Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA RASE PARA A VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA EM MODELO BIM A PARTIR DA ABNT NBR 6122:2019.

Analysis of the Application of the RASE Methodology for Automated Verification in a BIM Model from ABNT NBR 6122:219

Kathleen Tácila Santos
Universidade Federal de Sergipe | São Cristóvão, Sergipe | kathleentacila@gmail.com

Marco Antônio Brasiel Sampaio
Universidade Federal de Sergipe | São Cristóvão, Sergipe | marco.sampaio@ufs.br

RESUMO

O grande fluxo de informações gerado por meio da metodologia Building Information Modeling (BIM) na Indústria da Construção Civil suscita a necessidade do seu gerenciamento e aproveitamento para específicas aplicações. Uma destas é a verificação automatizada de normas, que visa analisar a conformidade do modelo com as exigências normativas. Neste sentido, o presente estudo objetiva mapear a norma de fundações, a ABNT NBR 6122:2019, a fim de analisar a utilização de uma abordagem semântica, a metodologia RASE, para a tradução das regras contidas na referida norma. Os parâmetros adotados para a inserção de dados no RASE basearam-se no esquema de dados IFC, parâmetros nativos do Revit – software da Autodesk – e em dois sistemas de classificação: Omniclass e ABNT NBR 15965. A aplicação da metodologia apresentada permitiu obter 292 recomendações diretamente da referida norma, das quais 286 são verificáveis e 61% apresentam baixo grau de complexidade de dados. Dadas as limitações encontradas para a aplicação de parâmetros na geotecnia, não foi possível abranger todas as exigências da norma. No entanto, considerando a aplicação e as limitações, a metodologia RASE pode ser considerada para a interpretação da norma, desde que observado o fornecimento dos parâmetros ainda não elencados para a verificação. Os resultados analisados podem auxiliar no amadurecimento de pesquisas que envolverem a verificação de normas aplicadas à geotecnia.

Palavras-chave: Code checking; BIM; Verificação automatizada; RASE; Fundações.

ABSTRACT

The large flow of information generated through the Building Information Modeling (BIM) methodology in the Civil Construction Industry raises the need for its management and use for specific applications. One of these is automated checking, which aims to analyze the model's compliance with regulatory requirements. Thus, the present study aims to map the foundation standard, ABNT NBR 6122:2019, in order to analyze the use of a semantic approach for the translation of the rules contained in that standard, the RASE methodology. The parameters adopted for inserting data in RASE were based on the IFC data schema, native parameters of Revit – Autodesk software – and on two classification systems: Omniclass and ABNT NBR 15965. The application of the presented methodology allowed obtaining 292 recommendations directly from the aforementioned standard, of which 286 are verifiable and 61% have a low degree of data complexity. Given the limitations found for the application of parameters in geotechnics, it was not possible to cover all requirements of the standard. However, considering the application and limitations, the RASE methodology can be considered for the interpretation of the standard, provided that the supply of parameters not yet listed for verification is observed. The analyzed results can help in the maturation of research involving the verification of standards applied to geotechnics.

Keywords: Code checking; BIM; Automated verification; RASE; Foundations.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem mostrado um rápido crescimento e evolução nos processos construtivos e, em especial, nas inovações da área de dados. Uma das formas mais eficazes de lidar com o alinhamento desses dados é trabalhá-los de forma padronizada e uniforme em todo o ciclo de vida do empreendimento, desde a concepção à demolição, numa integração por meio da metodologia *Building Information Modeling* (BIM). Um fator imprescindível para a compreensão do BIM é a definição do uso aplicado ao modelo. A *Penn State University* (PSU) elaborou um guia (MESSNER *et al*., 2019) que apresenta 25 usos específicos relacionados à indústria AEC, dividida em quatro grupos: planejamento, projeto, construção e operação. Dentre esses usos, ganha destaque a verificação normativa de forma automatizada, também

[1]SANTOS, K. T.; SAMPAIO, M. A. B. Análise da Aplicação da Metodologia RASE para a Verificação Automatizada em Modelo BIM a partir da ABNT NBR 6122:2019. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

conhecida como *code checking* ou *code validation*. Esse uso, segundo a classificação da PSU, está vinculado à etapa de projeto.

