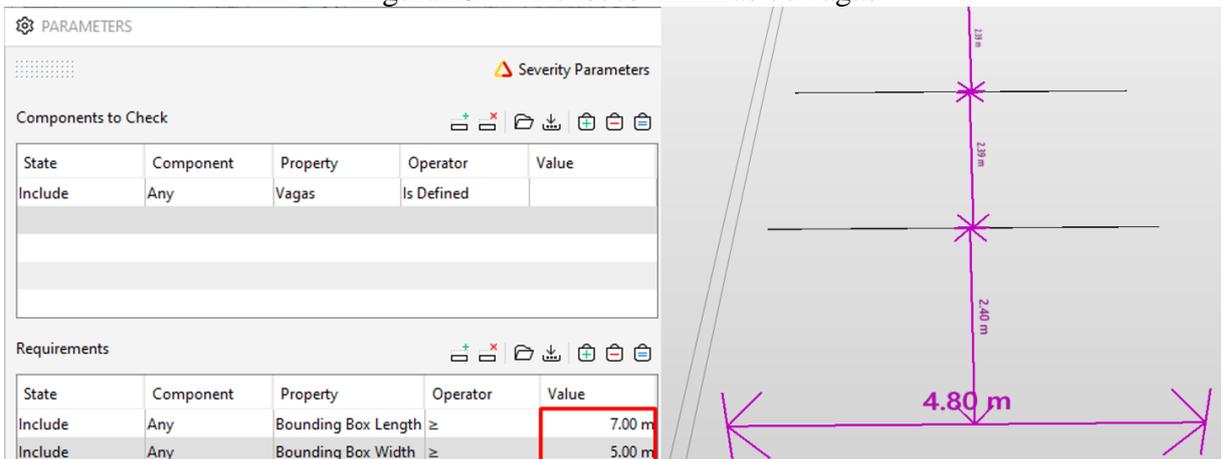


Figura 25: Dimensões mínimas de vagas



4.2.2 Caso 2

Para este caso, foi utilizado como exemplo um projeto que não possuía algumas informações e parâmetros no modelo. A ausência destes itens impactou nas classificações dos elementos e objetos do projeto e, conseqüentemente, na execução das regras posteriormente. Conforme ilustrado na Figura 26, podemos observar que as *classifications* de Escadas, Guarda-corpos, Lajes, Pisos e Rampas foram classificadas corretamente, pois estão de acordo com a configuração definida. Quanto às *classifications* Ambientes, Esquadrias, Forros e Vagas não foram classificadas, pois ao analisa-las percebeu-se casos de:

- não inserção dos elementos no projeto;
- componentes que não seguiram o padrão de exportação;
- casos de elementos sem informações nos parâmetros.

A Figura 27 mostra todos os elementos que compõe dentro do modelo, provando a não classificação dos Ambientes e Forros, pois os elementos *Space* e *Suspended Ceiling* não foram inseridos no modelo.

Figura 26: Execução das *classifications*

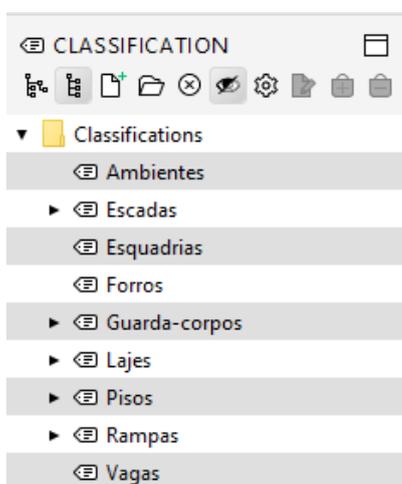
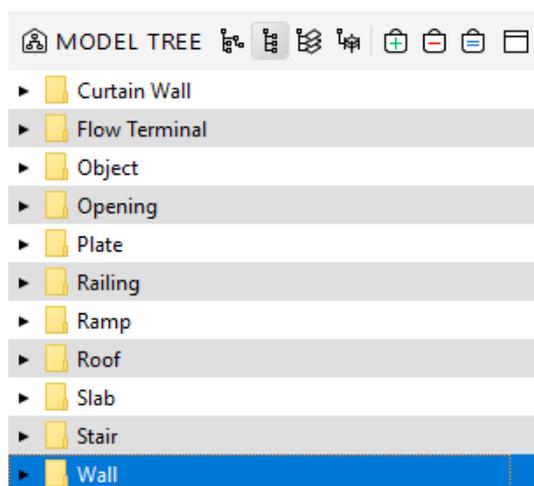


