XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE REQUISITOS DE PROJETOS DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA COM USO DE BIM E PROGRAMAÇÃO VISUAL[1]

BARBOSA, Amanda (1); COSTA, Dayana (2)

(1) Universidade Federal da Bahia (UFBA), amanda-dsb-@hotmail.com
(2) Universidade Federal da Bahia (UFBA), dayanabcosta@ufba.br

RESUMO

O processo tradicional de conferência do projeto frente às regulamentações, por ser manual e depender unicamente dos conhecimentos dos profissionais envolvidos, demanda muito tempo e é bastante suscetível a erros. A verificação dos requisitos de segurança contra incêndio em específico é uma das mais complexas, dada a grande quantidade de normas e Instruções Técnicas em vigor nessa área. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é avaliar o uso de BIM e programação visual aplicados à verificação automática de requisitos de projetos de saídas de emergência, segundo a Instrução Técnica Nº 11 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado da Bahia. Foi desenvolvido um estudo de caso no qual foram selecionados sete requisitos da Instrução Técnica Nº 11 para serem convertidos em linguagem de programação visual. Através das rotinas criadas, as regras foram verificadas em dois modelos BIM. Os resultados das verificações foram gerados automaticamente em Excel e, por fim, as rotinas foram avaliadas quanto a sua utilidade e aplicabilidade. As ferramentas mostraram grande potencial para tornar o processo de verificação de requisitos normativos em projetos mais rápido e confiável, diminuindo o esforço manual empregado e podendo ser uma aplicação promissora a ser expandida para a verificação de outras normas técnicas.

Palavras-chave: *Segurança Contra Incêndio, BIM, Verificação Automática de Regras, Programação Visual.*

ABSTRACT

The traditional process of code compliance checking of a building design is manual and depends only on the knowledge of the professionals involved, thus it is time-consuming and prone to errors. The checking of fire safety requirements is one of the most complex ones, given the large number of standards in force in this area. The objective of this paper is to evaluate the use of BIM and visual programming language applied to the automatic verification of emergency exit design requirements, according to Technical Instruction No. 11 of the Military Fire Department of the State of Bahia. A case study was conducted in which seven requirements of Technical Instruction No. 11 were selected to be converted into the visual programming language. Using the routines created, the rules were verified in two BIM models. The results of the checks were automatically generated in Excel and finally, the routines were evaluated for their usefulness and applicability. The tools showed great potential to make the process of checking regulatory requirements in projects faster and more reliable, reducing the

[1] BARBOSA, A.; COSTA, D. Verificação automática de requisitos de projetos de saídas de emergência com uso de BIM e programação visual. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

manual effort and being a promising application to be expanded to verify other technical standards.

***Keywords**: Fire Safety. BIM. Automated Code Checking, Visual Programming.*

1 INTRODUÇÃO

As normas de segurança contra incêndio do setor de construção habitacional no Brasil estão em constante evolução, tornando-se cada vez mais complexas e em maior quantidade. Este cenário tem tornado a etapa de conferência do projeto um processo demorado e propenso a erros. Somando-se a isso o fato de que muitas vezes existe falta de consistência na interpretação das disposições regulamentares, as licenças de construção têm demorado cada vez mais tempo para serem aprovadas, levando a impactos financeiros adversos nos projetos (NAWARI, 2019).

Dessa forma, o problema desta pesquisa consiste no processo tradicional de análise de projetos, que por ser realizado de forma manual, dependendo unicamente do conhecimento prévio dos analistas, resulta em lentidão e falta de padronização para aprovação. As normas de segurança contra incêndio por serem extensas e estarem divididas em vários documentos que variam de acordo com o estado, são uma das que mais carecem de automatização para a verificação em projetos.

Portanto, visando contribuir para a melhoria da produtividade do processo de projetos, esse estudo tem como objetivo avaliar o uso de *Building Information Modeling* (BIM) e programação visual computacional aplicados à verificação automática de requisitos de segurança contra incêndio em projetos, especificamente para saídas de emergência, de acordo com a Instrução Técnica Nº 11/2016 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado da Bahia (CBMBA).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversos estudos em todo o mundo visam desenvolver métodos e tecnologias para automatizar aspectos do processo de verificação de projetos (BEACH; REZGUI; KASIM, 2015; PREIDEL; BORRMANN, 2016; PAUWELS; ZHANG, 2015). Com auxílio de tais ferramentas, o esforço manual necessário para a verificação da conformidade do projeto com as normas pode ser drasticamente reduzido, contribuindo assim para o aumento da eficiência dos processos de projeto através da automatização das etapas de verificação e de documentação das tomadas de decisão (PREIDEL; BORRMANN, 2016).

