XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Avaliação de facilidade de uso e eficiência de API para quantificação de resíduos a partir de modelo BIM

Ease of use and efficiency assessment of API for waste quantification from the BIM model

Maria Luiza Angelo Silveira Santos
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | maria.angelo@ufba.br
Reymard Savio Sampaio de Melo
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | reymard.savio@ufba.br
Renata Degraf Miara
Hype Empreendimentos | Curitiba | Brasil | renatadmiara@gmail.com
Elaine Pinto Varela Alberte
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | elaine.varela@ufba.br

Resumo

Este artigo avalia a facilidade de uso e eficiência de uma interface de programação de aplicativo (API) chamada WasteBIM e identifica pontos de melhoria. A avaliação ocorreu a partir de seis etapas metodológicas: identificações de atuais limitações, modelagem BIM de residência unifamiliar no sistema de paredes de concreto moldadas in loco (PCML), revisão de quantidades de resíduos geradas em estudo anterior, quantificação de resíduos a partir de modelo BIM no sistema PCML, análise comparativa e avaliação. Os resultados sugerem a atualização dos índices de perdas adotados para todos os materiais para garantir uma maior eficiência dos resultados obtidos pela API.

Palavras-chave: Resíduos. Interface de Programação de Aplicativos. Autodesk Revit®. Plug-in.

Abstract

This paper assesses the ease of use and efficiency of an application programming interface (API) called WasteBIM and identifies areas for improvement. The evaluation took place from six methodological steps: identification of current limitations, BIM modelling of a single-family residence in the system of cast-in-place concrete walls (CPCW), review of quantities of waste generated in a previous study, waste quantification from a BIM model in the CPCW system, comparative analysis and evaluation. The results suggest updating the waste rates adopted for all materials to ensure greater efficiency in the results obtained by the API.

Keywords: Waste. Application Programming Interface. Autodesk Revit®. Plug-in.

SANTOS, M. L. A. S.; MELO, R. S. S. de; MIARA, R. D.; ALBERTE, E. P. V. Avaliação de facilidade de uso e eficiência de API para quantificação de resíduos a partir de modelo BIM. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1978

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil brasileira gera um grande volume de resíduos de construção e demolição (RCD). A geração destes resíduos está relacionada a um elevado índice de perdas, que de acordo com [1], varia entre 20% e 30% da massa total de materiais para a construção residencial em edifícios. Somente em Salvador, estima-se que mais de 45% dos resíduos sólidos urbanos produzidos têm origem nas atividades de construção civil [2]. Além dos impactos ambientais causados pela deposição inadequada do RCD, as perdas representam desperdício de material e, portanto, prejuízo financeiro. Diante deste cenário, é importante buscar sistemas construtivos mais industrializados e racionalizados, com menor impacto ambiental no que diz respeito à produção de resíduos.

Os recursos tecnológicos podem ser grandes aliados na escolha do sistema construtivo mais adequado a ser adotado. [3] afirmam que quando acrescentadas ao modelo de gestão das obras, as novas tecnologias amparam a substituição dos métodos convencionais manuais. As ferramentas de Modelagem de Informação da Construção (BIM) contribuem para o aumento da qualidade das construções e auxiliam na escolha dos materiais e sistemas construtivos com menos impactos ambientais [4]. Nesse sentido, também têm grande importância as Interfaces de Programação de Aplicações (APIs), cuja função é possibilitar a comunicação entre diferentes plataformas. A integração de APIs ao BIM concede diversas possibilidades, dentre elas a extração de quantitativos de um modelo BIM qualquer para tratamento desses dados visando várias aplicações, como composições de custos e estimativas de quantitativos de resíduos gerados.

Neste contexto, [5] destacam o potencial da API denominado *WasteBIM*. O *WasteBIM* permite a quantificação de resíduos sólidos de edificações de forma automática, além de auxiliar na documentação de novas obras, facilitando a emissão de relatórios necessários aos processos de órgãos ambientais [6]. A API *WasteBIM* coleta dados quantitativos de um modelo BIM desenvolvido no *Autodesk Revit®*, *software* de autoria BIM, e os leva para uma planilha eletrônica em que o usuário pode planejar o cronograma da obra e inserir dados do projeto e da obra, além de emitir relatórios. Dentro da planilha são feitos cálculos em cima dos quantitativos extraídos para estimar a quantidade de resíduos gerada, separando-os por classe conforme [7], prevendo o volume de resíduos gerados por etapa da obra e calculando o número de caçambas necessárias para realizar a retirada destes resíduos.

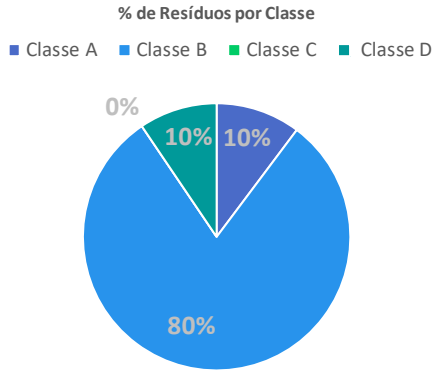
A API emite para o usuário três tipos de relatórios, sendo estes o Relatório Geral, o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) e o Relatório Real x Planejado. O Relatório Geral (figura 1) apresenta gráficos e dados relevantes de forma simplificada para auxiliar o construtor no gerenciamento da obra [6]. Já o Relatório Real x Planejado (figura 2) exibe para o usuário uma comparação entre o volume estimado e o volume real de resíduos gerados pela edificação, separando-os por material. Por fim, o PGRCC (figura 3) imprime informações legais e pode ser usado no requerimento de licenças ambientais para a obra em órgãos públicos, sendo útil na

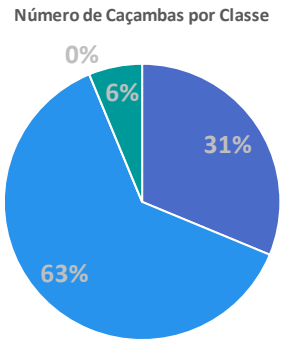
otimização do projeto de forma a reduzir a emissão de resíduos gerados, ou planejar um melhor destino para eles.

