

# Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM

*Prediction of waste generation in construction through BIM modeling*

Fabriccio de Almeida Oliveira 

Luiz Maurício Furtado Maués 

Carolina Caldas Neves Rosa 

Débora de Gois Santos 

Renato de Melo Seixas 

## Resumo

O crescimento da indústria da construção civil é de grande importância para a manutenção e sustentação da economia brasileira, mas essa indústria utiliza grande quantidade de recursos naturais e consequentemente gera grandes volumes de resíduos de construção civil (RCC). Esforços na minimização de RCC geralmente estão direcionados aos estágios de construção das obras, mas não ao estágio de projetos. Assim, a tecnologia BIM surge como uma importante ferramenta ao possibilitar uma melhor análise e controle da geração de resíduos. Este trabalho propõe um modelo BIM para estimar o RCC e o custo de retirada na fase de projeto, pois nela ainda são inexistentes ações visando estimar o resíduo a ser gerado em uma obra. Para isso, utilizaram-se etapas como a revisão sistemática da literatura, levantamento de índices de perdas e modelagem BIM. Os resultados obtidos revelaram que 10% dos RCC quantificados pertencem à classe B, e 90% à classe A, sendo a argamassa o material com o maior potencial de desperdício, 56% da estimativa total. A modelagem através de dados estatísticos e indicadores pode contribuir na elaboração do plano de gerenciamento de resíduos de construção civil (PGRCC), aperfeiçoando, dessa forma, o planejamento, com redução do RCC.

<sup>1</sup>Fabriccio de Almeida Oliveira

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

**Palavras-chave:** Resíduos de construção. Modelagem. BIM.

## Abstract

<sup>2</sup>Luiz Maurício Furtado Maués

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

<sup>3</sup>Carolina Caldas Neves Rosa

<sup>3</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

<sup>4</sup>Débora Gois Santos

<sup>4</sup>Universidade Federal de Sergipe  
Aracaju - SE - Brasil

<sup>5</sup>Renato de Melo Seixas

<sup>5</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

*The construction industry is certainly fundamental to the Brazilian economy, but the high consumption of raw materials involved is cause for environmental concern, especially due to the huge amount of waste it generates. Actions to reduce construction waste (CW) are taken solely in the actual construction stage, not in the design stages. In this scenario, BIM technology can be used to better analyse and control waste generation. This paper presents a BIM model that allows contractors to estimate the volume and disposal cost of CW in the design stage, before any construction activities have been performed. A systematic literature review provided a correct selection of construction material waste factors and BIM modelling methods. Calculations revealed that 10% of CW is class B and 90% is class A. Mortar was found to be the material with the highest waste rate, 56% of the total waste volume estimate. These findings demonstrate that BIM modelling can produce reliable data, which will help contractors to create a Construction Waste Management Plan (CWMP), thus improving CW planning and reduction.*

Recebido em 31/01/20

Aceito em 15/05/20

**Keywords:** Construction waste. Modeling. BIM.

## Introdução

Nos últimos anos, a sustentabilidade se tornou uma das principais metas para as empresas de construção em todas as fases do ciclo de vida de seus empreendimentos, projeto, construção e uso (ZOU; COUANI, 2012), considerando também a vida útil do projeto, conforme indica a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013). Com esse reconhecimento, os problemas com os resíduos de construção civil (RCC) têm recebido atenção crescente de profissionais e pesquisadores de todo o mundo (LU; YUAN, 2011). No entanto, o volume de RCC ainda cresce continuamente e não é gerenciado de maneira eficaz na maioria dos países (MAH; FUJIWARA; HO, 2016).

Dessa forma, a indústria da construção vem explorando e desenvolvendo abordagens, mesmo que incipientes, para minimizar a geração de resíduos ao longo das etapas do ciclo de vida do projeto, o que inclui projetos de construção sustentável que observem a redução do desperdício já no processo de elaboração.

A quantificação dos diferentes resíduos provenientes de atividades da construção civil é uma ferramenta significativa para promover o gerenciamento de resíduos de forma eficaz. Sendo usada para prever a quantidade aproximada de resíduo que um projeto gerará, antes de ser executado, a quantificação se torna ainda mais importante e se alia ainda mais ao gerenciamento de RCC (LU *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2014). Nesse contexto, a quantificação da geração de RCC prova ser um pré-requisito para o controle de resíduos e fornece uma referência para a formulação de políticas adequadas que visem aprimorar a gestão de RCC (KERN; DIAS; KULAKOWSKI, 2015).

Assim, a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) que aborda a Política Nacional de Resíduos Sólidos, recomenda que o plano de gerenciamento de resíduos da construção civil (PGRCC) deve contemplar, como uma de suas atividades desenvolvidas dentro do canteiro de obras, a caracterização dos resíduos, que para (LIMA; LIMA, 2009), consiste em identificar e quantificar todo resíduo gerado pela obra, objetivando planejar qualitativa e quantitativamente sua redução, reutilização e reciclagem, e se possível que seja realizada ao longo das etapas da obra, onde ao final se obtêm dados estatísticos e indicadores que ajudam no planejamento e na redução dos resíduos nas construções.

Porém, Cheng e Ma (2013) mencionam em suas pesquisas, a falta de ferramentas disponíveis para a estimativa de RCC. Para os autores, as ferramentas e os métodos existentes não são convenientes o suficiente para os contratantes estarem dispostos a utilizar sem gastar muito tempo e esforço, uma vez que informações como volume de material precisam ser medidos ou recuperados manualmente dos documentos disponíveis. Segundo os mesmos autores, a modelagem de informações de construção, no entanto, oferece a oportunidade de preencher essa lacuna.

A modelagem de informação de construção *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, é uma das tecnologias de comunicação de dados comumente usada na indústria da construção civil e pode ser sistemática e eficientemente integrada com tecnologias de identificação e aquisição de dados (AL-ASHMORI *et al.*, 2020). De acordo com Eastman *et al.* (2008), o BIM é uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise do modelo de construção.

Como os modelos BIM contêm uma riqueza de informações, como recursos de materiais e geometria, e podem ser integrados ao cronograma, informações de custos, quantitativos, etc., o BIM fornece planejamento e cronograma aprimorados e ajuda a garantir a chegada no tempo certo de mão de obra, equipamentos e materiais (EASTMAN *et al.*, 2008).

No presente trabalho, a utilização de modelos BIM juntamente com indicadores de RCC surge como um potencial a ser investigado, a fim de entender como, em conjunto, permite estimar a quantidade de resíduos da construção civil, sua classificação por tipo e etapa da obra e o custo de retirada dos RCC. Essa conexão foi explorada no trabalho de Kim *et al.* (2017), em que realizam a quantificação de RCC por tipo através de um modelo BIM, e no trabalho de Cheng e Ma (2013), que, além de desenvolver um modelo BIM para estimativa e planejamento de resíduos, preveem os requisitos de caminhões de coleta e a taxa de cobrança de descarte dos resíduos.

Assim, a tecnologia BIM permite melhorar a análise e o controle dos projetos, oferecendo suporte aos processos e fases durante todo o ciclo de vida da construção, possibilitando a inclusão de informações como os índices de geração de perdas corretos e facilitando a extração de dados, como o possível potencial de geração de resíduos do projeto.

O objetivo do presente trabalho consiste em propor um modelo para estimar o RCC e o custo de sua retirada na fase de projeto utilizando como apoio a tecnologia BIM. Nessa perspectiva, são apresentadas as etapas necessárias para o desenvolvimento da modelagem BIM, visando integrar informações relacionadas ao quantitativo dos materiais por serviço, indicadores de entulho (resíduos), estimativa por tipo e classe do RCC, conforme a caracterização do RCC proposta pelo plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRCC).