Atualmente a maioria dos *softwares* desenvolvidos para a verificação automática de regras possuem uma série de *templates* de regras prontos que podem ser utilizados pelo usuário. Porém, a construção de novos *templates* só pode ser realizada pelos desenvolvedores (SILVA; ARANTES, 2017). Um problema comum com tais sistemas é a sua falta de flexibilidade por serem dependentes das regras que são fornecidas, desconsiderando que os regulamentos estão sujeitos a alterações frequentes (DIMYADI *et al*., 2016). Dessa forma, visando criar sistemas flexíveis que permitam que o usuário defina regras, pesquisadores tem se concentrado no estudo de abordagens baseadas em linguagens de programação (SOLIHIN; DIMYADI; LEE, 2018).

Nos últimos anos, as Linguagens de Programação Visual, ou *Visual Programming Languages* (VPL) foram bem estabelecidas no campo da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Dentre os *softwares* mais conhecidos que utilizam essa linguagem estão o plug-in Grasshopper da Rhinoceros3D, Dynamo da Autodesk Revit e Marionette da Vectorworks. Kim *et al.* (2017) afirmam que, por ser intuitiva e possibilitar

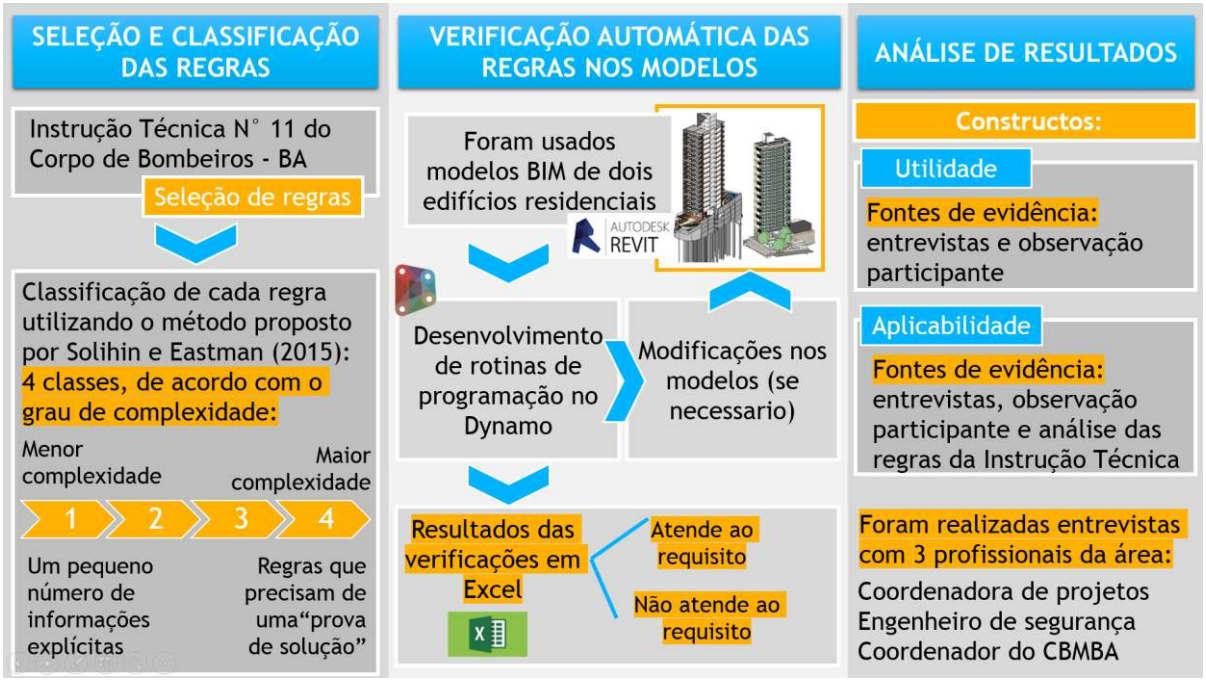
modificações do projeto em tempo real, a linguagem visual tem sido bastante utilizada para dar suporte às verificações de regras.