Figura 1: Exemplo de Relatório Geral

PROJETO SIMPLIFICADO DE GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

CLASSE	TIPO	TOTAL (m³)	%
A	Solo (terra) volume solto	0,00	0%
	Componentes cerâmicos	1,97	4%
	Pré moldados em concreto	2,14	4%
	Argamassa	0,85	2%
	Material asfáltico	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe A:	**4,96**	**10%**
	Nº DE CAÇAMBAS:	5,00	10%
B	Plásticos	0,22	0%
	Papel/Papelão	0,00	0%
	Metais	0,04	0%
	Vidros	0,00	0%
	Madeiras	38,66	80%
	Gesso	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe B:	**38,91**	**80%**
	Nº DE CAÇAMBAS:	10,00	21%
C	Massa asfáltica	0,00	0%
	Massa de vidro	0,00	0%
	Tubos de poliuretano	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe C:	**0,00**	**0%**
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
D	Tintas	4,58	9%
	Solventes	0,00	0%
	Óleos	0,00	0%
	Materiais com amianto	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe D:	**4,58**	**9%**
	Nº DE CAÇAMBAS:	1,00	2%
TOTAL (A+B+C+D):		48,45	
Nº TOTAL DE CAÇAMBAS:		16,00	





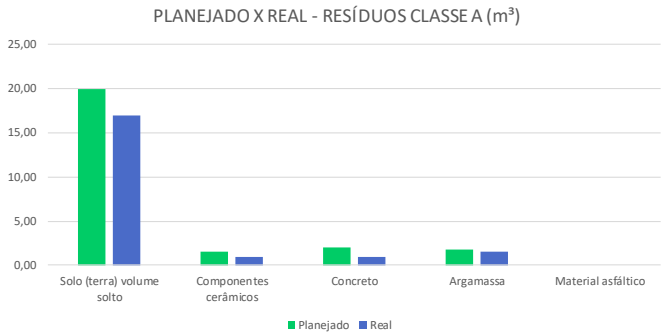
Fonte: os autores.

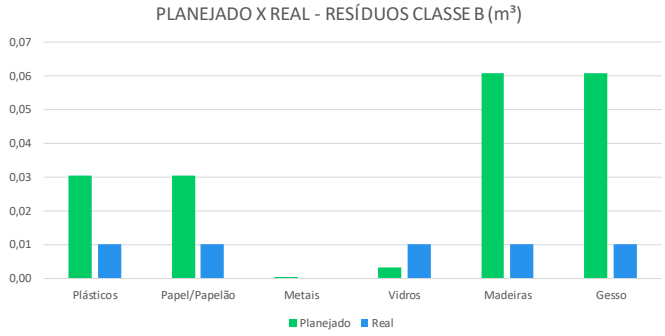
Figura 2: Exemplo de Relatório Real X Planejado

PROJETO SIMPLIFICADO DE GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

3. CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

CARACTERIZAÇÃO		QUANTIDADE (m³)	
CLASSE	TIPO	SUBTOTAL	
		PLANEJADO	REAL
A	Solo (terra) volume solto	20,00	17,00
	Componentes cerâmicos	1,56	1,00
	Concreto	2,00	1,00
	Argamassa	1,73	1,50
	Material asfáltico		
	Outros (especificar)		
	TOTAL Classe A:	25,29	20,50
B	Plásticos	0,03	0,01
	Papel/Papelão	0,03	0,01
	Metais	0,00	0,00
	Vidros	0,00	0,01
	Madeiras	0,06	0,01
	Gesso	0,06	0,01
	Outros (especificar)		
	TOTAL Classe B:	0,19	0,05
C	Massa asfáltica		
	Massa de vidro		
	Tubos de poliuretano		
	Outros (especificar)		
	TOTAL Classe C:	0,00	0,00
D	Tintas		
	Solventes		
	Óleos		
	Materiais com amianto		
	Outros (especificar)		
	TOTAL Classe D:	0,00	0,00
TOTAL (A+B+C+D):		**25,48**	**20,55**





Fonte: Os autores.

Figura 3: Exemplo de Relatório PGRCC

3. CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

CARACTERIZAÇÃO		QUANTIDADE (m³)		
CLASSE	TIPO	ETAPA DA OBRA		SUBTOTAL
		DEMOLIÇÃO	CONSTRUÇÃO	
A	Solo (terra) volume solto		20,00	20,00
	Componentes cerâmicos	0,12	1,97	2,10
	Concreto	1,22	2,14	3,35
	Argamassa	1,52	0,85	2,37
	Material asfáltico			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe A:	2,86	24,96	27,82
B	Plásticos	0,03	0,22	0,25
	Papel/Papelão	0,03		0,03
	Metais	0,00	0,04	0,04
	Vidros	0,00	0,00	0,00
	Madeiras	0,06	38,66	38,72
	Gesso	0,06	0,00	0,06
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe B:	0,19	38,91	39,10
C	Massa asfáltica			
	Massa de vidro			
	Tubos de poliuretano			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe C:	0,00	0,00	0,00
D	Tintas		4,58	4,58
	Solventes			
	Óleos			
	Materiais com amianto			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe D:	0,00	4,58	4,58
TOTAL (A+B+C+D):				71,50

QUADRO RESUMO DA CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

RESÍDUO	QUANTIDADE ESTIMADA (m³)
CLASSE A (solos)	20,00
CLASSE A (exceto solos)	7,82
CLASSE B	39,10
CLASSE C	0,00
CLASSE D	4,58
TOTAL	71,50

Os RCD deverão ser previamente segregados na obra de acordo com a classe.
Fonte: Os autores.

Embora o *WasteBIM* tenha sido validado para quantificar os resíduos gerados em edificações de três sistemas construtivos diferentes: alvenaria convencional (AC), *wood-frame* (WF) e *light-steel frame* (LSF), sua aplicabilidade na quantificação de modelos BIM de edificações do sistema de paredes de concreto moldadas no local (PCML) ainda não foi explorada.

O sistema construtivo de PCML possui a estrutura e as vedações compostas por elementos autoportantes de concreto armado moldados no local [8]. As instalações elétricas e hidráulicas que ficarão embutidas, assim como fôrmas e os reforços e detalhes da fachada, devem ser fixadas antes da concretagem. O produto obtido é um elemento monolítico de concreto armado capaz de distribuir os esforços sobre toda a área de solicitação. Uma das principais vantagens deste sistema construtivo está no uso de fôrmas moduladas para a concretagem dos elementos, pois a adoção desse

material acelera a velocidade de execução e impacta na redução de custos e prazos, otimização do acabamento e qualificação de mão-de-obra [9].