Iniciativas no âmbito acadêmico têm ganhado visibilidade quanto a esse uso. Foram publicados estudos de verificação vinculados a diversas normas, como a de acessibilidade (SANTOS; SAMPAIO, 2021), a de desempenho (SILVA; ARANTES, 2017), a de sistemas prediais hidráulico e sanitário (TAKAGAKI, 2016), a de estruturas de aço (CARRASCO, 2016) e a de especificação de aço para estrutura de concreto armado (MACIEL, 2018). Além das publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pode-se aplicar o uso às legislações locais, como códigos de obra e planos diretores. No Brasil foram desenvolvidas regras para o código normativo da estação de metrô de São Paulo (MAINARDI NETO, 2016), de projetos de biotérios (PEREIRA; AMORIM, 2014), de segurança contra incêndio (KATER; RUSCHEL, 2014) e de regras hospitalares (SOLIMAN JR. et al., 2018).

Há na literatura duas razões principais para a limitação dos estudos sobre a verificação automatizada de regras. A primeira é que as normas tendem a se apresentar de forma simplificada ou de difícil compreensão, especialmente por conta da grande subjetividade presente nessas. A segunda diz respeito à dificuldade de manter as características dos seus componentes à medida que as normas mudam, exigindo, assim, que o modelo seja capaz de englobar as mudanças das regras existentes e as que serão adicionadas (MACIT et al., 2013). A fim de compensar a ausência de metodologias simplificada e aplicável a agentes da construção que não detém conhecimento de programação, surge o RASE, um mark-up baseado em quatro operadores: *Requirement, Appicability, Selection e Exception*.

Esta metodologia é considerada como objeto de estudo do presente artigo, sendo aplicada à norma de fundações, a ABNT NBR 6122:2019, especialmente pela necessidade de compreender o processo da interpretação normativa com abordagem semântica no processo de verificação automatizada. Ressalta-se, ainda, que não foram identificados pelos autores estudos desta metodologia aplicada à norma brasileira geotécnica, tornando possível o desenvolvimento neste artigo e em análises futuras.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa descritiva, uma vez que analisa os dados obtidos e suas respectivas variáveis de estudo. Quanto à coleta de dados, considera-se de caráter bibliográfico, haja vista o uso de fontes secundárias, como teses e artigos de grande confiabilidade publicados na área de estudo. Além disso, pode ser enquadrada como estudo de caso, tendo em vista a aplicação direta do levantamento de informações e a sua análise.

O desenvolvimento deste trabalho perpassa três grandes etapas: levantamento de fundamentação teórica sobre *code checking* e a metodologia RASE; mapeamento da norma de fundações, a ABNT NBR 6122:2019, e sua aplicação no RASE; e, por fim, as discussões acerca da interpretação semântica.

2.1 Caracterização da norma de fundações

A versão vigente da ABNT NBR 6122 é de 2019 e apresenta estrutura comum às demais normas da área. Os quatro primeiros itens dispõem sobre objetivo, referências normativas, termos e definições do documento e os métodos e ensaios para a investigação do solo. Os três itens seguintes apresentam características analíticas, explorando ações nas fundações, casos especiais e segurança nas fundações, conduzindo às considerações de projeto. O sétimo item dispõe, de forma generalizada, sobre as fundações rasas a partir de recomendações para as considerações de projeto, em termos descritivos, e para o dimensionamento estrutural, de forma simplificada. De forma análoga, o item oito apresenta recomendações para as fundações profundas, que se estende pelas especificações de solicitações, especialmente para as estacas, e condições de dimensionamento para tubulões e estacas. O penúltimo item discorre sobre os requisitos para garantir o melhor desempenho das fundações, que se desmembra nas orientações específicas para sapatas e tubulões e estacas. O último item, enfim, apresenta as características da avaliação técnica do projeto, informando, inclusive, as responsabilidades técnicas.

Os anexos se estruturam de forma semelhante. O anexo A apresenta os procedimentos executivos da fundação rasa; os anexos B e C, de tubulões a céu aberto e a ar comprimido; dos anexos D a Q é possível encontrar os procedimentos executivos de todos os tipos de estacas usuais; e, por fim, o último anexo que tem caráter informativo, apresentando as simbologias utilizadas na norma.