Figura 27: Componentes presente no modelo



Outras duas componentes muito importante que também não estão presentes na Figura 27, são as portas (*Door*) e as Janelas (*Window*), porém esses elementos não foram classificados porque todas as esquadrias desse projeto foram exportadas com a componente *Object* (objeto genérico) durante a geração do IFC (Figura 28). Neste caso, se fosse configurada a *classification* de Esquadrias para filtrar esta componente, até seria possível realizar sua classificação diferenciando as portas das janelas, pois se analisarmos no parâmetro *Name*, a tipologia dessas esquadrias é informada. No entanto, este procedimento não é o mais adequado, pois o correto seria que essas componentes viessem exportadas nas suas componentes padrão de modelagem.

Figura 28: Análise dos parâmetros das esquadrias

The screenshot shows the 'INFO' panel for a window element. The 'IFC Entity' is 'IfcBuildingElementProxy' and the 'IFC Type' is 'IfcBuildingElementProxyType'. A red box highlights these two fields, with a red arrow pointing to the text 'Erro na construção do modelo'. A blue arrow points from the 'Object.8.18' label to the window in the 3D view.

Property	Value
Model	ARQ_P1
Discipline	Architectural
Name	JANELA COM ESQUADRIA DE CORRER - 2 FOLHAS:250 x 220...
Phase	
Type	250 x 220
Type Name	250 x 220
Model Categories	
Description	
Material	VIDRO COMUM LISO VERDE, ALUMÍNIO COM PINTURA ELE...
Layer	A-GLAZ-___-OTLN
System	
Geometry	Boundary Representation
Application	Autodesk Revit 2020 (PTB)
IFC Entity	IfcBuildingElementProxy
IFC Type	IfcBuildingElementProxyType
GUID	2G9F9PqCf6S5QLHy2T6Jyq