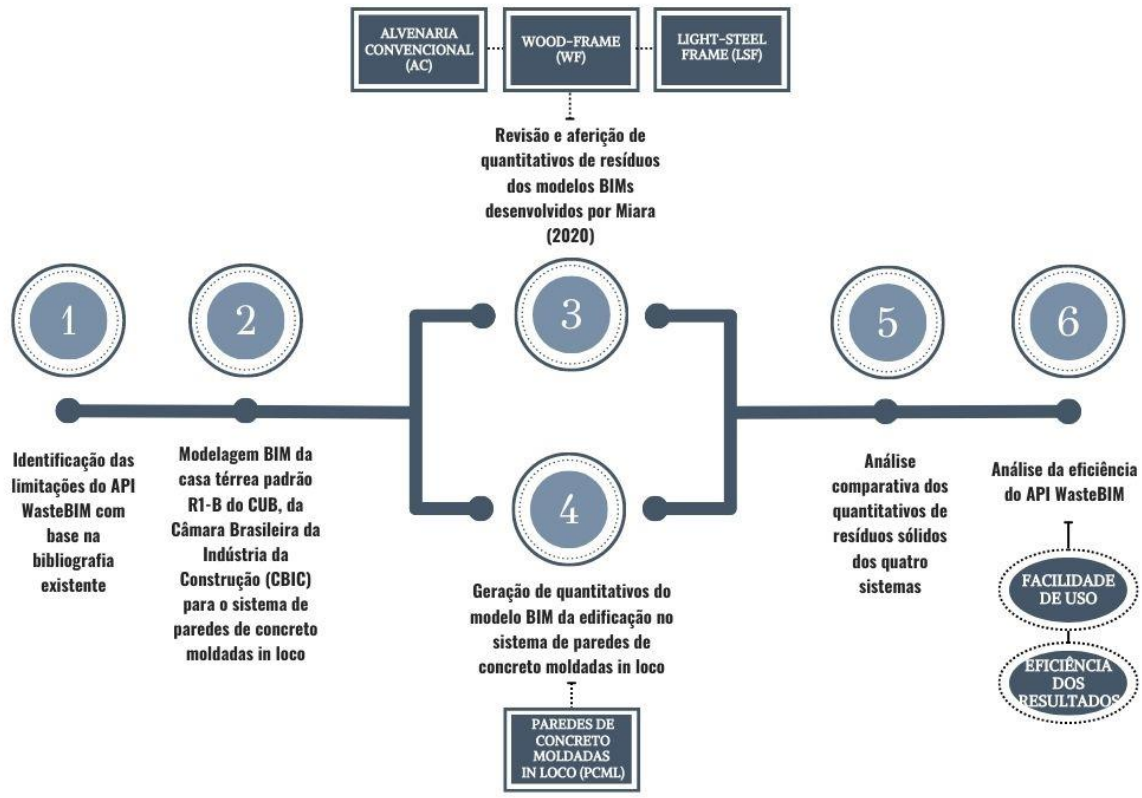
Este sistema construtivo começou a ser massivamente empregado no Brasil em meados de 2013, com a criação de programas habitacionais que exigiam construções seguras, de execução rápida e econômica [9]. Tratando-se de um sistema racionalizado, observa-se uma execução mais dinâmica do cronograma de obra, com melhorias na gestão e na redução de desperdícios e volume de resíduos na obra.

Diante deste contexto, o objetivo deste artigo é avaliar a facilidade de uso e eficiência do *WasteBIM* e identificar pontos de melhoria.

MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa empregado foi a simulação. Conforme [10], entende-se por simulação "a construção e a manipulação de um modelo operatório representando todo, ou parte de um sistema ou processos que o caracterizam". A Figura 4 ilustra o procedimento metodológico.

Figura 4: Procedimento metodológico



Fonte: Os autores.

A primeira etapa envolveu a identificação das principais limitações do *WasteBIM* citadas por [6] e seleção de uma delas para desenvolver o estudo. As principais limitações apontadas por [6] são: aplicabilidade limitada a três sistemas construtivos

e o uso de índices de geração de resíduos de materiais desatualizados. Optou-se por avaliar a aplicabilidade do *WasteBIM* em um sistema construtivo ainda não validado no estudo de [6].

A segunda etapa foi a modelagem BIM de projeto-padrão R1-B (Residência Unifamiliar Padrão Baixo) no sistema PCML. De forma a possibilitar uma análise comparativa da quantidade de resíduos gerados na construção desta edificação entre os três sistemas construtivos já validados no *WasteBIM*.

As etapas 3 e 4 foram conduzidas em paralelo. As quantidades de resíduos geradas pelos três modelos BIMs desenvolvidos por [6] foram revisados e aferidos (etapa 3), e em paralelo houve a emissão dos relatórios com os quantitativos de resíduos do modelo BIM de paredes de PCML pelo *WasteBIM* (etapa 4). Nesta etapa da pesquisa, foram necessários ajustes na API com o propósito de torná-lo aplicável na quantificação de resíduos de modelos BIM no sistema de PCML, além de corrigir alguns cálculos específicos na planilha eletrônica.

A etapa 5 foi a análise comparativa das quantidades de resíduos sólidos dos quatro sistemas construtivos. Os parâmetros principais de comparação dos resultados da API são o volume total de resíduos gerados por cada sistema e as parcelas dos volumes de resíduos produzidos por cada material.

Por fim, na etapa 6 o *WasteBIM* foi avaliado a partir de dois constructos: Facilidade de uso e Eficiência dos resultados. O constructo facilidade de uso do sistema está relacionado não apenas com o esforço cognitivo para interagir com o sistema, mas também com o número de erros cometidos durante esta interação. O constructo eficiência dos resultados serve para analisar se os resultados produzidos pela API são precisos o suficiente e úteis para o usuário.

RESULTADOS

FACILIDADE DE USO

O *WasteBIM* realiza a maioria das funções necessárias de forma automatizada, facilitando a expedição dos relatórios para usuários que não dominam ferramentas como o Dynamo. Além disso, a API pode ser personalizado para atender outros sistemas construtivos, bastando conhecer as características do sistema que será implementado para buscar soluções e consequentemente evitar equívocos na geração dos relatórios.

PROCESSO DE Instalação do Waste BIM

O *WasteBIM* é formado pelos arquivos apresentados na figura 5. Para o seu funcionamento, estes arquivos e o modelo BIM do qual serão extraídas as informações devem ser armazenados no mesmo diretório. Ademais, três *softwares* precisam estar instalados no computador: *Autodesk Revit®* (versão 2019), *Dynamo* e *Dyno Browser* (versão 0.8.0).