## Sustentabilidade na construção civil

É notório que o desenvolvimento tecnológico e a necessidade de consumo da humanidade acarretam vários problemas ao meio ambiente. Várias pesquisas têm sido realizadas no intuito de apontar soluções para esse problema global. Pesquisadores que atuam na indústria da construção realizam estudos que envolvem a temática da construção sustentável, englobando diversas abordagens. Para exemplificar, algumas dessas pesquisas são na área de certificações ambientais (ASDRUBALI ; D’ALESSANDRO; SCHIAVONI, 2015) e na área de avaliação do ciclo de vida (MEDEIROS; DUARTE; CALLEJAS, 2018; HÄFLIGER *et al.*, 2017), que buscam alternativas para minimizar a geração de resíduos, como na pesquisa de Ossa e García (2016) e no trabalho de Wang *et al.* (2015), que abordam a redução e o reaproveitamento de resíduos, ou, ainda, que analisam a gestão de resíduos, como na pesquisa de Del Río Merino, García e Azevedo (2010).

### Construção sustentável

A mudança climática é hoje reconhecidamente um grande problema enfrentado pela humanidade (HUISINGH *et al.*, 2015). Governos de todo o mundo têm lutado para equilibrar o crescimento econômico com seus efeitos negativos sobre o meio ambiente, tanto nas regiões desenvolvidas quanto nas em desenvolvimento (LEWIS; CONATY, 2012). No entanto, a população mundial está com previsão de atingir 70% do total de pessoas residindo em centros urbanos até 2050 (UNITED..., 2015), processo que requer um volume maior de obras nas cidades para atender à demanda. Portanto, o progresso da economia e da sociedade de uma nação tem relação próxima com a indústria da construção, mas também eleva a quantidade de recursos naturais consumidos por essa indústria. No Brasil, a indústria utiliza cerca de 75% dos recursos naturais, gerando aproximadamente 80 milhões de toneladas de resíduos por ano (CONSELHO..., 2009). Da mesma forma, cerca de 380 milhões de toneladas de materiais e recursos são consumidos anualmente pela indústria da construção no Reino Unido (BUILDING..., 2008). A indústria chinesa gera mais de 100 milhões de toneladas de resíduos por ano, número que inclui aproximadamente 13 milhões de toneladas de materiais não utilizados (LIU *et al.*, 2011).

A quantidade de resíduos gerados nos processos de construção, reforma e demolição é enorme. Os resíduos de construção representaram 26% dos resíduos sólidos nos Estados Unidos em 2007 (UNITED..., 2019) e 48% dos resíduos sólidos na Coreia do Sul em 2013 (MINISTRY..., 2018). Em 2017, no Brasil, foram coletados 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (ASSOCIAÇÃO..., 2017).

Todos os autores supracitados, ao apresentarem resultados expressivos de geração de resíduos da construção, corroboram que ainda hoje existe, lamentavelmente, um descaso sobre a visão de sustentabilidade. Essa conclusão, apresentada pela Comissão Brundtland (BRUNDTLAND, 1987), parece ser ainda bastante atual.

Além disso, Rockstom *et al.* (2009) concluíram que as atividades humanas atuais transgrediram muitos dos limites planetários. A construção tem impactos específicos por meio de emissões de carbono, alterações climáticas, geração de resíduos, mudança de uso da terra e perda de biodiversidade. Isso coloca uma questão crítica sobre quais são os limites dos sistemas biofísicos da Terra antes que as atividades humanas danifiquem irreversivelmente a biosfera. Portanto, é vital que a indústria de arquitetura, engenharia e construção empreenda esforços para reduzir e gerenciar os RCC de forma mais eficaz (CHENG; MA, 2013).

Em seu relatório, a Comissão Brundtland (1987, p. 1) definiu sustentabilidade como “[...] satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades [...]”. Kibert (1994, p. 1), por sua vez, definiu a construção sustentável como “criação e gestão de um ambiente construído saudável, seguindo princípios ecológicos e o uso eficiente de recursos”. A construção sustentável tem sido geralmente descrita como um processo que começa antes da construção em si (nas fases de planejamento e projeto) e continua depois que a equipe de construção deixa o local (HILL; BOWEN, 1997).

Wolstenholme *et al.* (2009) enfatizaram que a indústria da construção deve ser modernizada com a adoção de práticas de construção eficientes, integradas, inovadoras e sustentáveis. Aumentar a conscientização sobre

sustentabilidade no início de um projeto é altamente encorajado para otimizar o potencial de determinar o curso do empreendimento.

Portanto, é necessário que sejam estabelecidos mais esforços em conceitos, princípios e técnicas comuns relativos à construção sustentável, e encorajar empresas e profissionais a tornar suas atividades sustentáveis (OFORI, 1998). Entre os fatores mencionados, o cuidado com a gestão dos resíduos gerados na construção civil ameniza os impactos na natureza e contribui para uma construção mais sustentável.

## **Gestão de Resíduos de Construção Civil**

O aumento da geração dos RCC gerados pela sociedade urbana tem se convertido num problema de difícil solução para as entidades governamentais e municipais. Esses resíduos, segundo Costa (2010), representam aproximadamente 20% a 30% do volume de resíduos sólidos gerados pelas cidades dos países mais desenvolvidos e muitas vezes esse potencial pode chegar a mais de 50% do total de resíduos sólidos produzidos. Nas cidades brasileiras de médio e grande porte, segundo Pinto (1999), os resíduos provenientes de construções representam 40% a 70% da massa total dos resíduos sólidos urbanos. Nesse sentido, Nunes *et al.* (2007) afirmam que no Brasil não há uma estimativa precisa dos RCC, mas que em grandes cidades, como Rio de Janeiro, São Paulo e Salvador, o volume chega em média a 31% dos resíduos totais gerados na cidade. Apesar de não existir um estudo preciso sobre o volume de RCC no país, esse volume é crescente nos grandes centros urbanos (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Nesse cenário cabe observar que, ao ser instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), teve como um de seus objetivos o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental incluindo a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, assim como estes devem ser dispostos (provenientes dos rejeitos gerados seja por bens de consumo, de serviços e obras). Para esse fim, a PNRS preconiza realizar ações de gestão integrada de resíduos sólidos, em que busca encontrar soluções para os resíduos sólidos, considerando os cenários político, econômico, ambiental, cultural e social, com foco no desenvolvimento sustentável.

Um fator que contribuiu sensivelmente para intensificar a preocupação sobre gestão eficiente dos RCC nos municípios brasileiros foi a criação da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONSELHO..., 2002). Segundo essa resolução, a gestão integrada de resíduos sólidos é definida como um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Por sua vez, e em acordo com a PNRS (BRASIL, 2010, p. 6) regulamenta em seu artigo 9º que, “[...] no gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos [...]”.

Em vigor desde janeiro de 2003, a Resolução Conama nº 307 (CONSELHO..., 2002) obriga (quando instituído por lei complementar municipal) que o gerador elabore o PGRCC para cada empreendimento. Posteriormente, em 2010, a publicação da Lei federal nº 12.305 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos, em seu artigo 20, veio reforçar a responsabilidade e a obrigatoriedade da elaboração de plano de gerenciamento para as empresas de construção civil, que devem implantá-lo nos canteiros das obras nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama).

Nesse sentido, cabe ressaltar que a adoção de metodologias de gestão dos RCC no canteiro de obra é um meio para conquistar melhores desempenhos em relação ao adequado manejo dos resíduos e sua correta destinação. Esse é um passo inicial para que o resíduo da construção civil deixe de se tornar um agente negativo para a sociedade, para a economia e para o meio ambiente dos centros urbanos.