Em linguagens de programação textuais, os usuários têm que primeiramente aprender a sintaxe da linguagem para serem capazes de codificar programas. Já em ferramentas VPL, os programas são construídos usando diagramas compostos por elementos chamados nós (MONTEIRO, 2016). Dessa forma, as ferramentas VPL oferecem uma interface humano-computador mais amigável fazendo com que profissionais de AEC com pouca ou nenhuma habilidade de programação possam desenvolver rotinas de verificação de regras de acordo com suas necessidades (MARTINS; RANGEL; ABRANTES, 2016).

3 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada nesse trabalho foi o estudo de caso, contendo as seguintes etapas: (1) seleção e classificação das regras, (2) verificação automática das regras nos modelos BIM e (3) análise de resultados, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Delineamento do estudo



Fonte: As autoras

Foram utilizados os modelos BIM de dois edifícios residenciais, ambos desenvolvidos no *software* Revit. O empreendimento aqui denominado Projeto A, contém três pavimentos de garagem, um pavimento térreo, e 16 pavimentos tipo, e no período de realização do estudo a obra se encontrava em fase avançada. O Projeto B contém dois pavimentos de garagem, um pavimento térreo e 24 pavimentos tipo, e no período do estudo o Projeto B estava em fase de anteprojeto.

3.1 Seleção e classificação das regras

A classificação das regras facilita o aproveitamento de aplicações já realizadas, e aponta aos desenvolvedores de plataformas quais são as necessidades para um uso pleno (MAINARDI NETO, 2015). Neste estudo foi utilizada a classificação proposta por Solihin e Eastman (2015), apresentada a seguir:

• Classe 1 – Regras que necessitam de apenas um ou poucos dados;

• Classe 2 – Regras que necessitam de valores derivados simples;

• Classe 3 – Regras que necessitam de uma estrutura de dados extensa. Geralmente estão ligadas a operações com geometrias, sendo necessário o uso de algoritmos;

• Classe 4 – Regras que necessitam de uma "prova de solução". A verificação deve provar que o modelo está conforme ao invés de simplesmente atendendo a critérios prescritivos. Geralmente são regras de normas que se baseiam em desempenho.

O Quadro 1 apresenta as regras da Instrução Técnica Nº 11 do CBMBA que foram selecionadas para o estudo e suas respectivas classes.

Quadro 1 - Procedimentos da Instrução Técnica Nº 11 selecionados e suas classes

Nº	**Procedimentos**	**Classe da regra**
1	A largura das saídas, isto é, dos acessos, escadas, descargas e portas é dada pela seguinte fórmula: $N = \frac{P}{C}$	2
2	As larguras mínimas das saídas de emergência para acessos, escadas, rampas ou descargas devem ser de 1,10 m, para as ocupações em geral.	2
3	Os acessos devem ter pé-direito mínimo de 2,5 m*	1
4	As distâncias máximas a serem percorridas para atingir as portas de acesso às saídas das edificações e o acesso às escadas ou às portas das escadas nos pavimentos constam da Tabela 2 (Anexo "B" da IT) e devem ser consideradas a partir da porta de acesso da unidade autônoma mais distante, desde que o seu caminhamento interno não ultrapasse 10 m.	3
5	A largura do vão livre ou "luz" das portas, comuns ou corta-fogo, utilizadas nas rotas de saída de emergências, deve ter as seguintes dimensões mínimas de luz: (a) 80 cm, valendo por 1 unidade de passagem; (b) 1 m, valendo por 2 unidades de passagem; (c) 1,5 m, em duas folhas, valendo por 3 unidades de passagem; (d) 2 m, em duas folhas, valendo por 4 unidades de passagem.	2
6	Os degraus devem ter: (a) altura h compreendida entre 16 cm e 18 cm, com tolerância de 0,5 cm; (b) largura b dimensionada pela fórmula de Blondel: 63 cm ≤ (2h + b) ≤ 64cm	2
7	Nas rampas e, opcionalmente nas escadas, os corrimãos devem ser instalados em duas alturas: 0,92 m e 0,70 m do piso acabado.	1

*Com exceção de obstáculos representados por vigas, vergas de portas e outros, cuja altura mínima livre deve ser de 2,10 m.