[6] descreve o *Dynamo* como uma ferramenta de programação visual e de código aberto. Para o funcionamento correto do *WasteBIM*, é necessário instalar dentro do *Dynamo* quatro bibliotecas dentro do *software*: *BimorphNodes, Clockwork, Data-Shapes* e *Prorubim*.

O *Dyno Browser*, por sua vez, é definido por [11] como um *plug-in* para *Autodesk Revit®* encarregado de organizar, gerenciar e executar rotinas do *Dynamo* sem precisar abri-lo, facilitando o acesso ao vincular séries de rotinas a botões na interface do *Autodesk Revit®*. De acordo com [11], o *Dyno Browser* "atua também na otimização do processamento e correção de erros de programação do *Dynamo*".

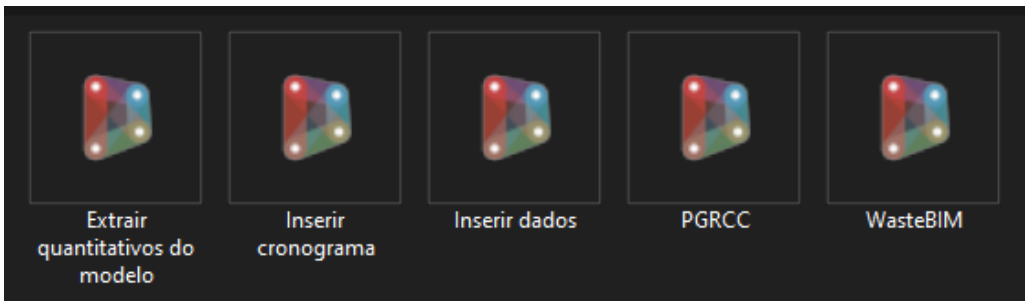
Figura 5: Arquivos do *WasteBIM*



Fonte: Os autores.

A versão 0.8.0 do *Dyno Browser* não é encontrada com facilidade e versões mais recentes não são compatíveis com o *WasteBIM*. Durante a instalação da API, devido à incompatibilidade da versão 2.12.0.5650 do *Dynamo* com os demais *softwares*, os arquivos mostrados na figura 6 precisaram ser reescritos respeitando as alterações sofridas pela linguagem com as atualizações. Conclui-se então que o processo de instalação do *WasteBIM* não se mostrou muito simples.

Figura 6: Arquivos da API *WasteBIM* reescritos no *Dynamo*



Fonte: Os autores.

ALTERAÇÕES FEITAS NA CÓPIA DO MODELO DE ALVENARIA CONVENCIONAL

Para testar a API no sistema construtivo de PCML, uma cópia do modelo BIM de AC foi adaptada para o sistema de PCML. Com isso, alguns elementos da edificação foram mantidos e outros alterados, de acordo com o Quadro 1.

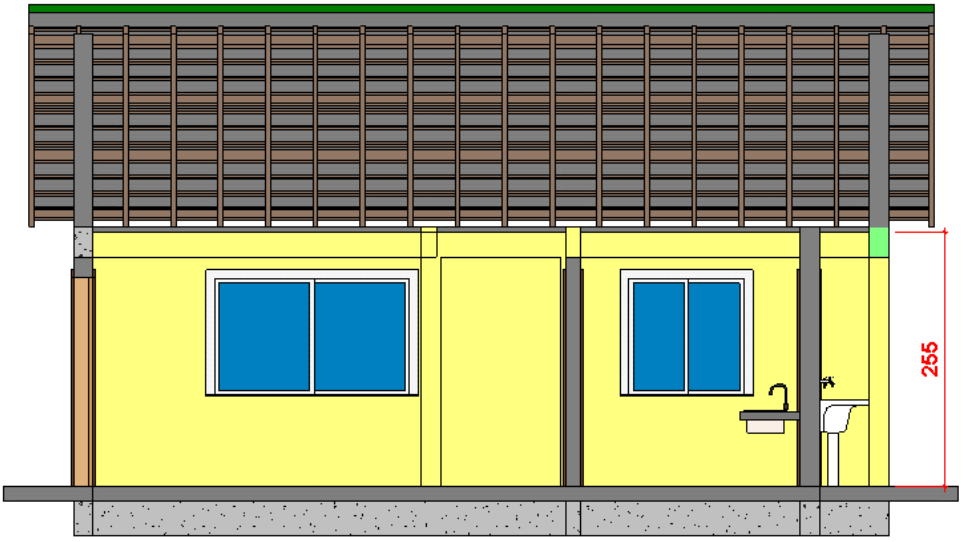
Quadro 1: Elementos presentes nos modelos BIM de alvenaria e concreto moldado in loco

Elemento	Sistema de alvenaria	Sistema de PCML
Fundação do tipo radier	X	X
Telhado com telhas de fibrocimento	X	X
Instalações elétricas	--	--
Instalações hidráulicas	--	--
Vigas de perfil retangular 20x30	X	--
Pilares de seção quadrada 20x20	X	--
Paredes de alvenaria	X	--
Forro de PVC	X	--
Paredes de concreto armado	--	X
Laje com espessura de 15cm	--	X

Fonte: Os autores.

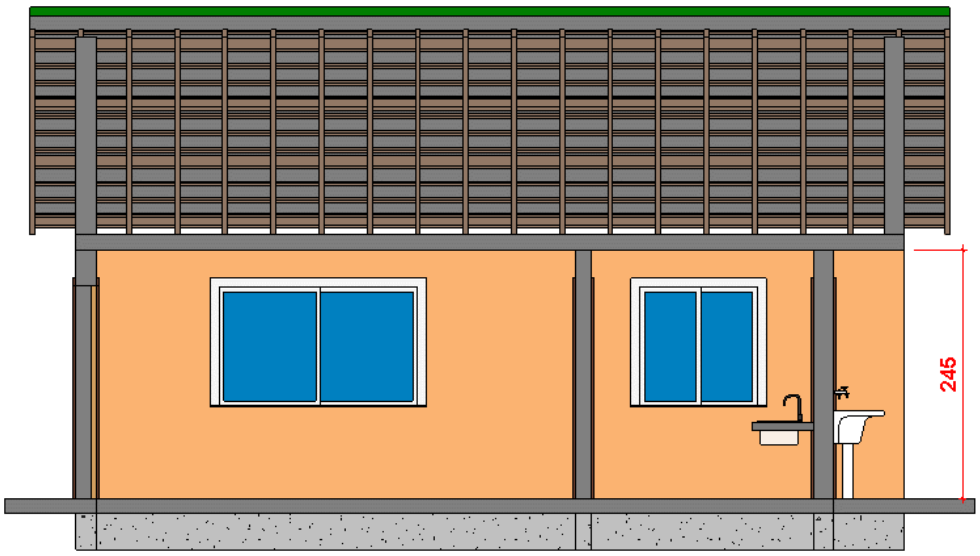
As espessuras das paredes internas e externas foram mantidas, mas com a remoção das vigas e do forro de PVC e o acréscimo da laje, o pé-direito da habitação que antes era de 2,55m passa a ser igual a 2,45cm conforme ilustram as figuras 7 e 8.