De acordo com Hobbs, Adams e Blackwell (2011) e Lage *et al.* (2010), o primeiro passo em qualquer esforço de minimização de resíduos é a capacidade de prever o montante de resíduos que será gerado. A quantificação, a medição e a previsão dos resíduos é uma área de gestão de resíduos que tem recebido a atenção dos pesquisadores ao longo dos anos (ADJEI, 2016), e esses itens são ferramentas cruciais para a tomada de decisões nos âmbitos ambiental e econômico. Tais decisões são tomadas, progressivamente, com base em dados quantitativos bem fundamentados para cada atividade em uma construção (JALALI, 2007). Uma previsão eficiente do volume de resíduos permite não só o controle dos resíduos gerados como também maior eficiência na gestão dos canteiros de obra (SOLÍS-GUZMÁN *et al.*, 2009).

## BIM na construção civil

Tecnologias emergentes relacionadas à gestão de informações, como sistemas de código de barras, sistema de posicionamento global (GPS), simulação de sistemas de comércio eletrônico e sistemas de informações geográficas (GIS), estão sendo adotadas para a construção. Mais recentemente, Liu *et al.* (2011) sugeriram que a tecnologia BIM pode ser usada pela indústria da arquitetura, engenharia e construção e operação (Aeco) como uma plataforma para minimizar o desperdício de construção em seus projetos.

O BIM não é apenas uma inovação tecnológica, mas também uma mudança significativa nos processos globais da indústria da construção civil. Atualmente, está sendo gradualmente usado para atingir várias metas de desempenho de gerenciamento de projeto, construção e instalações (DENG *et al.*, 2019; LAGÜELA *et al.*, 2013; RAZAVI; HAAS, 2010; SHEN; HAO; XUE, 2012). Isso inclui aprimoramento de simulação e análise, coordenação e comunicação para trabalho colaborativo, avaliação e gerenciamento de informações de ciclo de vida e projeto sustentável em todos os estágios que compõem o ciclo de vida do projeto.

O projeto de construção com base em BIM fornece aos profissionais de construção oportunidades para implementar o planejamento e gerenciamento proativos em relação ao uso de materiais de construção e, segundo os autores Cash (2019) e O'Reilly (2017), é particularmente durante os estágios de projeto que a redução da geração de resíduos de construção poderia ser apoiada e aprimorada mediante seu uso.

Liu *et al.* (2015) avaliam que as abordagens, técnicas e ferramentas para a minimização de resíduos de construção estão, na maioria das vezes, direcionadas aos estágios de construção, e não aos estágios de aquisição e projeto, sendo que estes dois últimos, segundo McKechnie e Brown (2007), oferecem oportunidades substanciais na redução da geração de resíduos. Diante disso, aqueles autores identificaram que a modelagem da informação BIM pode ser usada como um sistema de comunicação colaborativo, com potencial para auxiliar projetistas e *stakeholders* a minimizarem de forma mais precisa a produção de resíduos de construção em seus projetos.

Won, Cheng e Lee (2016) quantificaram o desperdício de construção ocasionado por erros de projeto que poderiam ser evitados usando um processo de validação de projeto baseado em BIM. Os autores relatam que a validação de projeto baseada em BIM poderia eliminar 4,3% a 15,2% dos resíduos de construção provocados por erros de projeto.

Em resumo, o BIM, na maioria dos casos, é usado para facilitar atividades relacionadas ao projeto, como coordenação e comunicação de projetos, e para fornecer informações quantitativas de um projeto predeterminado como entrada para análise de resíduos de materiais, com o objetivo de reduzir o desperdício na construção.

## Método

### Abordagem metodológica

A estrutura metodológica utilizada no desenvolvimento desta pesquisa apresenta característica de estudo de caso e está classificada em descritiva em função da necessidade de levantar informações sobre indicadores de perdas de matérias relacionadas ao RCC e métodos de utilização do BIM com a finalidade de estimar a quantidade de resíduos de construção civil.

Em relação a seus procedimentos, a pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, de modelagem e simulação, devido à elaboração da revisão sistemática da literatura (RSL) seguindo as diretrizes propostas por Conforto, Amaral e Silva (2011), com o objetivo de buscar evidências na literatura que sirvam de base para o desenvolvimento do tema da pesquisa, e também por propor um modelo parametrizado para quantificar os RCC através de simulações, utilizando-se, para isso, o software Autodesk Revit.

### Delineamento da pesquisa

Após a elaboração da RSL, desenvolveu-se o delineamento da pesquisa para ajudar a entender os caminhos percorridos para alcançar o objetivo geral deste trabalho. O delineamento encontra-se dividido em três etapas, cada uma desenvolvida de acordo com os seguintes itens: questionamentos da pesquisa, objetivos específicos, elementos de informações e desenvolvimento da modelagem (Figura 1).

## Etapa 1: Seleção dos índices de perdas

Assim, a primeira iniciativa foi identificar índices de perdas de materiais que poderiam ser utilizados na elaboração da modelagem BIM a ser construída para estimar a geração de RCC.

Portanto, para que ocorra essa identificação, foi realizado um levantamento bibliográfico preliminar e posteriormente uma revisão sistemática da literatura (RSL) de artigos que apresentaram índices de perdas de materiais relacionados ao RCC, os quais foram processados para coordenar as informações dos índices de perdas encontrados em nível nacional e internacional.

Após a RSL, índices de perdas de 41 materiais de construção foram encontrados e importados para o Microsoft Office Excel, no qual foram organizados e formatados. Posteriormente, foram calculadas as médias aritméticas dos índices de cada um dos materiais encontrados. Os resultados serviram de base para a criação da modelagem BIM, e a compilação deles está na Tabela 1.

## Etapa 2: métodos BIM de estimativa de RCC

Nesta etapa, através da RSL, foram selecionados artigos cujas pesquisas utilizaram métodos BIM para quantificação de RCC. Os artigos selecionados na investigação trazem também especificidades importantes nas pesquisas, tais como suas aplicações, estágios do ciclo de vida do projeto e o software utilizado para o desenvolvimento de seus modelos BIM. Também foi observado que 60% dos artigos levantados utilizam o software Revit como ferramenta para a realização das modelagens, conforme apresentado no Quadro 1.

Após a análise das características de cada um dos métodos levantados, foi definido o método proposto por Kim *et al.* (2017) para servir de base para o desenvolvimento da modelagem do presente trabalho. Em seguida, são apresentados os resultados sugeridos nesta pesquisa, para adequações do modelo de Kim *et al.* (2017), com a finalidade de propor um novo formato de modelagem que favoreça o desenvolvimento dessa etapa e, conseqüentemente, a criação da modelagem BIM.