Fonte: As autoras

3.2 Verificação automática das regras nos modelos

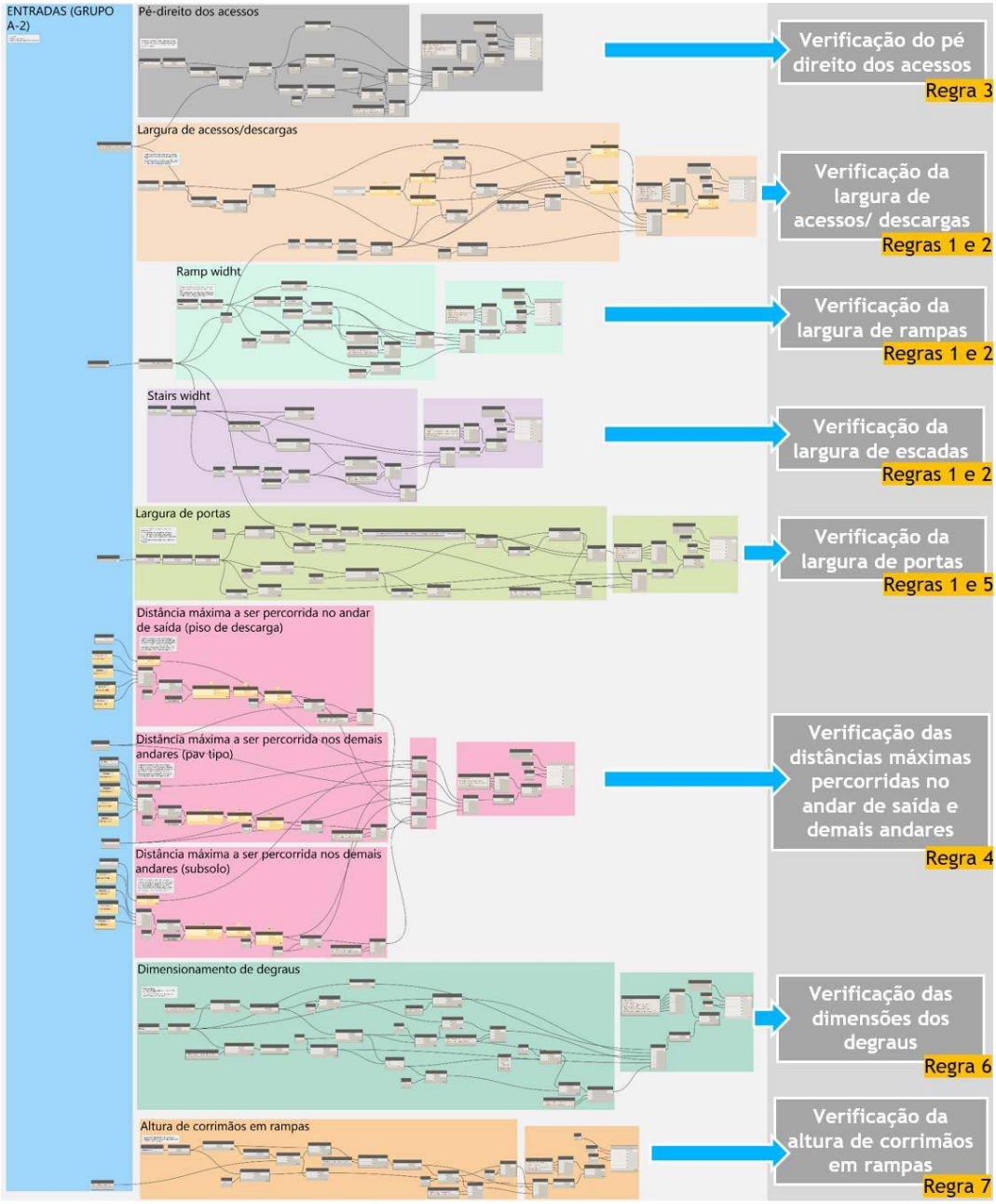
Para cada regra foi desenvolvida uma rotina no Dynamo, e estas foram estruturadas em três partes: (a) uma para o usuário informar os dados de entrada, (b) uma para a verificação da regra, e (c) uma parte para organizar os dados e exportá-los para Excel, elaborando assim o relatório de verificação. A Figura 2 apresenta uma visão geral de todas as rotinas desenvolvidas no Dynamo.

3.3 Avaliação dos resultados

A avaliação dos resultados foi realizada com base nos constructos utilidade (o

quanto a solução conseguiu ser eficaz na verificação das regras) e aplicabilidade (facilidade de criação e edição das rotinas e utilização das ferramentas). As fontes de evidência utilizadas foram entrevistas, observação participante e análise da Instrução Técnica. As entrevistas foram realizadas com a coordenadora de projetos da construtora, o engenheiro de segurança da mesma empresa e o coordenador de vistorias do CBMBA.