Figura 7: Pé-direito da edificação de alvenaria convencional



Fonte: Os autores.

Figura 8: Pé-direito da edificação de paredes de concreto moldadas in loco

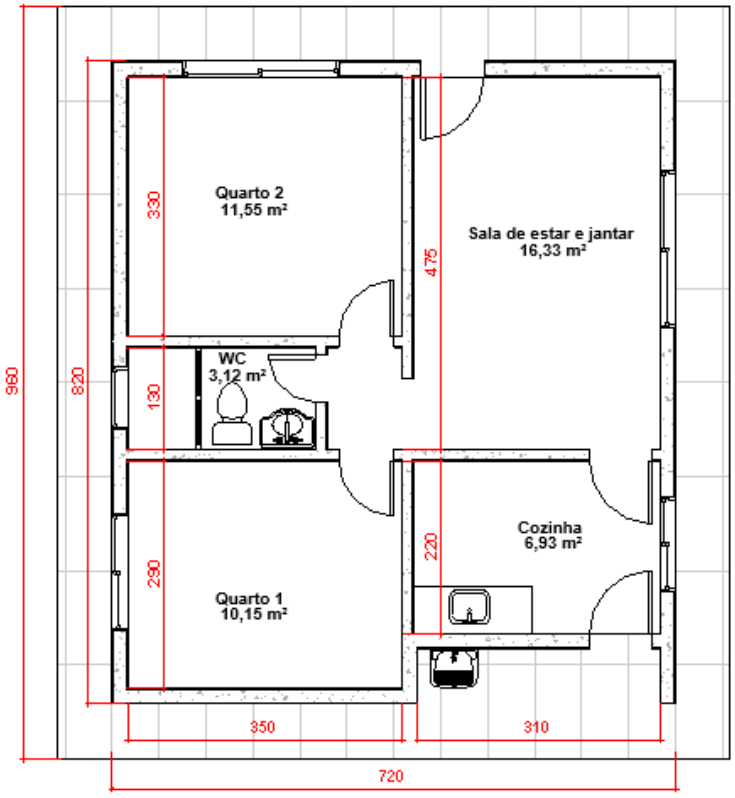


Fonte: Os autores.

O revestimento das paredes de alvenaria consistia numa camada de argamassa de reboco com espessura de 1,2cm. No sistema de concreto moldado in loco, as paredes foram modeladas com uma camada niveladora de 0,8cm de argamassa de reboco.

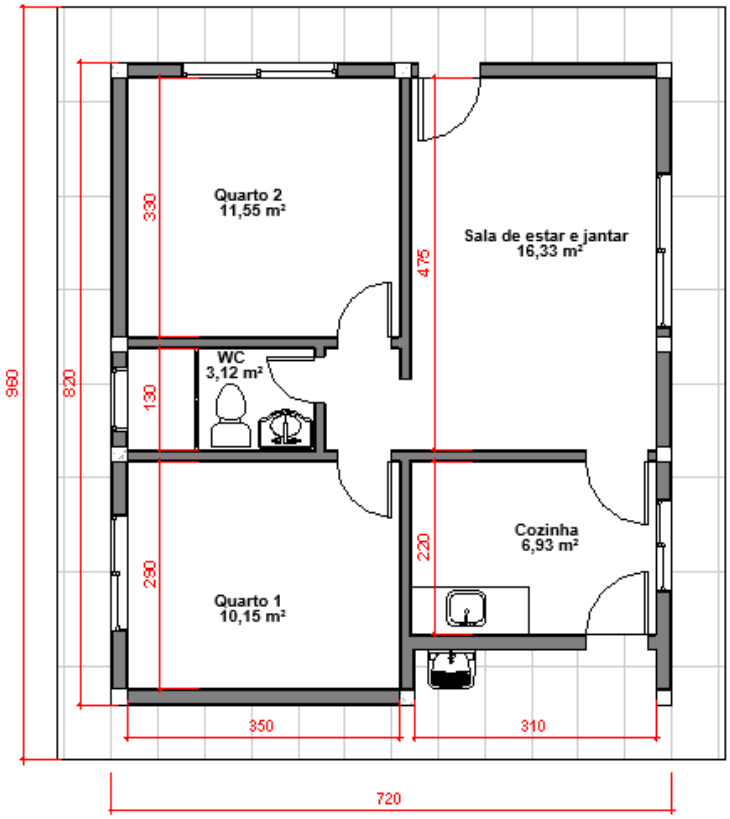
As esquadrias foram mantidas no modelo BIM de PCML em suas posições originais, conforme ilustram as figuras 9 e 10. Os demais itens não sofreram alterações.

Figura 9: Planta baixa do projeto arquitetônico do sistema de paredes de concreto moldadas in loco



Fonte: Os autores.

Figura 10: Planta baixa do projeto arquitetônico do sistema de alvenaria convencional



Fonte: Os autores.

A adaptação do modelo de alvenaria elaborado por [6] para o modelo de PCML é bastante simples, mas para que o *WasteBIM* funcione corretamente, os nomes atribuídos aos elementos da edificação durante a modelagem no *Autodesk Revit*® devem coincidir com os nomes pré-estabelecidos na planilha eletrônica da API.

FUNÇÕES ADICIONADAS E CORRIGIDAS na planilha eletrônica

O quadro 2 apresenta as funções acrescentadas e corrigidas na planilha eletrônica da API.