Figura 1 - Delineamento da pesquisa

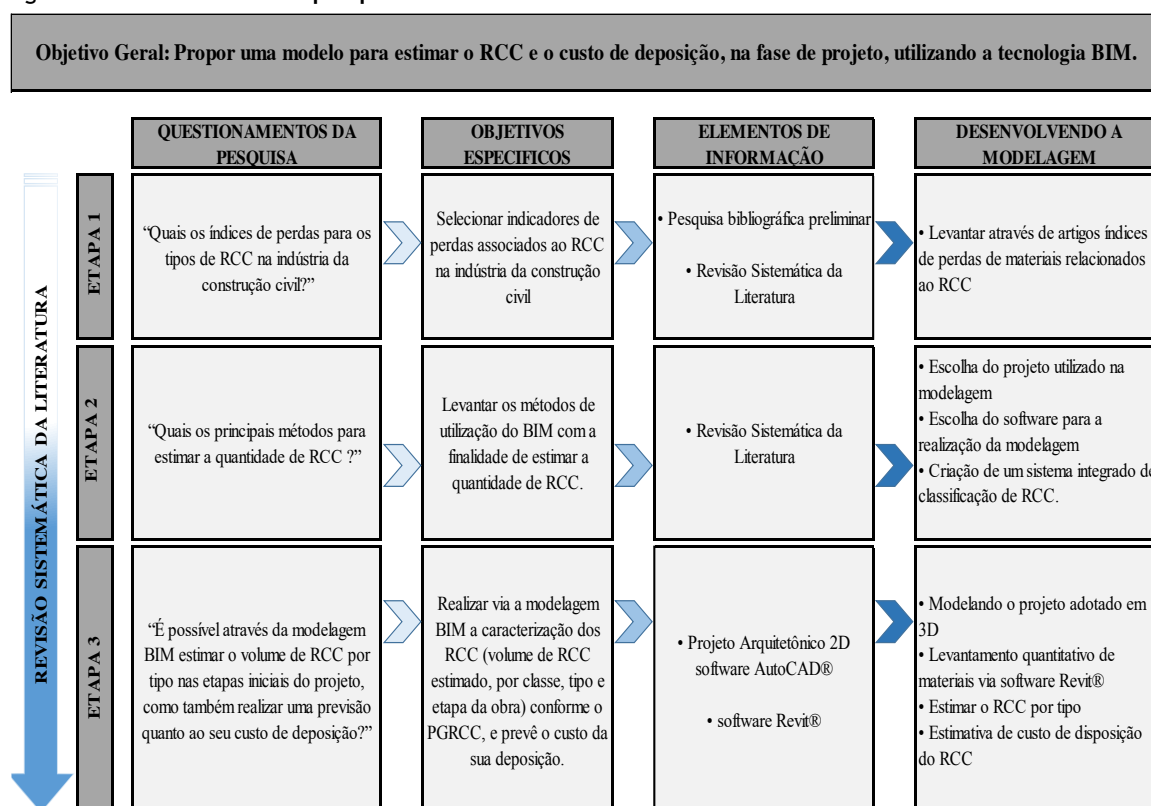


Tabela 1 - Média dos índices de perdas dos materiais

MATERIAIS	Skoyles (1976)	Pinto (1999)	Hong Kong Polytechnic (1993)	Soibelman (1993)	Santos (1995)	Enshassi (1996)	MacDonald e Smithers (1998)	Formoso (1998)	Andrade <i>et al.</i> (2001)	Espinelli (2005)	Jalali (2007)	TCPO (2012)	MÉDIA	UNID.
Concreto usinado		0,0134	0,11	0,129			0,067	0,1318	0,014	0,09	1,76	0,33	0,294	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Concreto em infraestrutura	0,08		0,11										0,095	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Concreto em superestrutura	0,02		0,11										0,065	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Cimento		0,33		0,826				0,8413					0,666	kg/kg
Areia		0,39		0,444				0,4576					0,431	kg/kg
Cal hidratada		1,02											1,020	kg/kg
Aço	0,05	0,26		0,19		0,021	0,085	0,1907	0,077	0,11	0,6	0,16	0,174	kg/kg
Tijolos furados	0,08	0,13	0,11	0,5	0,054	0,032		0,2764	0,13	0,13			0,160	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Tijolos à vista	0,12					0,049							0,085	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Tijolos estruturais maciços	0,1			0,54	0,255			0,2694					0,291	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Tijolos estruturais vazados	0,05												0,050	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Blocos leves	0,09												0,090	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Blocos de concreto	0,07	0,13	0,11						0,13	0,13			0,114	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Telhas (inclusive de cumeeira)	0,1											0,1	0,100	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Madeira em geral	0,15	0,475	1				0,138				1,4		0,633	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Chapisco interno			0,03									0,1	0,065	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Chapisco externo			0,05									0,1	0,075	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Argamassa alvenaria			0,05	0,936				0,9125	0,002				0,475	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Argamassa paredes	0,05		0,15	0,936					0,002				0,285	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Argamassa tetos	0,03												0,030	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Argamassa fachada			0,15	0,936					0,001				0,362	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Argamassa contrapiso			0,15	0,936					0,001				0,362	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Argamassa colante piso		0,865		0,936									0,901	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Placas cerâmicas fachada	0,03	0,095	0,15						0,13	0,14			0,109	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Placas cerâmicas piso	0,03	0,075	0,15						0,19	0,14			0,117	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Placas cerâmicas piso									0,13	0,14			0,135	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Revestimento têxtil							0,067						0,104	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Gesso – Paredes									0,001	0,3			0,151	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Gesso – Teto									0,001	0,3		0,1	0,134	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Painéis de gesso acartonado							0,196						0,196	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Eletrodutos										0,15			0,150	m/m
Tubos – PVC	0,03									0,15			0,090	m/m
Tubos – Cobre	0,07												0,070	m/m
Conexões – Cobre	0,03												0,030	unid.
Tintas										0,17			0,170	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Fios										0,27			0,270	m/m
Vidros – Chapa	0,09						0,04						0,065	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Janelas pré-envidraçadas	0,16												0,160	unid.
Resíduos mistos							0,152						0,152	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Embalagem – Papel							0,012				7,3		3,656	kg
Embalagem – Plástico							0,069				5,8		2,935	kg

Quadro 1 - Pesquisas relacionadas à estimativa de RCC utilizando a modelagem BIM

REFERÊNCIAS	ANO	PAÍS	MÉTODOS BIM DE ESTIMATIVA DE RESÍDUOS	APLICAÇÕES	ESTÁGIO	SOFTWARE
Porwal, A.; Kasum, N. e Hewage, K. N.	2012	Canadá	Análise baseada em modelagem de informações da construção para minimizar a taxa de desperdício de reforço estrutural	Análise de otimização de vergalhão	Projeto	Autodesk Revit Structure
Cheng, J. C. P. e Ma, L. Y.	2013	Hong Kong	Um sistema baseado em BIM para estimativa e planejamento de resíduos de demolição e renovação	Obras de demolição e reforma	Projeto	Autodesk Revit Structure
Park, J. W., Cha, G. W., Hong, W. H. e Seo, H. C.	2014	Coréia do Sul	Estudo sobre o estabelecimento do sistema de banco de dados de demolição de resíduos por materiais de construção baseados em BIM	Obras de demolição	Projeto	Archicad
Won, J., Cheng, J. C. P. e Lee, G.	2016	Coréia do Sul	Quantificação de resíduos de construção impedidos pela validação de projeto baseada em BIM: estudos de caso na Coreia do Sul	Erros de projeto	Projeto, pré-construção e construção	Archicad e Autodesk Revit
Kim, Y. C., Hong, W. H., Park, J. W. e Cha, G. W.	2017	Coréia do Sul	Uma estrutura de estimativa para resíduos de demolição baseados em modelagem de informações de construção (BIM) por tipo	Obra de demolição	Projeto	Archicad
Wei, H., Zheng, S., Zhao, L. e Huang, R.	2017	China	Cálculo baseado no método BIM de materiais auxiliares necessários na construção de moradias	Materiais auxiliares (Madeira)	Construção	SQLite, OSG (OpenSceneGraph), Visual C++ 2010
Lu, W., Webster, C., Chen, K., Zhang, X. e Chen, X.	2017	Hong Kong	Modelagem computacional de informações de construção para gerenciamento de resíduos de construção: movendo-se da retórica para a realidade	RCD	Projeto e construção	Autodesk Revit e Archicad
Ge, X. J., Livesey, P., Wang, J., Huang, S., He, X. e Zhang, C.	2017	Austrália	Desconstrução do gerenciamento de resíduos por meio da reconstrução 3D e BIM: um estudo de caso	Desconstrução de resíduos de demolição	Projeto	Autodesk Revit Structure
Song, Y., Wang, Y., Liu, F. e Zhang, Y.	2017	China	Desenvolvimento de um modelo híbrido para prever resíduos de construção e demolição: a China como um estudo de caso	Previsões de RCD	Construção e demolição	—
Liu, H., Singh, G., Lu, M., Bouferguen, A. e Al-Husseina, M.	2018	Canadá	Projeto e planejamento automatizados baseados em BIM para embarque de edifícios residenciais com estrutura de luz	Estruturas leves (madeira, drywall)	Projeto	Autodesk Revit (Revit API)

Nota: \*API significa “interface de programação de aplicativos”.