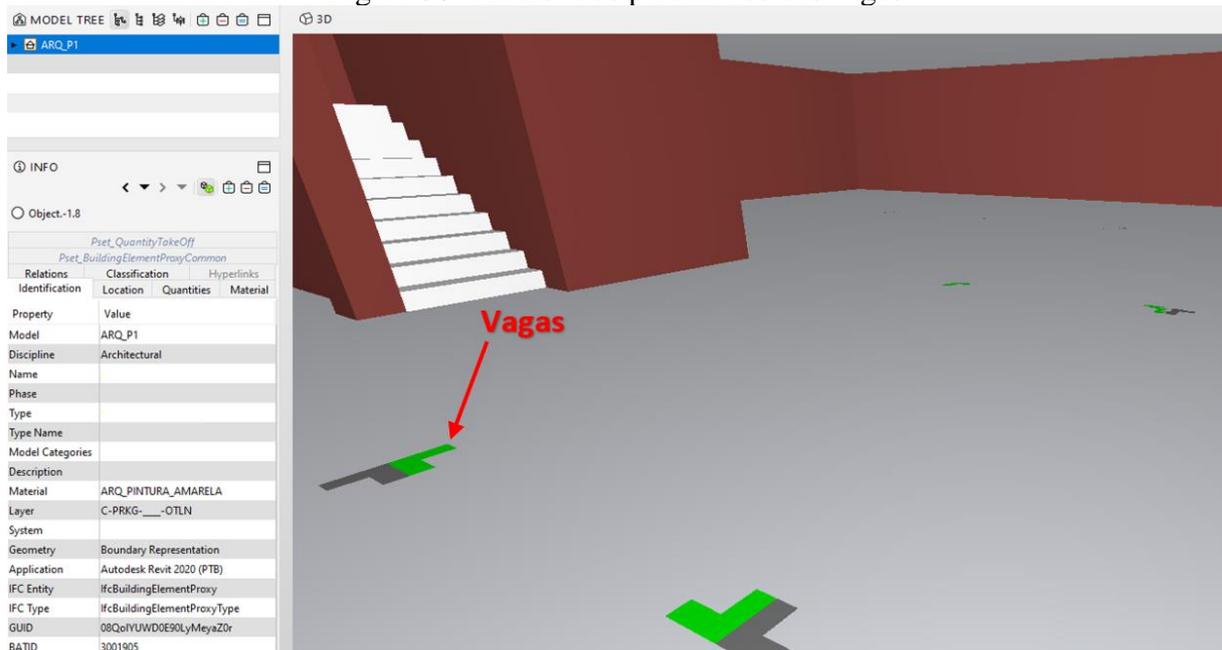
Em relação à falta da classificação das vagas de estacionamento, identificou-se que o principal motivo foi que as informações necessárias não estavam disponíveis nos parâmetros do elemento. As vagas geralmente são exportadas nos projetos como elementos genéricos (*Object*), ou seja, não existe um elemento definido de exportação para elas. Quando esses casos ocorrerem, para classifica-los, utiliza-se alguma informação disponível nos parâmetros do elemento como filtro, conforme demonstrado na Figura 29. No entanto, se observarmos a Figura 30, podemos ver que na paleta “INFO” nenhum dos parâmetros (*Name*, *Type*, *Type Name*, etc) apresentam alguma informação relacionada com a palavra “vaga”, e por isso não foi possível realizar a filtragem.

Figura 29: Filtrando informações na *classification*

The screenshot shows the 'Classification Settings (Vagas)' dialog box. The 'Components' table is highlighted with a red box, showing a filter rule. Red arrows point from the table to the text 'Elemento', 'Filtro', and 'Parâmetros Informação'.

State	Component	Property	Operator	Value
Include	<input type="radio"/> Object	Name	Contains	*Vaga*
Include	<input type="radio"/> Object	Type	Contains	*Vaga*
Include	<input checked="" type="radio"/> Object	Type Name	Contains	*Vaga*

Figura 30: Análise dos parâmetros das vagas



Como previsto, a não classificação desses elementos acabou afetando na execução das regras automatizadas que é realizada na próxima etapa. Outro ponto muito importante a destacar, é que algumas regras requerem mais de uma *classification* para sua execução, por exemplo, para usarmos a regra “8. Espaço mínimo no entreforço”, indicada no Quadro 2, é necessário ter classificado as lajes e os forros. Portanto, considerando este ponto e também o resultado das classificações, podemos concluir que as únicas regras que podem ser executadas para este projeto são: 2. Dimensões mínimas de escada; 3. Inclinação de rampas e 10. Altura mínima do guarda-corpo, conforme apresentados na Figura 30.