2.2 Transcrição e classificação dos códigos normativos

Para fazer a transcrição da referida norma utilizou-se de separação por recomendações normativas, que consiste em separar os itens e subitens da norma de modo que possa ser aplicada a classificação dos códigos e, posteriormente, a metodologia RASE. A proposição é adaptada de Takagaki (2016), cuja filtragem se dava por temas, enquanto a desenvolvida no presente trabalho filtra as recomendações por item da própria norma. A estrutura da recomendação normativa pode ser entendida como o texto da regra, isto é, extraído diretamente do texto normativo e que será utilizado para a tradução, caso seja classificada como verificável. Um mesmo item normativo pode se subdividir em diversas recomendações.

Para cada uma foram feitas três classificações distintas, referentes à semântica da norma: quanto à natureza, aplicabilidade e complexidade. Quanto à natureza, a recomendação pode ser classificada em geométrica, referente a parâmetros dimensionais e derivados, ou analíticas, quando estiverem relacionados a parâmetros de análise. Embora não seja sugerido na literatura, esta classificação foi adotada pelos autores para facilitar as etapas seguintes. Quanto à aplicabilidade, sugerida por Li (2014), as regras podem ser: verificáveis, quando a verificação pode ser lida diretamente pelo computador; não proposições, quando não podem ser traduzidas na lógica de verdade ou falso; ambiguidades, quando são subjetivas e apresentam componentes relacionados; e outras, de caracterização mais complexas. E, por fim, quanto à complexidade, conforme Solihin e Eastman (2015), cujos níveis variam de 01 a 04. O primeiro nível checa informações de dados pequenos, simples ou explícitos. O segundo, informações extraídas de derivações simples que não geram novas estruturas. O terceiro, a partir de variáveis complexas que envolvem geometria, topologia e afins, e necessariamente geram novas estruturas de dados. E, por fim, o último nível que gera, por meio da plataforma, soluções à não conformidade encontrada.

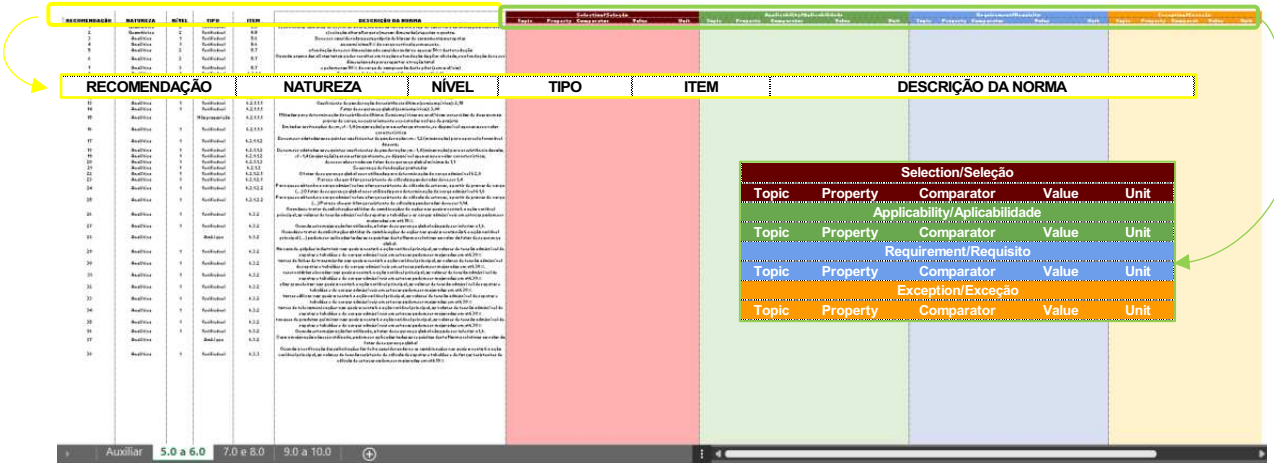
2.3 Abordagem semântica e tradução das regras

A metodologia RASE pode ser utilizada para a transcrição e tradução de normas como uma etapa antecessora à checagem automática, tornando possível a transformação de exigências normativas na linguagem natural em um conjunto de regras passível de operações computacionais. Por meio desta abordagem semântica, os itens normativos são caracterizados por meio de quatro operadores que permitem armazenar os requisitos do item, identificar no modelo os elementos aos quais o item se aplica e, por fim, executar a verificação do elemento do modelo.