### Passo 1: escolha do projeto a ser utilizado na modelagem

O projeto de estudo consiste na edificação de um condomínio que se encontra em fase de construção na Região Metropolitana de Belém, PA. A construção iniciou-se no segundo semestre de 2018, com previsão de término no primeiro semestre de 2019, e seu terreno possui 3.442,49 m de área, sendo 1.137,00 m de área construída.

O empreendimento foi realizado por uma empresa de pequeno porte (EPP) especializada no ramo de construção civil e reformas em geral, a qual constrói habitações visando à venda por meio do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV).

O residencial é integrado por vinte unidades habitacionais (casas térreas), com parque infantil, área verde, via de acesso e passeios. Cada unidade é formada por um hall de entrada, sala integrada (estar, jantar e cozinha), dois dormitórios, um banheiro social, área de serviço e uma vaga de garagem. A Figura 2 representa o projeto arquitetônico do empreendimento no AutoCAD.

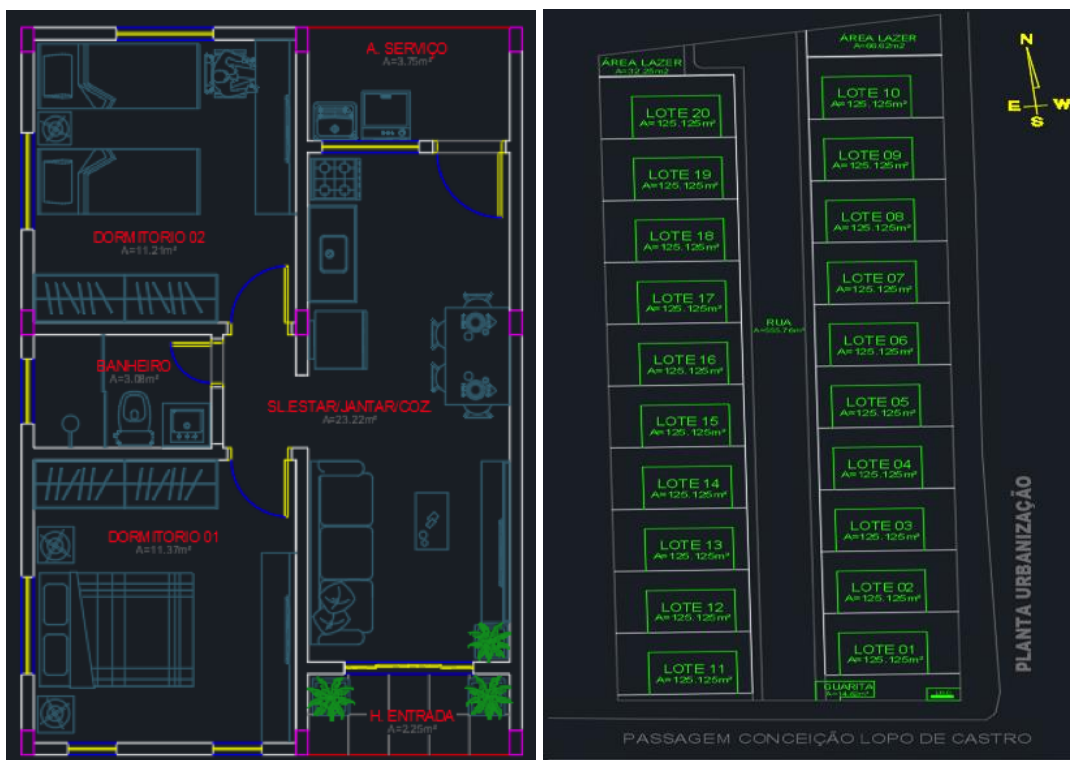
A empresa-alvo deste trabalho foi escolhida em função de ser a única que aceitou participar da pesquisa e repassar as informações necessárias para o desenvolvimento desta.

### Passo 2: escolha do software para a realização da modelagem

A escolha do Autodesk Revit para estruturar a modelagem BIM desta pesquisa deu-se principalmente em função de ser gratuito para fins acadêmicos e pelos seguintes fatores:

- (a) elevado índice de parametrização de objetos apresentado pelo software;
- (b) resultados apresentados no Quadro 1, em que se observou que 60% dos artigos encontrados utilizaram esse software em seus métodos; e
- (c) disponibilidade de recursos necessários no que diz respeito a sua funcionalidade para a obtenção de um nível de desenvolvimento 3D BIM.

Figura 2 - Projeto arquitetônico e planta de localização - sem escala



Fonte: arquivo da construtora-alvo da pesquisa (2019).

### Passo 3: criação de um sistema integrado de classificação por tipo de RCC

Foi realizada uma avaliação das informações contidas no projeto arquitetônico, e os serviços de execução de superestrutura (vigas e colunas), vedações (paredes e forro), cobertura (telhamento), revestimentos argamassados (parede) e pisos foram selecionados para a realização da estimativa de RCC, alvo desta pesquisa, por serem os maiores geradores de resíduos durante a fase de construção.

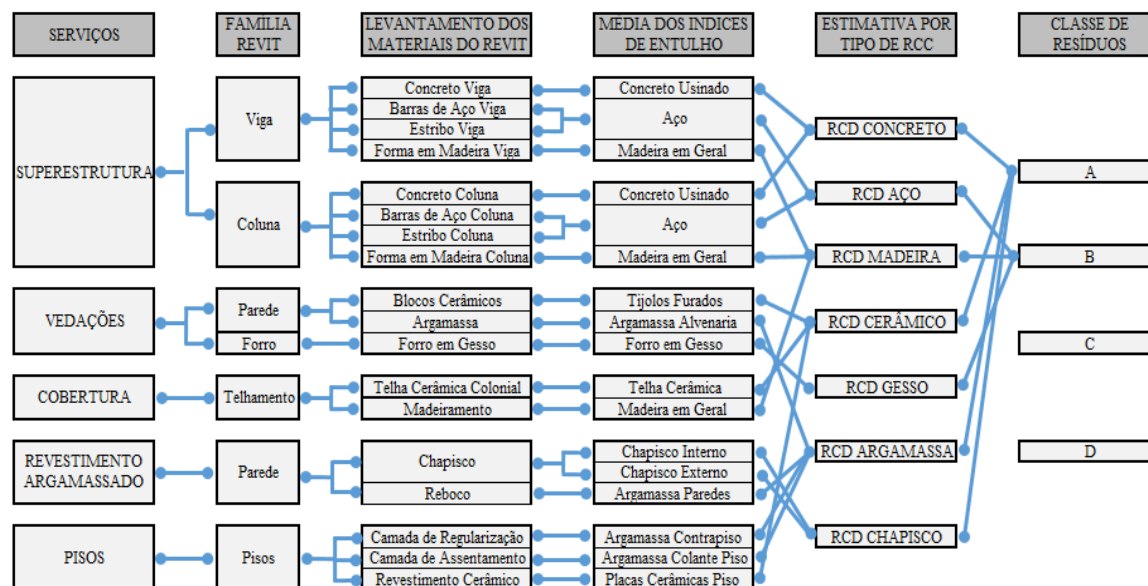
Após a avaliação, um sistema integrado de classificação dos RCC por tipo de material, relacionados aos serviços selecionados para a construção da modelagem, foi desenvolvido a partir do modelo de Kim *et al.* (2017), com adaptações, entre as quais modelar os serviços com índices de perdas mais elevados na realidade brasileira, adotar índices nacionais e, principalmente, modelar na fase de desenvolvimento do projeto, e não na fase de demolição. O sistema desenvolvido envolve os parâmetros das famílias do Revit por serviço, os materiais necessários para cada família e os índices de perdas dos materiais relacionados ao entulho apresentados no resultado da etapa 1 deste trabalho. A criação do sistema integrado teve como propósito auxiliar o desenvolvimento da modelagem BIM na obtenção da estimativa de RCC por tipo de material (Figura 3).