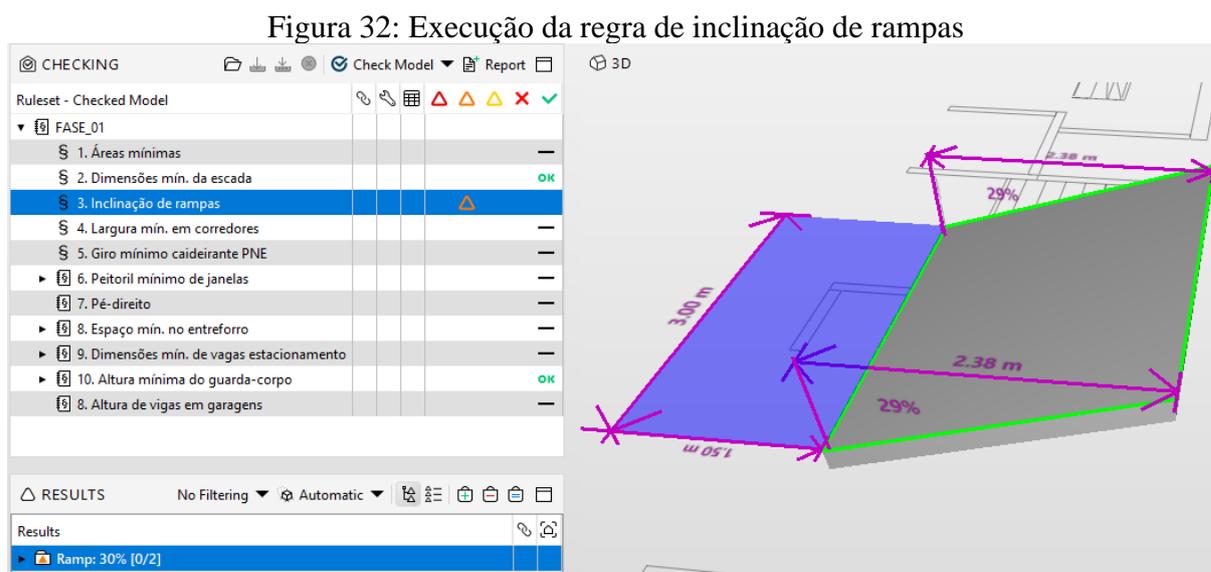
Figura 31: Resultado da execução das regras para o caso 1

CHECKING		Check Model		Report	LEGENDA	
Ruleset - Checked Model					OK	Regra aprovada
FASE_01					—	Regra não executada
§	1. Áreas mínimas				×	Regra rejeitada automaticamente
§	2. Dimensões mín. da escada				△	Regra tem problemas críticos
§	3. Inclinação de rampas			△	△	Regra tem problemas moderados
§	4. Largura mín. em corredores				△	Regra tem problemas leves
§	5. Giro mínimo caideirante PNE				—	
▶	§ 6. Peitoril mínimo de janelas				—	
▶	§ 7. Pé-direito				—	
▶	§ 8. Espaço mín. no entreforço				—	
▶	§ 9. Dimensões mín. de vagas estacionamento				—	
▶	§ 10. Altura mínima do guarda-corpo				OK	

Portanto, percebe-se que as demais regras – 2. Dimensões mínimas da escada; 3. Inclinação de rampas e 10. Altura mínima do guarda-corpo – executaram corretamente, pois elas dependem

somente das *classification* de escada, rampa e guarda-corpo, que conforme indicado na Figura 26, também foram realizadas com sucesso.

A seguir será demonstrada somente o funcionamento da regra de inclinação de rampas, pois ela foi a única que não foi apresentada anteriormente no caso 1. Dito isso, a Figura 32, está demonstrando que o resultado está alertando que a rampa está com a inclinação superior ao que foi informado, que para este projeto precisava ser no máximo 20%.



4.3 Proposta de solução

Para o desenvolvimento da proposta de solução identificou-se os requisitos necessários para efetiva execução das regras automatizadas, que conforme visto anteriormente nos casos 1 e 2, os principais requisitos foram os elementos e as informações dos parâmetros presentes nos projetos. Sendo assim, no Quadro 3, na primeira coluna são especificados esses elementos necessários e relacionados com os elementos nativos do IFC (*element classification*), bem como os padrões de exportação em IFC da BuildingSmart (IFC *Type*), apresentados na segunda e terceira coluna. Exportar os elementos corretamente é sem dúvida muito importante para realização das classificações e regras, porém, para alguns casos ter somente isto não basta. Desta forma, para servir como complemento, na quarta coluna também é solicitado que nos parâmetros desses elementos sejam especificadas mais informações – Por exemplo para as esquadrias: Nome – J01; Material – Madeira; Tipologia – Porta, Janela, Pele de vidro e etc.