O primeiro operador, *Requirement*, ou requisito, define a condição que deve ser satisfeita pelo modelo, normalmente associado a verbos no imperativo (NISBET; WIX; CONOVER, 2009). O operador *Applicability*, ou aplicabilidade, define onde essas condições devem ser aplicadas, como, por exemplo, a qual categoria é aplicado determinado elemento. O *Selection*, ou seleção, aplica à regra casos específicos (NISBET; WIX; CONOVER, 2009). Alguns autores sugerem que utilize este operador de forma mais abrangente (HJELSETH; NISBET, 2010). E, por fim, o *Exception*, ou exceção, indica as condições sob as quais aquela regra não deve ser aplicada.

Todas as informações foram agrupadas em uma planilha do Excel, aplicativo da Microsoft, separadas por itens nas abas da planilha. Em cada aba se encontram seis colunas referentes às recomendações e classificação, cujas colunas são: ID da recomendação, natureza, nível, tipo, item e descrição da norma. A seguir encontram-se mais quatro agrupamentos de colunas referentes aos operadores do RASE e, em cada grupo, cinco seções referentes à tradução para o JSON: *topic, property, comparator, value* e *unit*. Essa organização pode ser vista na Figura 1.

Figura 1: Organização dos dados para a transcrição, classificação e tradução dos códigos normativos



Fonte: Autores (2023)

Foram utilizados como fontes de dados o IFC *Schema*, parâmetros nativos do Revit (software de uso amplo) e a classificação proposta pela *Omniclass* e pela ABNT NBR 15.965, utilizando-se de pelo menos uma destas. A seguir, utilizou-se uma plataforma de código aberto para traduzir a norma em formato *JavaScript Object Notation* (JSON), que pode ser utilizado para a verificação em softwares como o Dynamo. A estrutura do JSON é equivalente às seções dispostas na planilha.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento dos itens normativos permitiu identificar os textos corridos e a interpretação das tabelas, que dispunham de informações importantes para a verificação dos elementos construtivos. Recomendações subjetivas e não verificáveis, referências a outras normas, definições de termos, avaliação técnica e indicações de execução não foram consideradas recomendações normativas, porque não se aplicam ao RASE. Dessa forma, foram analisados os itens 5.0 ao 9.0 da referida norma.

3.1 Classificação dos códigos normativos

Foram obtidas, ao total, 292 recomendações normativas. Destas, 286 foram consideradas verificáveis, isto é, passivas de verificação automatizada. Cerca de 128 foram classificadas como de natureza geométrica e 164, de natureza analítica. No entanto, ainda é necessário verificar o grau de complexidade dessas informações, uma vez que nem todas podem ter extração direta do modelo. Das 286 recomendações verificáveis, cerca de 61% apresentam baixo grau de complexidade, permitindo a extração direta do modelo. Um resumo dos resultados obtidos da classificação pode ser visualizado no Quadro 1. Para melhor compreensão destes, serão apresentadas considerações para cada nível.

Quadro 1: Resumo das classificações aplicadas às recomendações normativas

QUANTO À NATUREZA			
GEOMÉTRICA		ANALÍTICA	
128		164	
QUANTO À APLICABILIDADE			
VERIFICÁVEL	NÃO PROPOSIÇÃO	AMBÍGUA	OUTRA
286	2	4	0
QUANTO AO GRAU DE COMPLEXIDADE			
NÍVEL 01	NÍVEL 02	NÍVEL 03	NÍVEL 04
175	93	18	0

Fonte: Autores (2023)

As recomendações 01 e 02 (item 5.5) foram classificadas como nível 02 porque, embora exigissem um valor direto, essa informação não pode ser obtida diretamente do modelo, a menos que haja um parâmetro inserido pelo usuário. No primeiro caso, é necessário determinar a cota do térreo e a cota da laje da cobertura para, a partir de uma operação aritmética, determinar a altura da estrutura. Caso seja inserido um parâmetro que

identifique a altura, essa recomendação pode se tornar nível 1. A segunda recomendação pode se tornar nível 1 desde que, no momento da validação, a ferramenta utilizada efetue a operação, uma vez que os dois parâmetros exigidos podem ser obtidos diretamente. Neste caso, enquanto não houver um parâmetro que determine a relação entre as duas dimensões, é considerada de grau 2.