Quadro 2: Adições e correções na planilha eletrônica

Aba da planilha WasteBIM	Função	Situação
Quantitativos	Classificação por espessura das paredes de concreto armado	Função adicionada
Cálculos por Etapa	Cálculo da área total de paredes de concreto por espessura	
	Cálculo do volume de argamassa para recebimento de cerâmica	
	Inserção manual da espessura das paredes de concreto armado	
Relação de Materiais por Etapa	Inserção manual da espessura das camadas de revestimento	
	Cálculo do volume de concreto total da estrutura	Função corrigida
	Cálculo do volume de madeira em m³	
	Cálculo da massa de aço dos pilares e vigas em kg	
	Quantificação da massa de aço das armaduras	
	Cálculo da área de fôrmas em m²	
	Quantificação das camadas de reboco, chapisco e emboço	
Quantitativos	Extração dos dados da coluna "Reboco e tijolo" em m³	

Fonte: Os autores.

As rotinas do *Dynamo* transferem os parâmetros quantificados no modelo BIM para a planilha eletrônica. Para quantificar os resíduos do modelo BIM do sistema de PCML, as seguintes funções foram acrescentadas na planilha:

- Assim como nos outros modelos, as paredes devem ser classificadas por espessura para que a área total de paredes de concreto seja calculada seguindo essa classificação.
- A área total de paredes é utilizada para estimar o consumo dos materiais que compõem a parede.
- Excepcionalmente no sistema de PCML, a quantidade de argamassa para recebimento de cerâmica é estimada e substitui o item “argamassa de assentamento” na tabela “Quantidade total de material utilizado” do relatório geral do projeto.

Outras alterações foram feitas no cálculo do volume de concreto da estrutura. Anteriormente este cálculo somava o volume de concreto de pilares e a área de uma das faces das vigas, sendo corrigido para somar o volume de concreto de pilares e vigas e incluir as parcelas das lajes e paredes de concreto, se houver.

Nos cálculos do volume de madeira e da massa de aço, ao invés de serem colhidos para os cálculos, respectivamente, os volumes de madeira e de aço nos pilares e vigas da habitação, estavam sendo coletados valores em unidade de área destes elementos. Desta forma, as células erradas foram substituídas pelas corretas nas fórmulas.

Além disso, a coluna “Reboco e Tijolo” da aba “Quantitativos” recolhe dados do levantamento do material de parede no *Autodesk Revit®*, que são quantificados em

unidade de área e não de volume como constava na planilha. Isso gerava erros não só na quantificação do volume de concreto, mas também nos cálculos da massa de aço das armaduras, da área total de fôrmas e do volume de material nas camadas de chapisco, emboço e reboco.

Finalmente, para corrigir o cálculo do volume de concreto, as espessuras das paredes de concreto armado devem ser inseridas manualmente na aba “Cálculos por etapa”. Para calcular o volume correto das camadas de chapisco, emboço e reboco deve-se digitar na aba “Relação de Materiais por etapa” a espessura de cada uma.

EFICIÊNCIA DOS RESULTADOS

De modo geral, o acréscimo do sistema construtivo PCML no *WasteBIM* alcançou resultados adequados, pois a API executou corretamente o que se propõe a fazer. Ainda assim, existem imprecisões que podem distorcer os resultados expedidos pela API para o sistema de PCML.

COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS (RESÍDUOS)

As modificações sofridas pela API implicaram na necessidade de reemitir os relatórios dos sistemas de AC, WF e LSF. As tabelas 1, 2 e 3 trazem os quantitativos de resíduos gerados nos três sistemas abordados por [6] antes e depois das alterações realizadas na planilha eletrônica. Como mostram as tabelas, a diferença entre os quantitativos do modelo de alvenaria antes e após as correções é grande, enquanto nos outros modelos os valores são um pouco mais próximos. A tabela 4 apresenta o volume de resíduos gerados em cada sistema, separando-os por material e classificando-os por classe. Os dados exibidos nesta tabela foram extraídos depois das modificações feitas na API.

Tabela 1: Resíduos gerados no modelo BIM de alvenaria antes (à esquerda) e depois (à direita) das alterações

Quantidade total de resíduos gerados

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico		m³	A	2,579
Bloco concreto			A	0,000
Concreto			A	4,660
Aço			B	0,070
Fôrmas			B	84,130
Alumínio			B	0,000
Madeira			B	0,038
Fios e cabos			C	0,008
Tubos de PVC			C	0,215
Telhas			A	1,244
Dry-Wall			B	0,000
Argamassa	Assentamento		A	0,458
	Emboço		A	0,000
	Chapisco		A	0,000
	Reboco		A	23,000
	Contrapiso		A	0,328
Tinta	Pintura externa		D	1,712
	Pintura interna		D	2,514
Revestimentos	Paredes		A	0,066
	Piso		A	0,385
Gesso			B	0,000
Vidro			B	0,000
Mármores e granitos			A	0,000
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				121,400

Quantidade total de resíduos gerados

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico		m³	A	2,579
Bloco concreto			A	0,000
Concreto			A	0,612
Aço			B	0,009
Fôrmas			B	11,062
Alumínio			B	0,000
Madeira			B	0,038
Fios e cabos			C	0,008
Tubos de PVC			C	0,215
Telhas			A	1,244
Dry-Wall			B	0,000
Argamassa	Assentamento		A	0,458
	Emboço		A	0,000
	Chapisco		A	0,000
	Reboco		A	0,276
	Contrapiso		A	0,328
Tinta	Pintura externa		D	1,712
	Pintura interna		D	2,514
Revestimentos	Paredes		A	0,066
	Piso		A	0,385
Gesso			B	0,000
Vidro			B	0,000
Mármores e granitos			A	0,000
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				21,506

Fonte: Os autores.

Tabela 2 – Resíduos gerados no modelo BIM de wood-frame antes (à esquerda) e depois (à direita) das alterações

Quantidade total de resíduos gerados

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico			A	0,000
Bloco concreto			A	0,000
Concreto			A	0,770
Aço			B	0,010
Fôrmas			B	13,950
Alumínio			B	0,000
Madeira			B	7,870
Fios e cabos			C	0,010
Tubos de PVC			C	0,220
Telhas			A	1,240
Dry-Wall			B	0,000
Argamassa	Assentamento	m³	A	0,000
	Emboço		A	0,000
	Chapisco		A	0,000
	Reboco		A	0,000
	Contrapiso		A	0,230
Tinta	Pintura externa		D	0,000
	Pintura interna		D	0,000
Revestimentos	Paredes		A	0,040
	Piso		A	0,280
Gesso			B	0,010
Vidro			B	0,000
Mármores e granitos			A	0,000
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				24,620

Quantidade total de resíduos gerados

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico			A	0,000
Bloco concreto			A	0,000
Concreto			A	0,772
Aço			B	0,011
Fôrmas			B	13,947
Alumínio			B	0,000
Madeira			B	0,676
Fios e cabos			C	0,008
Tubos de PVC			C	0,215
Telhas			A	1,244
Dry-Wall			B	0,000
Argamassa	Assentamento	m³	A	0,000
	Emboço		A	0,000
	Chapisco		A	0,000
	Reboco		A	0,000
	Contrapiso		A	0,234
Tinta	Pintura externa		D	0,000
	Pintura interna		D	0,000
Revestimentos	Paredes		A	0,040
	Piso		A	0,276
Gesso			B	0,007
Vidro			B	0,000
Mármores e granitos			A	0,000
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				17,430

Fonte: Os autores.