Quadro 3: Requisitos de informação

REQUISITOS DE INFORMAÇÃO			
Elementos	<i>Element Classification</i>	<i>IFC Type</i>	Informações mínimas nos parâmetros
Ambientes	Space	IfcSpace	Nome de todos os ambientes
Corrimão	Railing	IfcRailing	Tipologia, dimensões e material
Escadas	Stair	IfcStair	Tipologia e material
Forros	Ceiling	IfcCeiling	Tipologia e material
Janelas	Window	IfcWindow	Tipologia, dimensões, material
Lajes/Pisos	Slab	IfcSlab	Espessura, tipologia e pavimento
Objetos genéricos	Object	IfcObject	Identificação de cada objeto
Paredes	Wall	IfcWall	Tipologia, espessura e revestimentos
Parede cortina	Curtain Wall	IfcCurtain Wall	Tipologia, dimensões e material
Portas	Door	IfcDoor	Tipologia, dimensões e material
Rampas	Ramp	IfcRamp	Tipologia e material

É muito importante ressaltar que para o desenvolvimento do modelo BIM, esses requisitos precisam estar contidos no escopo de projeto e definidos no momento da contratação dos projetistas. Essa documentação deve compor um contrato entre o modelador e o implementador para que seja firmado um acordo do que deverá ser entregue em cada etapa do projeto (SOLIHIN; EASTMAN, 2015). Os requisitos precisam ser cumpridos já nas primeiras revisões do projeto, pois dessa forma evita-se que a verificação deixe de ocorrer e possibilita que o verificador do projeto realize as classificações e execute as regras automatizadas corretamente.

4.4 Análises e reflexões

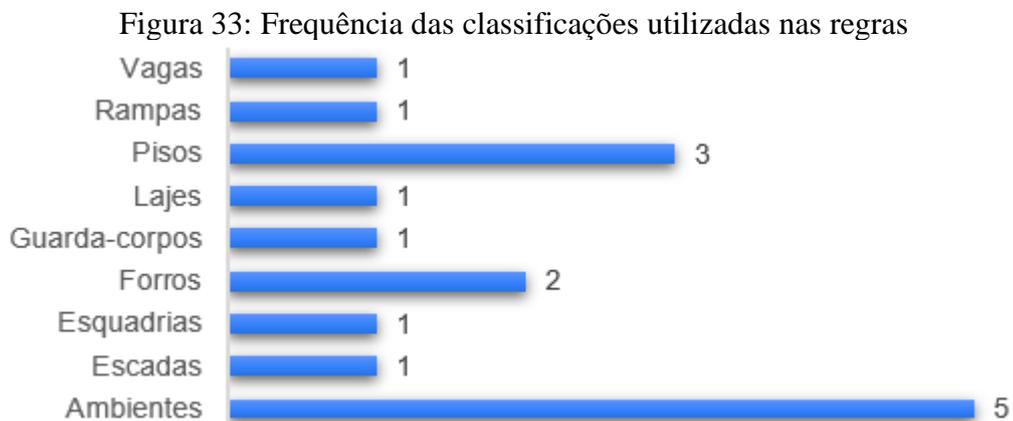
A aplicabilidade da solução quando utilizada e comunicada aos projetistas no início do projeto mostrou-se satisfatória na utilização de regras automatizadas, conforme demonstrado no exemplo aplicado do Caso 1. Nota-se também que a proposta segue os princípios do fluxo de trabalho apresentados na Figura 1, onde o verificador (receptor) forneceu os requisitos de informação (Quadro 3) para os projetistas (provedor) inserir nos modelos no momento da concepção do projeto. O cumprimento destes requisitos cumpre com o propósito específico, de implementar regras automatizadas em projetos BIM.