A recomendação 27 (item 6.3.2) discorre sobre o valor do fator de segurança global na condição de ter utilizado a majoração das cargas admissíveis devido à atuação do vento. Dessa forma, por ser um valor de entrada, pode ser extraído diretamente das propriedades do modelo. O caso do tubulão da recomendação 55 (item 8.2.3.6.1) pode ser considerado de nível 03. A priori é necessário identificar o tipo de fundação. Depois, verificar se há a base alargada, conforme a condição imposta pela norma. Havendo, a regra deve ser suficiente para que o programa identifique a forma da base, que deve apresentar-se como um tronco de cone ou superposto a um cilindro. E, além disso, deve-se verificar se a altura mínima do rodapé é de 20 cm. Esse processo envolve variáveis derivadas e complexas para a extração dos dados, que não podem ser obtidos diretamente do modelo ou por operações matemáticas simples.

3.2 Aplicação da metodologia RASE

Considerando as recomendações normativas obtidas da norma, a aplicação da metodologia RASE para o presente trabalho limitou-se apenas aos itens classificados como nível 01, cujos dados são extraídos de forma direta, de natureza geométrica e verificáveis. Para a determinação dos parâmetros exigidos foram considerados os parâmetros do Revit, o IFC e as classificações da *Omniclass* e da ABNT NBR 15965, discretizando todos ou, quando não houver informação, ao menos um destes. Para fins de compreensão, será explicitada uma consideração análise feita para uma recomendação extraída da Tabela 6, da ABNT NBR 6122:2019, incluindo a aplicação específica da metodologia.

A recomendação 54 (item 8.2.3.6.1) exige que a altura da base do tubulão seja de, no máximo, 3,0 m. A respeito do IFC há uma limitação por conta do *IfcCaissonFoundation*, que contempla tubulão aberto e fechado, sendo um subtópico do *IfcDeepFoundation*. A documentação técnica fornecida pela *BuildingSMART* é pouca detalhada e, nesse sentido, sugere-se que seja analisado a posteriori, uma vez que é necessário identificar a base para aplicar o operador de requisito. Ou, em uma instância mais profunda, especificar os parâmetros para o tubulão no *Model View Definition* (MVD).

A recomendação 260 (item 9.2.2.1) é fonte da interpretação da Tabela 6 (ABNT, 2019), que exige a prova de carga a partir de determinado número de estacas da obra. No Quadro 2 há uma aplicação do RASE desta recomendação, em que contempla a identificação de todas as fundações da construção do tipo pré-moldada, com exceção das lajes de fundação e parede de fundação.

Quadro 2: Aplicação da metodologia RASE para a recomendação 260 (item 9.2.2.1 da ABNT NBR 6122:2019) – Parte I

TEXTO DA REGRA	TÓPICO	PROPRIEDADE	COMPARADOR	VALOR	UNIDADE
	Selection				
Tipo de estaca: Pré-moldada. Número total de estacas da obra a partir do qual serão obrigatórias provas de carga: 100.	Building Building Building	Category Entity Omniclass number	Equal	Foundation IfcPile 22.31.62.00	Null
	Applicability				
	Building Entity Type Building	Subcategory IfcPileType Omniclass number	Equal	Isolated PreCast 22.31.62.13.19	Null
	Requirement				
	Parameter	Count	GreaterEqual	100	Null
	Exception				
	Null	Null	Null	Null	Null

Fonte: Autores (2023)

Considerando a exigência da norma em observar as estacas submetidas à prova de carga, é necessário antes que estas sejam identificadas. A tabela 22 da Omniclass identifica-as por meio do número 22.31.08.13. Os demais meios de identificação trabalhados nesse estudo não as categorizam. Assim, a partir da identificação do total de estacas, faz-se a identificação citada, conforme o Quadro 3.