Figura 2 – Rotinas de programação visual desenvolvidas no Dynamo



Fonte: As autoras

4 RESULTADOS

4.1 Verificação das regras de saída de emergência

Inicialmente os códigos de programação visual foram desenvolvidos por meio de testes com o modelo do Projeto A. Por se tratar de um projeto já compatibilizado,

todas as sete regras foram atendidas nesse modelo. Para validar o funcionamento das rotinas, procedeu-se a verificação das regras no Projeto B, no qual foram encontrados problemas com a largura das escadas e dimensões dos degraus. Devido a isso o projeto ainda não havia sido submetido para aprovação legal.

Para a verificação da largura de escadas, por exemplo, a rotina necessita como entrada para o cálculo da população o número de dormitórios no pavimento. A partir dessa informação e do valor da constante C dado pela norma é calculado o valor de N, como especificado na Regra 1. Em seguida realiza-se a comparação com o valor de 1,1 m estabelecido pela Regra 2. Ao final dessa operação, que é realizada em segundos, o programa exibe uma janela em Excel com o resultado da verificação, como mostra o Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Resultado da verificação da largura das escadas nos Projeto A e B

Escadas	**Largura mínima do lance (m)**	**Largura mínima da norma (m)**	**Verificação**
Projeto A			
StairsType	1,1	1,1	Atende ao requisito
StairsType	1,1	1,1	Atende ao requisito
StairsType	1,1	1,1	Atende ao requisito
Projeto B			
StairsType	1	1,1	Não atende ao requisito

Fonte: As autoras

4.2 Recomendação de critérios para uso das rotinas

Parte das informações necessárias para executar as rotinas são entradas manuais que devem ser inseridas pelo usuário. Outras são informações que serão extraídas do modelo automaticamente, sendo necessário para isso que o usuário atente para alguns critérios de modelagem, como mostra o Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Informações necessárias e recomendações de modelagem

Rotina	**Informações de entrada**	**Recomendações de modelagem**
Pé direito dos acessos	Nome do ambiente que dá acesso à saída de emergência	Todos os ambientes de acesso devem possuir o mesmo nome; Ambientes devem ter o parâmetro "Altura não delimitada"
Largura de acessos/ descargas	Nome do ambiente que dá acesso à saída de emergência e número de dormitórios por pavimento	Todos os ambientes de acesso devem possuir o mesmo nome
Largura de rampas	Número de dormitórios por pavimento	Famílias de rampa devem conter o parâmetro "Largura"
Largura de escadas	Número de dormitórios por pavimento	Escadas devem conter o parâmetro "Largura mínima do lance"
Largura de portas	Número de dormitórios por pavimento e nome da família de portas	Todas as portas corta-fogo devem pertencer à mesma família e ter o parâmetro "Largura"
Distância máxima percorrida	Nome do nível do pavimento que se deseja fazer a verificação. É necessário também que o usuário marque os pontos da rota de fuga que uma pessoa iria percorrer no referido andar	-
Dimensionamento de degraus	-	Escadas devem ter os parâmetros "Altura real do espelho" e "Profundidade real do piso"

Rotina	Informações de entrada	Recomendações de modelagem
Altura de corrimãos em rampas	Nome da família de corrimão	Deve-se ter uma família específica para corrimãos instalados em rampas, com o parâmetro "Altura do guarda corpo"

Fonte: As autoras

4.3 Avaliação de resultados

O Quadro 5 apresenta as respostas dos entrevistados ao questionário aplicado. Os entrevistados avaliaram muito positivamente a ferramenta, de modo que a única ressalva levantada foi a necessidade de treinamento para a utilização do programa por usuários sem conhecimento de programação visual.

Quadro 5 - Percepção dos entrevistados sobre as ferramentas

Constructo	Questão	Nível de concordância dos entrevistados		
		CP	ES	CV
Utilidade	1- O uso da ferramenta pode tornar o processo de verificação de requisitos normativos em projetos mais rápido	5	5	5
Utilidade	2- O uso da ferramenta pode tornar a verificação de requisitos normativos em projetos mais confiável	5	4	4
Utilidade	3- Vejo potencial de uso da ferramenta para a verificação de outras normas técnicas em projetos	5	4	5
Aplicabilidade	4- Um usuário sem nenhum conhecimento de programação visual consegue realizar as verificações sem dificuldades	4	3	5
Aplicabilidade	5- O relatório das verificações gerado em Excel é claro e de fácil entendimento	5	4	5

Nota 1: Legenda para os códigos dos entrevistados: CP – Coordenadora de Projetos; ES – Engenheiro de Segurança; CV – Coordenador de Vistorias do CBMBA.
Nota 2: Escala Likert para o nível de concordância dos entrevistados com as afirmações: 1 – muito baixo; 2 – baixo; 3 – médio; 4- alto; 5 – muito alto.