Para o Caso 2, podemos fazer algumas reflexões. Conforme a Tabela 1, observa-se que foram possíveis realizar 56% das classificações e apenas 30% das regras. Essas discrepâncias nos percentuais se devem ao fato de que algumas regras apresentam classificações com maior recorrência. Se notarmos a Figura 33 e o Quadro 2, a classificação de Ambientes é requisitada para execução de cinco regras no total, logo podemos perceber a importância dessa classificação

nos modelos, bem como a importância de exportá-la corretamente com a componente IfcSpace para o IFC. Se, por exemplo, esses ambientes tivessem sido classificados, o percentual de classificações realizadas passaria para 67% e as regras executadas passariam a ser 60%, pois com essa classificação também seria possível executar as regras de áreas mínimas, largura mínima em corredores e giro mínimo do cadeirante PNE. No entanto, não foram contempladas as regras de peitoril mínimo de janelas e de pé-direito porque ainda faltaria a classificação das esquadrias e dos forros, que conforme visto anteriormente, os mesmos não tinham os requisitos mínimos para classificá-los. Portanto, percebe-se que a não classificação de alguns elementos, afeta diretamente na execução das regras, principalmente para as classificações mais utilizadas.

Tabela 1: Comparativo das classificações e regras aplicas nos projetos

PROJETO	CLASSIFICAÇÕES		REGRAS	
	Classificou	Não Classificou	Executada	Não Executada
Caso 1	100%	0%	100%	0%
Caso 2	56%	44%	30%	70%



Fonte: Autor

Os requisitos solicitados no Quadro 3 limitaram-se às regras que foram desenvolvidas no estudo, porém, recomenda-se à medida que novas regras automatizadas sejam criadas, as definições para inserção de informações nos projetos também sejam especificadas e solicitadas juntamente com os demais requisitos.

O principal benefício da implementação dos requisitos de informação é garantir que os projetistas estejam cientes do que precisam apresentar e entregar no modelo BIM, bem como elucidar e estruturar o que precisa ser feito e, portanto, a importância de firmar um contrato entre as partes, onde estas definições estejam estabelecidas antes do início do projeto no plano

de execução BIM (PEB). Estes requisitos também auxiliam na padronização dos modelos desenvolvidos, e consequentemente tornar o uso mais eficiente da ferramenta, pois evitará o retrabalho associado ao ajuste das classificações e regras. A padronização além de auxiliar os analistas que realizam as verificações, no futuro, também pode vir a se tornar algo solicitado pelos órgãos públicos, já que o uso do BIM está cada vez mais recorrente. Sendo assim, pode ser que em algum momento estes mesmos órgãos adotem o uso de ferramentas automatizadas para realizar verificações dos projetos que são encaminhados para análise de aprovação, que segundo Rotava (2018) atualmente, essas atividades são realizadas na maioria dos casos manualmente, com ou sem a ajuda de ferramentas CAD 2D. Este mesmo autor aponta que se isso de fato acontecer, provavelmente incentivará os agentes envolvidos da construção civil a se adequar às novas ferramentas e métodos do BIM. Portanto, será extremamente importante ter um requisito de informação padrão a ser seguido nos projetos.

Sobre os benefícios do uso de regras automatizadas, Andrade e Silva (2017) afirma que há uma contribuição na garantia da conformidade dos requisitos solicitados por normativas, bem como o tempo necessário para desempenhar essa função. Kater e Ruschel (2020) também argumentam que há redução no tempo envolvido para analisar e verificar os projetos, inclusive a redução dos erros humanos. Os mesmos autores dizem que quando projetistas utilizam a verificação automatizada há o benefício deles conseguirem visualizar mais facilmente os problemas no projeto de não conformidade em relação às especificações mínimas, e já poderem corrigir mais rapidamente.