### Etapa 3: modelagem BIM, estimativa e custo de retirada de RCC

Nesta etapa, um modelo BIM para quantificar os RCC e prever o custo de sua retirada foi desenvolvido, utilizando-se, para isso, os resultados obtidos nas etapas 1 e 2 deste trabalho, referentes à seleção dos índices de perdas e adequações realizadas no método selecionado através da RSL e seguindo os seguintes passos:

- (a) modelagem do projeto adotado em 3D;
- (b) levantamento quantitativo de material via software Revit;
- (c) estimativa de RCC por tipo de material; e
- (d) estimativa de custo de retirada do RCC.

Figura 3 - Sistema integrado de classificação por tipo de RCC

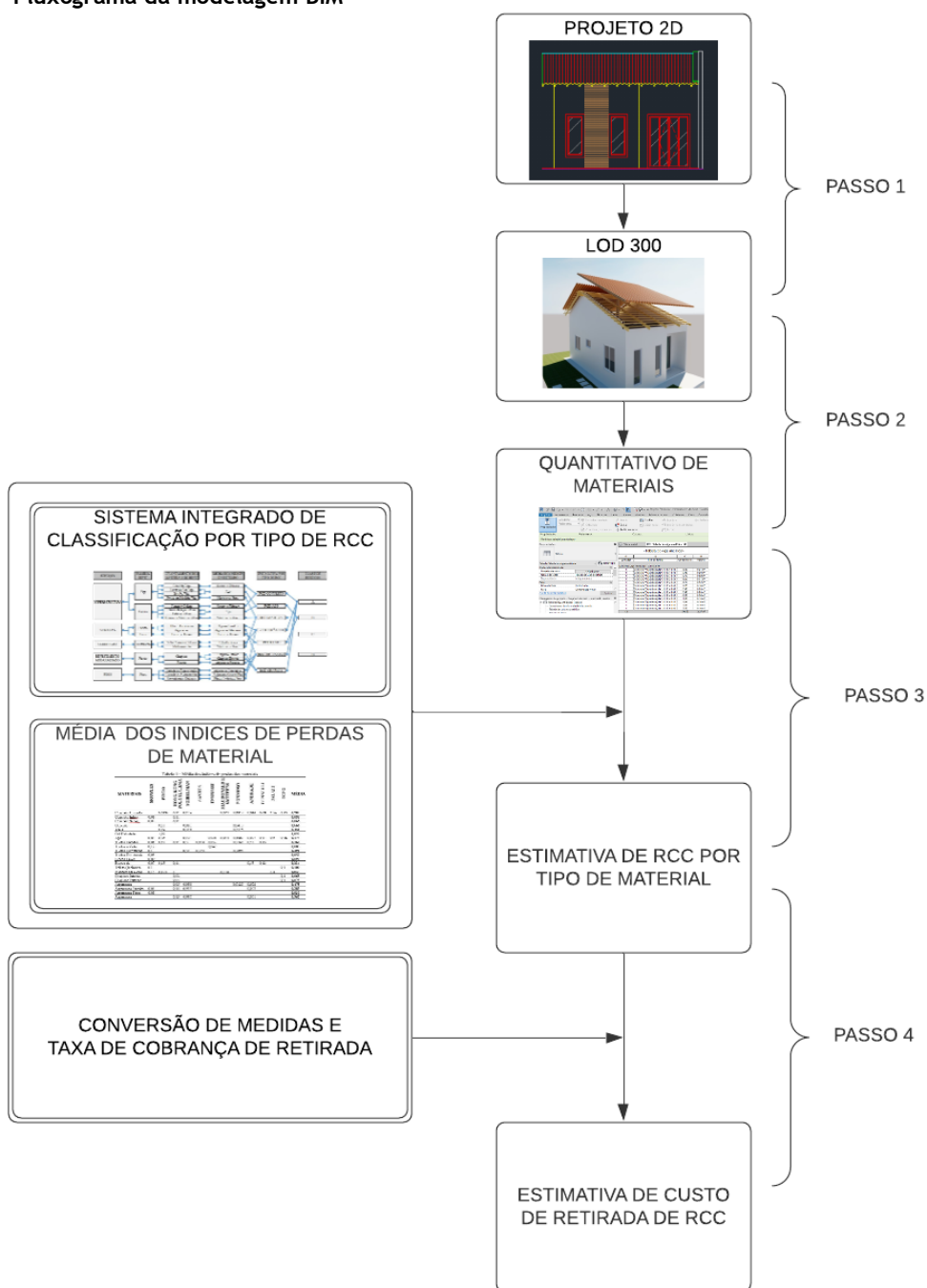


## Resultados e discussão

### Fluxograma da modelagem BIM

A Figura 4 sintetiza os passos do modelo BIM proposto para alcançar a quantificação do RCC e a previsão do custo de sua retirada. Primeiro, modela-se o projeto 2D em um nível de desenvolvimento BIM que possua precisão em sua representação geométrica. Em seguida, visualizam-se informações em relação aos quantitativos dos materiais que compõem as famílias selecionadas para modelagem. Após, o usuário insere na modelagem de cada família a média dos índices de perdas dos materiais que as compõem, bem como sua classificação, obtendo-se as estimativas do RCC. A previsão do custo da retirada do RCC fica dependente da padronização das estimativas em termos de unidades de medidas e aplicação da taxa de cobrança de mercado para o descarte de resíduos.

Figura 4 - Fluxograma da modelagem BIM



## Modelagem BIM: estimativa e custo de retirada de RCC

### Passo 1: modelando o projeto adotado em 3D

Para modelar o projeto arquitetônico selecionado neste trabalho, o nível de desenvolvimento 3D ou LOD 300 (*Level of Development*) foi aplicado, uma vez que, com esse nível, já é possível obter uma representação geométrica precisa para modelagem BIM. De acordo com Kim *et al.* (2017), valores com maior precisão podem ser obtidos a partir de uma modelagem que envolve maior LOD.

Dessa forma, foram inseridas na modelagem todas as informações geométricas e não geométricas pertencentes às famílias dos serviços definidos, bem como os dados característicos de cada um dos principais materiais de construção contidos no projeto em 2D (AutoCad). As imagens apresentadas na Figura 5 representam o projeto e seus respectivos serviços modelados em 3D por meio do software Revit.