Quadro 3: Aplicação da metodologia RASE para a recomendação 260 (item 9.2.2.1 da ABNT NBR 6122:2019) – Parte II

TEXTO DA REGRA	TÓPICO	PROPRIEDADE	COMPARADOR	VALOR	UNIDADE
	Selection				
Tipo de estaca: Pré-moldada. Número total de estacas da obra a partir do qual serão obrigatórias provas de carga: 100.	Building Building Building	Category Entity Omniclass number	Equal	Foundation IfcPile 22.31.62.00	Null
	Applicability				
	Building Entity Type Building	Subcategory IfcPileType Omniclass number	Equal	Isolated PreCast 22.31.62.13.19	Null
	Requirement				
	Parameter	Count	GreaterEqual	100	Null
	Exception				
	Null	Null	Null	Null	Null

Fonte: Autores (2023)

3.3 Tradução em JSON

Considerando os itens que foram classificados e passíveis de aplicação no RASE sem limitação, tem-se a possibilidade de fazer a tradução em formato JSON, de modo que possa servir como dado de entrada na metodologia de validação da verificação escolhida. Um exemplo de sua tradução pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Tradução da norma por meio do RASE em formato JSON

```
        {
        "id": 1,
            "text": "Dimensões da Sapata {7.7.1}",
            "selection": {
                "topic": "Element",
                "property": "Category",
                "comparator": "equal",
                "value": ["Foundation"],
                "unit": null
            },
            "applicability": {
                "topic": "Element",
                "property": "Sub-Category",
                "comparator": "equal",
                "value": ["Isolated"],
                "unit": null
            },
            "requirement": {
                "topic": "Parameter",
                "property": "Width",
                "comparator": "greaterEqual",
                "value": [0.6],
                "unit": "m"
            },
            "exception": null
        },
```

Fonte: Autores (2023)

Essa estrutura repete-se para todos os IDs considerados a partir das recomendações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interpretação de regras é parte indispensável na verificação de normas, especialmente quando se trata de métodos computacionais automatizados. Por ser uma das etapas primárias, merece devida importância para que não se encontre, posteriormente, erros e divergências nas verificações. É importante observar que a metodologia RASE apresenta grande potencial de uso, uma vez que permite que agentes da construção civil possam realizar verificações automatizadas de forma mais independente, sem a integração de softwares específicos, dada a utilização de abordagem semântica. Para tanto, ressalta-se a necessidade da utilização de alguma ferramenta que permita ao usuário realizar as marcações com base nos operadores.

O mapeamento da norma ABNT NBR 6122:2019 apresentou limitações para este uso em BIM. A sua estrutura apresenta mais recomendações de execução do que requisitos de dimensionamento e projetos, especialmente para a modelagem. Essa é uma característica importante, uma vez que torna a interpretação de regras ainda mais limitada. Além disso, pode-se observar a ausência de exigências de dimensionamento, encontradas apenas na literatura e adotadas por meio das boas práticas. Assim, para que se obtenha o maior êxito na abordagem semântica de interpretação das regras, é de fundamental importância que os códigos normativos presentes na norma estejam claros e objetivos, especialmente se a exigência for de natureza geométrica. Outra limitação observada quanto à aplicação da metodologia RASE se deu pela falta de parâmetros consolidados associados ao BIM e à geotecnia. Embora o IFC tenha se mostrado uma excelente ferramenta para atender a essa demanda, ainda é pouco discutido e desenvolvido na área geotécnica.

Quanto aos sistemas de classificação, a norma BIM está sendo lançada em partes e há pouco tempo, o que permite um anseio por revisões e acréscimo de elementos não contemplados. E, a respeito do sistema Omniclass, sugere-se que este seja utilizado como sistema principal, uma vez que é conhecido a nível internacional e pode apresentar, nos diversos softwares, um parâmetro nos modelos nativos. No entanto, também não apresenta completude de informações, por isso sugere-se que seja associado outro sistema, como a norma BIM adotada no presente trabalho, e outros parâmetros, conforme for possível.