Entre as desvantagens, podemos citar o alto custo da aquisição dos softwares que realizam a análise de modelos, neste caso em específico o Solibri. Por parte do projetista, pode não ser econômico utilizar esta ferramenta, pois este programa não corrige problemas de modelagem. Por outro lado, quem só verifica projetos, por exemplo órgãos públicos, talvez usar essa ferramenta faça mais sentido e seja um bom investimento.

5. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou exemplos de regras automatizadas aplicadas a projetos BIM, onde foi observado que o uso desta ferramenta não funciona corretamente se os modelos não apresentam as informações necessárias, então por mais que esta tecnologia proporcione diversos benefícios, ainda existe um longo caminho a percorrer para alcançar um processo maduro e coeso na adoção do BIM. O problema pôde ser resolvido com o desenvolvimento de um requisito de informação, onde o profissional que deseja fazer uso das regras especifica e informa o que é necessário para conseguir realizar as verificações nos projetos. Quando o projetista recebe esses requisitos no

início do projeto, ele deve considerar todas as informações que o especificador solicita no modelo. Ao incluir essas informações no projeto, foi demonstrado no caso 1, que é possível utilizar as regras desenvolvidas nas verificações, enquanto no caso 2, foi possível perceber que o processo de verificação automatizada está totalmente ligado ao processo de desenvolvimento do modelo, pois quando não há as informações no projeto, percebeu-se que a maioria das regras não puderam ser utilizadas.

Portanto, podemos concluir que o objetivo principal da pesquisa – de propor o desenvolvimento de um requisito de informação, informando quais são as informações necessárias para a aplicação de regras automatizadas – foi alcançado satisfatoriamente.

Dentre as contribuições desta pesquisa destaca-se o entendimento dos requisitos necessários para a utilização das regras disponibilizadas pelo Solibri, bem como a demonstração das regras desenvolvidas pelo autor, favorecendo e complementando os estudos já realizados por autores brasileiros. Destaca-se também, que a aplicação das regras desenvolvidas não se limita apenas a esta pesquisa, sendo possível utiliza-las em qualquer outro projeto de arquitetura, desde que atendidos os requisitos de informação apresentado no Quadro 3.

Com base na conclusão do artigo, algumas oportunidades futuras de pesquisa podem ser destacadas:

- Ampliar os requisitos de informação incluindo as demais disciplinas que compõe um projeto de engenharia e que utilizam softwares de modelagem em BIM:
 - Arquitetura – Archicad
 - Estrutura – Eberick e TQS
 - Instalações – Qibuilder e Revit Mep
- Comparar os requisitos de informação entre softwares de modelagem da mesma disciplina, como por exemplo, o Revit e o Archicad.
- Extrair informações do IFC através de *PropertySets*, pois assim todas as informações desejadas podem ser atribuídas aos elementos, podendo até ser utilizado também para levantamento de quantitativos.
- Explorar mais o formato IFC, porque foi constatado em outros estudos que algumas características atribuídas aos elementos não são conservadas quando exportados para este formato.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Max Lira Veras X. de; RUSCHEL, Regina Coeli. INTEROPERABILIDADE DE APLICATIVOS BIM USADOS EM ARQUITETURA POR MEIO DO FORMATO IFC. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Paulo, SP, v. 2, n. 4, p.76-111, 15 dez. 2009.

ANDRADE E SILVA, F. P. de. **VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DOS REQUISITOS DE PROJETOS DA NORMA DE DESEMPENHO PELA PLATAFORMA BIM SOLIBRI MODEL CHECKER**. Belo Horizonte, 2017. 169 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 19650-1: NBRISO19650-1 DE 05/2022** - Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção - Parte 1: Conceitos e princípios. 1 ed. Brasil, 2022. 40 p.

BUILDINGSMART. IFC Introduction. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/about/what-is-openbim/ifc-introduction/>>. Acesso em: 22 ago. 2022.

CRESPO, Cláudia Campos; RUSCHEL, Regina Coeli. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. In: 3 ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2007, Porto Alegre. **CRESPO_2007**. Porto Alegre: TIC, 2007. p. 1-9. Disponível em: http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/gpacc/BIM/referencias/CRESPO_2007.pdf. Acesso em: 27 set. 2022.