### Passo 2: levantamento quantitativo de materiais via software

Após o desenvolvimento do modelo 3D, foram obtidas tabelas na modelagem BIM para cada material que compõe a família dos serviços de superestrutura, vedações, cobertura, revestimento argamassado e pisos, objetivando, assim, levantar as unidades de medida (volume, área, comprimento, peso, etc.) do material que se deseja quantificar. De acordo com Monteiro e Martins (2013), essa etapa é uma das principais no processo de construção, pois é a base para a obtenção de várias outras tarefas. A Figura 6 apresenta como exemplo o resultado do levantamento quantitativo do material (concreto-viga retangular: 0,15x0,40 m) gerado pela modelagem BIM.

Por limitação dos dados, o volume considerado foi apenas o dos materiais, e não o volume aparente (volume superficial real) de RCC, pelo fato de ser uma estimativa para a etapa de projeto. O volume aparente refere-se à situação do resíduo com separação por classe, conforme a Resolução Conama nº 307 (CONSELHO..., 2002).

Figura 5 - Corte modelado em 3D

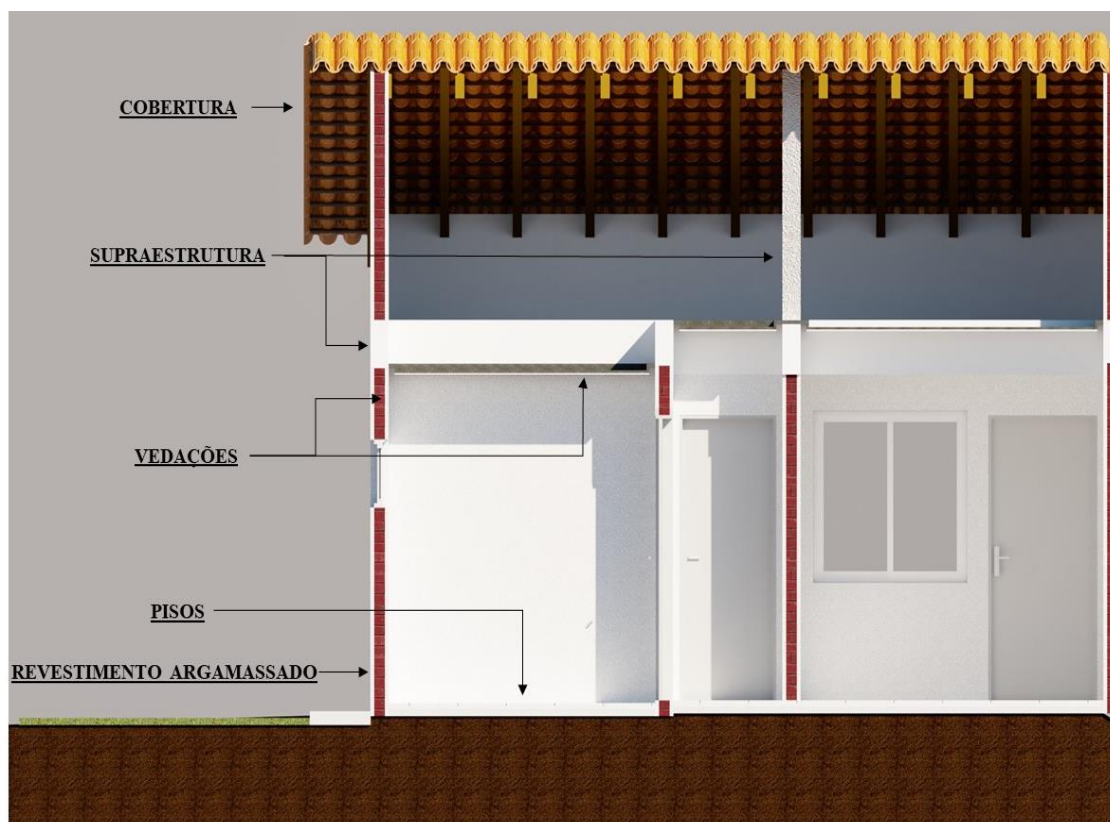
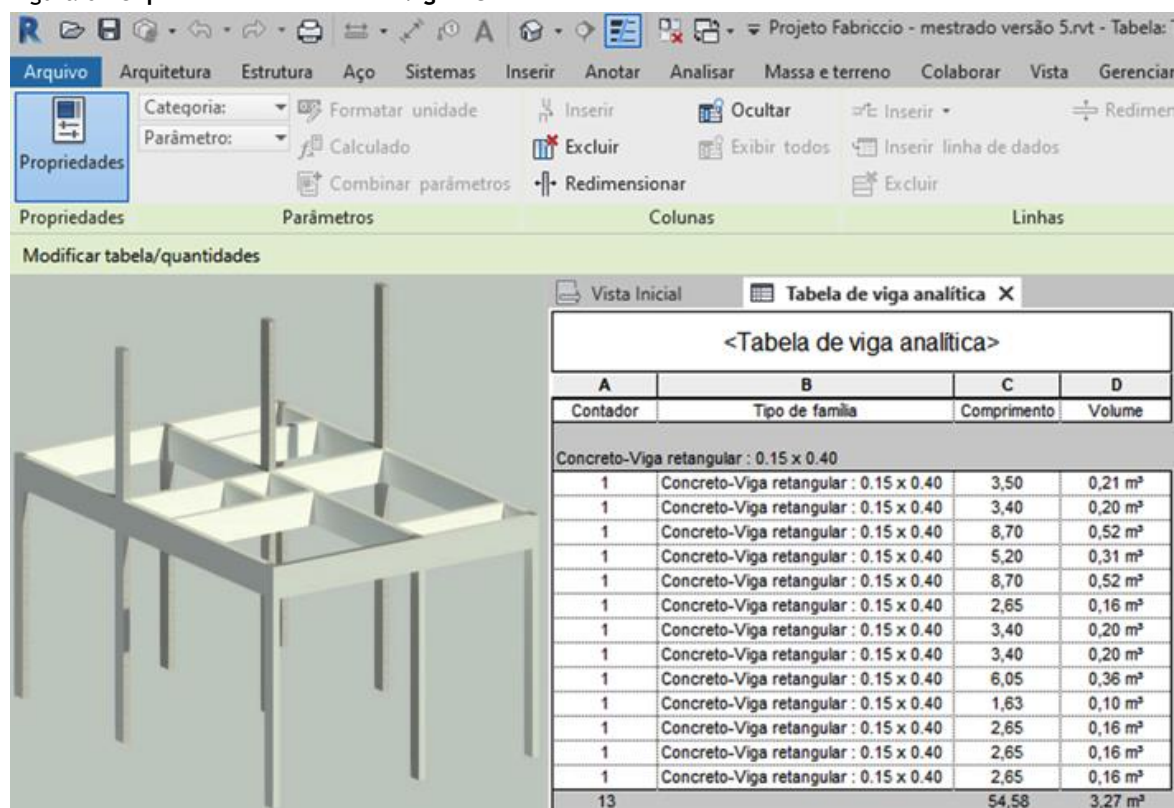


Figura 6 - Superestrutura - Família Viga - Concreto



### Passo 3: estimativa de RCC por tipo de material

O sistema integrado de classificação por tipo de RCC proposto neste trabalho serviu como base para alcançar a estimativa de resíduos. Assim, ao inserir as informações sobre a classificação, conforme a Resolução Conama nº 307 (CONSELHO..., 2002), e os valores médios dos índices de perdas de cada material, a modelagem BIM gerou automaticamente as estimativas de RCC por tipo de material e classe. Estimativas automatizadas, rápidas e precisas também podem ser observadas nos estudos desenvolvidos por Kim *et al.* (2017) e Cheng e Ma (2013), apesar de voltados para a estimativa de RCC na fase de demolição. Ambos usam estratégias semelhantes às desenvolvidas neste trabalho.

Para possibilitar melhor entendimento sobre o processo de estimativa de RCC, foi apresentado na Figura 6 o resultado da modelagem realizada para o material (concreto-viga retangular: 0,15x0,40 m).