O Revit, aplicado à geotecnia, também apresenta suas limitações de parâmetros. Para resolver esse e as situações discutidas anteriormente, sugere-se a adoção de especificações por meio de MVDs. Ainda, se a aplicação normativa for local, pode-se desenvolver um manual de boas práticas, constando os parâmetros e orientações para contemplar as necessidades da verificação.

Fica evidente, portanto, que a abordagem semântica necessita de uma boa relação entre o código normativo e os parâmetros que dão suporte aos operadores da metodologia RASE. Apesar das limitações, a metodologia RASE pode ser aplicada à norma de fundações. O que caberá aos responsáveis pela verificação é analisar se há relação de benefício em sua aplicação, dado o fornecimento de parâmetros e dados à época em que o fizerem. Assim, sugere-se que os trabalhos futuros atuem no mapeamento de parâmetros fundamentais da norma para a elaboração de um MVD que se aplique de forma generalizada. Pode-se, ainda, fazer a validação da verificação normativa, com base na interpretação das regras pelo RASE, por meio de projetos reais modelados em BIM.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965**: Sistema de classificação da informação da construção - Parte 1: Terminologia e estrutura. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. Em Questão, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/EmQuestao/article/view/16/5. Acesso em: 24 ago. 2021.

CARRASCO, H. S. B. **Um plug-in para verificação de estruturas metálicas pela norma NBR 8800:2008 em um ambiente BIM**. 2016. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, Brasil, 2016. DOI: 10.17771/PUCRio.acad.33702.

HJELSETH, E.; NISBET, N. Exploring Semantic Based Model Checking. In: 27th CIB W78 International Conference, 2010, Cairo. Proceedings... Cairo, Egypt, 2010.

KATER, M.; RUSCHEL, R. Avaliando a aplicabilidade de BIM para a verificação da norma de segurança contra incêndio em projeto de habitação multifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO2014, **Anais [...]**. [S. l.: s. n.] p. 2821–2831. DOI: /10.17012/entac2014.5.

LI, Y. **Automated Code-checking of BIM models**. Dissertação de Mestrado - Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto, 2014.

MACIEL, A. R. **Automação do processo de corte e dobra de armaduras para estruturas de concreto integrada ao processo BIM**. 2018. Mestrado em Inovação na Construção Civil - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

MACIT, S.; ILAL, M.; GÜNAYDIN, H.; SUTER, G. İzmir municipality housing and zoning code analysis and representation for compliance checking. In: 20TH WORKSHOP OF THE EUROPEAN GROUP FOR INTELLIGENT COMPUTING IN ENGINEERING, Vienna, Austria. **Anais [...]**. Vienna, Austria: 2013.

MAINARDI NETO, A. I. de B. **Verificação de regras para aprovação de projetos de arquitetura em BIM para estações de metrô**. 2016. Mestrado em Inovação na Construção Civil - Universidade de São Paulo, São Paulo.

NISBET, N.; WIX, J.; CONOVER, D. The Future of Virtual Construction and Regulation Checking. In: BRANDON, P.; KOCATÜRK, T. (org.). **Virtual Futures for Design, Construction & Procurement**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd., 2009. p. 241–250.

PEREIRA, S. M. S. de A.; AMORIM, S. R. L. O desenvolvimento de ferramenta de verificação de requisitos de projeto para o Revit® através de API. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2014, **Anais [...]**. p. 2954–2963.

SANTOS, K. T.; SAMPAIO, M. A. B. Aplicação da metodologia RASE na norma de acessibilidade associada ao BIM. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, Maceió, Brasil. **Anais [...]**. Maceió, Brasil: 2021. p. 1–8.

SILVA, F. A.; ARANTES, E. Verificação automática de requisitos de projetos da norma de desempenho nbr 15.575 a partir da adequação de regras da plataforma BIM Solibri Model Checker. **1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção - SBTIC & 10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, p. 380–389, 2017.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, v. 53, p. 69–82, 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.003

SOLIMAN JR.; FONSECA, V. F.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPOULOS, P. Verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares com o uso de BIM. In: **XVII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. ANTAC. Porto Alegre: 2018.

TAKAGAKI, C. Y. K. **Regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas prediais hidráulicos e sanitários**. 2016. Mestrado em Inovação na Construção Civil - Universidade de São Paulo, São Paulo.