Tabela 3 – Resíduos gerados no modelo BIM de LSF antes (à esquerda) e depois (à direita) das alterações

Quantidade total de resíduos gerados

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico			A	0,000
Bloco concreto			A	0,000
Concreto			A	0,770
Aço			B	3,770
Fôrmas			B	13,950
Alumínio			B	0,000
Madeira			B	0,040
Fios e cabos			C	0,010
Tubos de PVC			C	0,220
Telhas			A	1,240
Dry-Wall			B	0,020
Argamassa	Assentamento	m³	A	0,000
	Emboço		A	0,000
	Chapisco		A	0,000
	Reboco		A	0,000
	Contrapiso		A	0,230
Tinta	Pintura externa		D	0,000
	Pintura interna		D	0,000
Revestimentos	Paredes		A	0,040
	Piso		A	0,280
Gesso			B	0,010
Vidro			B	0,000
Mármores e granitos			A	0,000
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				20,570

Quantidade total de resíduos gerados

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico			A	0,000
Bloco concreto			A	0,000
Concreto			A	0,772
Aço			B	0,200
Fôrmas			B	13,947
Alumínio			B	0,000
Madeira			B	0,038
Fios e cabos			C	0,008
Tubos de PVC			C	0,215
Telhas			A	1,244
Dry-Wall			B	0,019
Argamassa	Assentamento	m³	A	0,000
	Emboço		A	0,000
	Chapisco		A	0,000
	Reboco		A	0,000
	Contrapiso		A	0,234
Tinta	Pintura externa		D	0,000
	Pintura interna		D	0,000
Revestimentos	Paredes		A	0,040
	Piso		A	0,276
Gesso			B	0,008
Vidro			B	0,000
Mármores e granitos			A	0,000
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				17,010

Fonte: Os autores.

Tabela 4: Relação geral de resíduos gerados em m³ para cada sistema construtivo

Quantidade total de resíduos gerados

Material		UN	CLASSE	Concreto moldado in loco	Alvenaria convencional	Light-steel frame	Wood frame
Bloco cerâmico		m³	A	0,00	2,58	0,00	0,00
Bloco concreto			A	0,00	0,00	0,00	0,00
Concreto			A	2,14	0,61	0,77	0,77
Aço			B	0,03	0,01	0,20	0,01
Fôrmas			B	38,62	11,06	13,95	13,95
Alumínio			B	0,00	0,00	0,00	0,00
Madeira			B	0,04	0,04	0,04	0,68
Fios e cabos			C	0,01	0,01	0,01	0,01
Tubos de PVC			C	0,22	0,22	0,22	0,22
Telhas			A	1,24	1,24	1,24	1,24
Dry-Wall			B	0,00	0,00	0,02	0,00
Argamassa	Assentamento		A	0,09	0,46	0,00	0,00
	Emboço		A	0,00	0,00	0,00	0,00
	Chapisco		A	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reboco		A	0,20	0,28	0,00	0,00
	Contrapiso		A	0,56	0,33	0,23	0,23
Tinta	Pintura externa		D	1,90	1,71	0,00	0,00
	Pintura interna		D	2,68	2,51	0,00	0,00
Revestimentos	Paredes		A	0,07	0,07	0,04	0,04
	Piso		A	0,66	0,39	0,28	0,28
Gesso			B	0,00	0,00	0,01	0,01
Vidro			B	0,00	0,00	0,00	0,00
Mármores e granitos			A	0,00	0,00	0,00	0,00
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO (m³):				48,45	21,51	17,01	17,43

Fonte: Os autores.

Pela tabela 4, presume-se que o sistema de paredes de PCML é disparadamente o maior gerador de resíduos sólidos entre os sistemas analisados pelo WasteBIM. Contudo, o volume de resíduos gerados pelas fôrmas pode estar produzindo resultados equivocados. O percentual destes resíduos em cada sistema é calculado pela expressão abaixo:

$$\%\ Fôrmas = \frac{Volume\ de\ resíduos\ gerados\ pelas\ fôrmas}{Volume\ de\ resíduos\ gerados\ pelo\ sistema} * 100$$

Os resultados encontrados para cada sistema encontram-se na tabela 5.

Tabela 5: Percentual de resíduos gerados pelas fôrmas em cada sistema construtivo

Sistema Construtivo	Percentual de Resíduos Gerados pelas Fôrmas
Alvenaria convencional	51,42%
Wood-Frame	80,03%
Light-Steel Frame	82,01%
Paredes de Concreto Moldadas in Loco	79,71%

Fonte: Os autores.

A Tabela 5 mostra que em todos os sistemas mais da metade dos resíduos gerados são provenientes das fôrmas utilizadas na obra. Para efeito de cálculo, a API considera que em todos os sistemas construtivos são usadas fôrmas de madeira na concretagem dos elementos. No sistema de PCML, porém, utilizam-se na prática fôrmas metálicas reutilizáveis, o que torna a comparação entre os quantitativos de resíduos gerados pelos quatro sistemas ilegítima.

LIMITAÇÕES DO WASTEBIM E OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Uma limitação significativa do *WasteBIM* é a impossibilidade de acessar a API em atualizações do *software Autodesk Revit®* mais recentes que a versão 2019. Para superar esta limitação é necessário verificar a possibilidade de atualizar a API para as versões recentes do *Autodesk Revit®*.

Outro ponto importante é a incerteza sobre os resultados obtidos pela API em razão dos índices de perdas estabelecidos. A tabela 6 foi retirada do estudo de [6] e nela estão indicados todos os materiais que podem, até então, ser aplicados nos modelos BIM analisados pelo *WasteBIM*. [6] descreveu fatores que dificultam a padronização dos índices de geração de resíduos e pontuou que a falta de estudos recentes sobre o assunto implicou na adoção de índices de perdas extraídos de estudos da década de 1990. Assim como [6], [12] desenvolveram um API similar voltado para a quantificação de resíduos de construção e destacaram a dificuldade de obtenção destes índices.