Fonte: As autoras

Na percepção dos autores é importante que os regulamentos sejam escritos da maneira mais clara possível, evitando que a rotina seja programada através de uma interpretação equivocada da regra. As regras de classe 1 e 2 são as mais indicadas para serem verificadas por meio de programação visual, tanto pelo seu caráter prescritivo, que faz com que a criação de rotinas seja mais fácil, quanto pelo fato de estarem em maior quantidade na Instrução Técnica. Observou-se também que a estrutura da linguagem de programação visual não favorece a verificação de regras de classe 3, que lidam com a geometria espacial do modelo.

5 CONCLUSÕES

O objetivo do estudo foi avaliar o uso de BIM e programação visual aplicados à verificação automática de requisitos de projetos de saídas de emergência. O desenvolvimento das rotinas foi intuitivo, não sendo necessário conhecimentos avançados de programação, e as rotinas criadas podem ser reutilizadas em outros projetos. O Dynamo é uma plataforma de código aberto que funciona como um plug-in do Revit, e sua utilização para verificação automática de regras elimina o custo de compra de *softwares* dedicados a esta função, que muitas vezes só permitem a verificação das regras que os seus desenvolvedores programaram.

Mais estudos se fazem necessários para usar a linguagem de programação visual para verificação de regras mais complexas, como as de classes 3 e 4. No entanto, a solução proposta tem grande potencial para automatizar a verificação de requisitos prescritivos, possibilitando que o profissional tenha mais disponibilidade para fazer análises mais delicadas do projeto. Dessa forma, conclui-se que a ferramenta tem condições de complementar o processo de verificação de projetos, diminuindo o tempo empregado no mesmo e tornando-o menos manual e propício a erros, mas sem dispensar a aprovação final por um analista.

REFERÊNCIAS

BEACH, T. H.; REZGUI, Y.; LI, H.; KASIM, T. A rule-based semantic approach for automated regulatory compliance in the construction sector. **Expert Systems with Applications**, 42, n. 12, p. 5219-5231, 2015/07/15/ 2015.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DA BAHIA**. Instrução Técnica Nº 11**. Saídas de Emergência. CBMBA: Salvador, 2016.

DIMYADI, J.; SOLIHIN, W.; EASTMAN, C.; AMOR, R., 2016, Brisbane, Australia**. Integrating the BIM Rule Language into Compliance Design Audit Processes**

KIM, H.; LEE, J.; SHIN, J.; KIM, J. **Visual Language-based approach for the Definition of Building Permit related rules**. 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017). Taipei, Taiwan: 423-429 p. 2017.

MAINARDI NETO, A. I. B.; SANTOS, E. T. Verificação de Regras em Modelos BIM: Um estudo de caso sobre projeto de arquitetura de estações metroviárias. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

MARTINS, J. P.; RANGEL, B.; ABRANTES, V. **Automated rule-checking - a tool for design development**. 41st IAHS World Congress. Albufeira 2016.

MONTEIRO, A. Visual Programming Language for Creating BIM Models with Level of Development 400. In: 4th BIM INTERNATIONAL CONFERENCE, 2016, São Paulo & Lisboa. **Proceedings...** São Paulo: BIMMI, 2016.

NAWARI, N. O. A Generalized Adaptive Framework (GAF) for Automating Code Compliance Checking. **Buildings**, v. 9, n. 4, p. 86, 2019. ISSN 2075-5309. Disponível em: < https://www.mdpi.com/2075-5309/9/4/86 >.

PAUWELS, P.; ZHANG, S. Semantic Rule-checking for Regulation Compliance Checking: An Overview of Strategies and Approaches In: CIB W78 Conference, 2015, Eindhoven. p. 619-627.

PREIDEL, C.; BORRMANN, A. Towards code compliance checking on the basis of a visual programming language **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 21, p. 402-421, 2016.

SILVA, F.; ARANTES, E. Verificação automática de requisitos de projetos da norma de desempenho NBR15.575 a partir da adequação de regras da plataforma BIM Solibri Model Checker. 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO E 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO FORTALEZA, 2017.

SOLIHIN, W.; DIMYADI, J.; LEE, Y.-C., 2018**, In Search of Open and Practical Language-Driven BIM-based Automated Rule Checking Systems.**

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, v. 53, 2015.