EASTMAN, C. *et al.* Automatic Rule-Based Checking of Building Designs. **Automation in Construction**, v. 18, n. 8, dec. 2009.

EASTMAN, Chuck *et al.* Manual De Bim: **Um Guia De Modelagem Da Informação Da Construção Para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 503 p.

FERNANDES, G. von der H.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPOULOS-FAZENDA, P. Método para verificação automatizada de requisitos em empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 259-278, out./dez. 2018.

GRANT THORNTON (org.). **Mapeamento Maturidade BIM no Brasil**. 2022. 27 p. Disponível em: <https://www.grantthornton.com.br/insights/artigos-e-publicacoes/maturidade-bim-2022/>. Acesso em: 22 set. 2022.

KATER, M.; RUSCHEL, R. C. O potencial da verificação automatizada baseada em regras para as medidas de segurança contra incêndio em BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 423-444, out./dez. 2020.

KIVINIEMI, A.; TARANDI, V.; KARLSHØJ, J.; BELL, H.; KARUD, O. **Review of the Development and Implementation of IFC Compatible BIM**. ERABUILD FUNDING ORGANIZATIONS, 2008.

LABIM (Governo de Santa Catarina). Secretaria de Estado do Planejamento (org.). **GUIA BÁSICO IFC**. Florianópolis, 2022. 27 p. Disponível em: <https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/doc-tecnicos/labim/Guia%20B%C3%A1sico%20de%20IFC.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

MAIA, Lino; MÊDA, Pedro; FREITAS, João G. BIM methodology, a new approach case study of structural elements creation. **Procedia Engineering**, v. 114, p. 816-823, 2015.

PAIVA, Daniel Capistrano Sarinho. **USO DO BIM PARA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS: BARREIRAS E OPORTUNIDADES EM UMA EMPRESA CONSTRUTORA**. 2016. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-Rn, 2016.

RIBEIRO, T. R. .; RAMOS, J. C. F.; OLIVEIRA, V. M. A. de .; RUSCHEL, R. C. . Compreensão dos requisitos de informação da ISO 19650. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021, Uberlândia. **Anais[...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-13. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/580>. Acesso em: 3 ago. 2021

ROTAVA, Ramon Helder. **ANÁLISE DE SISTEMAS PREVENTIVOS POR EXTINTORES DE INCÊNDIO DE MODELOS BIM ATRAVÉS DE VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE REGRAS**. 2018. 152 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SANTOS, Julio Thibes Rodrigues Almeida. **ANÁLISE DO ATENDIMENTO DA NORMA DE ACESSIBILIDADE EM EDIFÍCIO PÚBLICO COM A APLICAÇÃO DO SOFTWARE SOLIBRI**. 2021. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

SOLIBRI (Finlândia) (org.). **Understanding Classifications**. 2022. Disponível em: <https://help.solibri.com/hc/en-us/articles/1500004070762-Understanding-Classifications>. Acesso em: 27 set. 2022.

SOLIHIN, W; EASTMAN, C. M. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, v. 18, p. 69-82, may 2015.

SOLIMAN JUNIOR, João. **Framework para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares**. 2018. 143 f. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

TAKAGAKI, Carolina Yumi Kubo. **Regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas prediais hidráulicos e sanitários**. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Inovação na Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

THÓRUS ENGENHARIA (Santa Catarina) (org.). **Cenário Construtivo Brasileiro 2021**. Florianópolis, 2021. 63 p. Disponível em: <https://mkt.thorusengenharia.com.br/cenario-construtivo-brasileiro-2021-baixe-os-resultados/>. Acesso em: 22 set. 2022.

UK BIM Framework. **Information Management According to BS EN ISO 19650: Guidance Part D, Processes for Project Delivery**, 2019, First Edition.