Com isso, é difícil medir a precisão e a eficácia dos resultados emitidos pelo *WasteBIM*. Porém, uma grande vantagem de soluções como essa e o *plug-in* desenvolvido por [12] está na possibilidade de atualizar esses índices através de pesquisas mais recentes.

Tabela 6 – Índice de perdas adotado

Material		Índice de perdas em %
Bloco cerâmico		22,3
Bloco concreto		10,7
Concreto		6,2
Aço		7,5
Fôrmas		12,5
Alumínio		2,9
Madeira		6,4
Fios e cabos		3,2
Tubos de PVC		3,5
Telhas		29,2
Dry-Wall		7,8
Argamassa	Assentamento	18,7
	Emboço	17,5
	Chapisco	16,7
	Reboco	10,4
	Contrapiso	19,8
Tinta	Pintura externa	13,5
	Pintura interna	11,0
Revestimentos cerâmicos	Paredes	9,2
	Piso	9,3
Gesso		30,0
Vidro		3,5
Mármores e granitos		4,4

Fonte: Miara (2020).

O quadro 3 relaciona algumas outras limitações do *WasteBIM* e oferece sugestões para superá-las.

Quadro 3: Limitações do WasteBIM e sugestões de melhoria

Constructo	Limitações	Sugestões de Melhoria
Facilidade de uso	Inserção Manual de dados do modelo BIM na planilha eletrônica	Melhorias no código *Dynamo* para automatizar ainda mais alguns processos
	Aplicabilidade limitada a versão 2019 do *Autodesk Revit®*	Atualização da API para versões recentes do Autodesk Revit®
Eficiência dos resultados	Validade dos resultados apenas em modelos BIM cujos materiais estão inclusos na Tabela 6	Criação de *template* para validação do modelo BIM no aplicativo
	Foco na otimização do projeto e na gestão da obra	Inserção de plano de desconstrução
	Imprecisão no cálculo de volume de resíduos gerados pelas formas no sistema PCML	Substituição nos cálculos da API dos índices para fôrmas de madeira por índices para fôrmas metálicas no sistema PCML
	Uso de índices de geração de resíduos de materiais desatualizados	Uso de índices de geração de resíduos de materiais atualizados.

Fonte: Os autores.

CONCLUSÃO

O *WasteBIM* mostrou-se menos eficiente quando utilizado no sistema de PCML em comparação com os sistemas construtivos validados por [6], necessitando de correções para gerar resultados precisos. A aplicabilidade na quantificação de resíduos no sistema PCML é simples, assim como a interatividade com a API. Apesar disso, algumas etapas poderiam ser mais automatizadas e atualizações no *WasteBIM* tornariam a ferramenta mais precisa e abrangente.

Uma limitação desta pesquisa está no fato de que as sugestões apresentadas aqui ainda não foram testadas. Além disso, não é possível afirmar com segurança qual sistema construtivo produzirá mais resíduos, pois diferentemente dos outros sistemas analisados, o sistema de PCML não produziu resultados confiáveis uma vez que um dos materiais catalogados no *WasteBIM* não costuma ser utilizado nesse sistema construtivo.

Como sugestão para possibilitar uma comparação apropriada entre os quatro sistemas sobre a quantificação de resíduos, é fundamental inserir nos cálculos da API, para o sistema de PCML, o índice de perdas das fôrmas metálicas e demais alterações necessárias relacionadas a este material. Para garantir uma maior eficiência dos resultados obtidos pela API, recomenda-se a atualização dos índices de perdas adotados para todos os materiais.

Estudos futuros podem testar a inserção de outros sistemas construtivos na API, expandindo sua aplicabilidade. Sugere-se ainda estudar a possibilidade de criar um *template* para o *Autodesk Revit®* capaz de catalogar todos os materiais do *WasteBIM* com as nomenclaturas corretas, de modo a facilitar o uso da API por parte do usuário durante a modelagem da edificação a ser analisada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação tecnológica concedida à primeira autora.

REFERÊNCIAS

[1] PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 218f. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

[2] AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S.; Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Eng. Sanit. Ambient**., v. 11, n. 1, p. 65-72. 2006. DOI: https://www.scielo.br/j/esa/a/LB9mqGzbdskdNMFr6BjhzWS/?lang=pt

[3] OLIVEIRA, V. H. M.; SERRA, S. M. B. Controle de obras por RFID: sistema de monitoramento e controle para equipamentos de segurança no canteiro de obras. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 61-77, 2017.

[4] MARCOS, M. H. C.; **Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM**. 144f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

[5] SANTANA, I. T. M.; MELO, R. S. S. de.; ALBERTE, E. P. V.; MIARA, R. D.; SCHEER, S. Análise comparativa de APIs integradas ao BIM para fomento da economia circular na construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–8. DOI: https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/516/943.

[6] MIARA, R. D. **Melhoria da Gestão dos Resíduos da Construção Civil Através de Aplicativo Baseado em Modelo BIM**. 120f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

[7] CONAMA, **Resolução 307, de 05 de julho de 2002**. Diretrizes e procedimentos para gestão dos resíduos da construção. Brasília: MMA/CONAMA, 2002. DOI: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305

[8] ARAÚJO, C. S. **Sistema para Rastreamento e Gestão de Recursos Físicos Integrando IOT e BIM: Aplicação no Sistema de Parede de Concreto Moldado in Loco**. 224f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

[9] MACÊDO, J.S. **Um Estudo Sobre o Sistema Construtivo Formado por Paredes de Concreto Moldadas no Local**. 77f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

[10] BRUYNE, P.; HERMAN, J.; SCHOUTHEETE, M. **Dinâmica da pesquisa em Ciências Sociais.** 6. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1995.

[11] SILVA, J. L. da; MUSSI, A. Q., SILVA, T. L. da; ZARDO, P.; RIBEIRO, L. A. Desenvolvimento de plug-ins voltados para a análise de requisitos da Norma de Desempenho Brasileira. **Gestão & Tecnologia De Projetos**, v.14, n.2, p. 46-64, 2019. https://doi.org/10.11606/gtp.v14i2.147285

[12] BARROS, B. P.; HOCHLEITNER, H. D. **Criação de um Plug-in Aliado à Tecnologia BIM para Quantificação de Resíduos de Construção em uma Habitação Unifamiliar.** 78f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.