A estimativa de RCC encontrada pela modelagem BIM para uma unidade habitacional com 54,88 m² de área construída foi de 7,67 m³, 10% dos quais compõem a classe B, e 90%, a classe A. Os resultados também revelaram que a argamassa foi o material com o maior potencial a ser desperdiçado, chegando a 56% em relação à estimativa total de um empreendimento. As estimativas do volume de resíduos gerado pelo modelo estão descritas na Tabela 2.

### Passo 4: estimativa de custo de retirada do RCC

Antes de estimar o custo de retirada dos RCC na modelagem BIM, a quantidade de resíduos estimados na modelagem dos materiais como aço (kg), parede (m) e telhado (m) foi convertida para metro cúbico, devido à taxa de retirada utilizada pela maioria das empresas no Brasil, que é cobrada em volume. Esse procedimento de aplicação da taxa de cobrança para descarte de resíduos através de um modelo BIM também pode ser observado no trabalho de Cheng *et al.* (2013). Os resultados da conversão dos materiais podem ser visualizados na Tabela 3.

Após a conversão das unidades de medidas, foi realizada uma pesquisa de mercado em três empresas que trabalham com a coleta de RCC e que se encontram devidamente cadastradas e credenciadas pelos órgãos competentes, objetivando-se conhecer o custo de retirada do resíduo de construção civil, pois, como está sendo calculado o volume potencial de geração de resíduos da obra na fase de projeto, não foi possível

definir outros elementos que compõem o custo de disposição devido à indefinição por parte da construtora de como ocorrerá o transporte interno dos resíduos.

Ambas as empresas pesquisadas trabalham com alugueis de caçambas estacionárias com capacidade para 5 m<sup>3</sup> de RCC e cobram uma taxa de R\$ 250,00 por retirada, o que equivale a um custo de retirada de R\$ 50,00 por metro cúbico. A taxa encontrada foi inserida na modelagem e gerou automaticamente os custos estimados de retirada de RCC de cada material (Figura 7).

O resultado do modelo demonstra (Tabela 4) o valor de R\$ 383,68, referente à somatória de todos os custos de retirada dos RCC por tipo gerados na modelagem BIM para uma unidade habitacional. O custo total de retirada para vinte unidades do empreendimento foi de R\$ 7.673,60. Esse valor é referente à estimativa total de 153,48 m<sup>3</sup> de RCC calculados na modelagem.

Tabela 2 - Resumo da estimativa de RCC por tipo de material

Serviço	Classe RCC	Família e tipo	Comprimento (m)	M.N. (kg/m)	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	MIE	Est. RCC	Unid.	
Superestrutura	A	Concreto-viga retangular: 0,15x0,40 m	54,580			0,060	3,270	0,294	0,961	m	
		Concreto-coluna retangular: 0,15x0,30 m	32,520			0,045	1,460	0,294	0,429	m	
	B	Estribo 5 mm CA-60 estribo - coluna	451,520	0,154	69,534				0,174	12,099	kg
		Estribo 5 mm CA-60 estribo - viga									
		Barra de aço 8 mm CA-60 - coluna	356,190	0,395	140,695			0,174	24,481	kg	
		Barra de aço 8 mm CA-60 - viga									
Vedações	A	Parede de tijolo 9x19x24 cm	66,400			133,220		0,160	21,315	m	
		Argamassa/Parede de tijolo				133,220	1,060	0,475	0,504	m	
	B	Forro Gesso: plano 0,03 - H 2,80				50,830	1,510	0,134	0,202	m	
Cobertura	B	Viga central madeira 25x12 cm	6,600			0,030	0,200	0,633	0,127	m	
		Madeira de lei: 2,5x5 cm ripa madeira	209,820			0,001	0,260	0,633	0,170	m	
		Madeira de lei: 6x12 cm viga madeira	52,940			0,007	0,380	0,633	0,241	m	
	A	Telhado básico: telha colonial				69,390		0,100	6,939	m	
Revestimento	A	Chapisco 0,005 m externo	51,300			100,190	0,500	0,075	0,038	m	
		Chapisco 0,005 m interno	80,570			163,470	0,820	0,065	0,061	m	
		Reboco 0,025 m externo	54,590			103,270	2,580	0,362	0,935	m	
		Reboco 0,025 m interno	76,550			159,070	3,980	0,285	1,440	m	
Pisos	A	Argamassa de regularização (2 cm)				48,970	0,980	0,362	0,355	m	
		Argamassa para piso (2,5 cm)				48,970	1,220	0,901	1,099	m	
		Piso (2 cm) - cerâmica externo				48,970	0,980	0,117	0,115	m	

Tabela 3 - Conversão de materiais para metro cúbico

Família e tipo	Est. RCC	Unid.	Quant. /m <sup>2</sup>	Peso unit. kg	Σ peso kg	ρ kg/m <sup>3</sup>	Σ RCC m <sup>3</sup>
Estribo 5 mm CA-60 estribo – coluna	12,099	kg			36,580	7.800	0,005
Estribo 5 mm CA-60 estribo – viga							
Barra de aço 8 mm CA-60 – coluna	24,481	kg					
Barra de aço 8 mm CA-60 – viga							
Parede de tijolo 9x19x24 cm	21,32	m	426,31	3,1	1321,57	1.600	0,83
Telhado básico: telha colonial	6,94	m	231,48	1,5	347,21	2.000	0,174

Figura 7 - Custo de retirada, viga de concreto

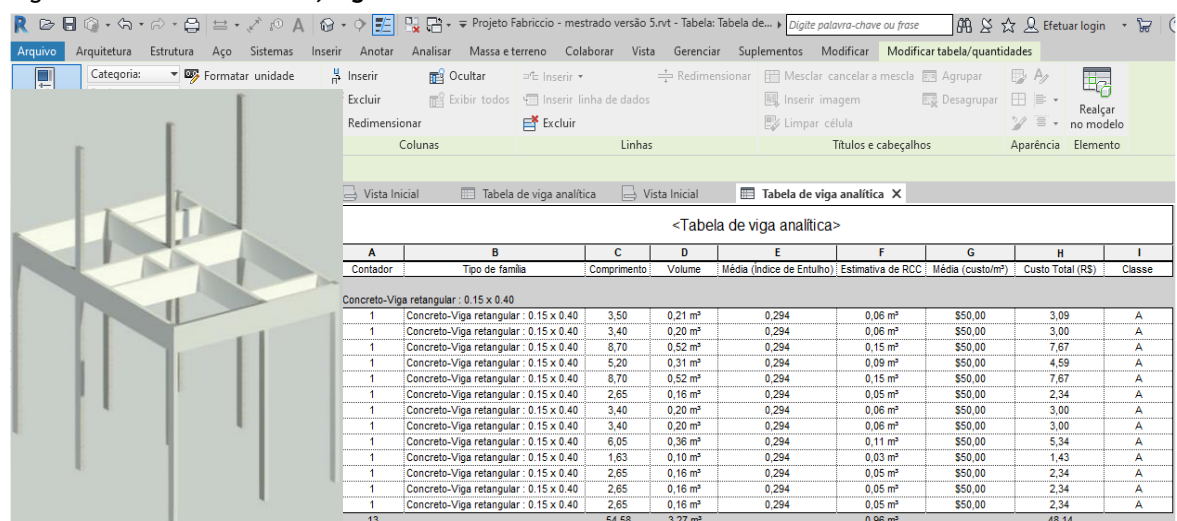


Tabela 4 - Resumo da estimativa de custo de retirada de RCC por tipo de material

Serviço	Classe RCC	Família e tipo	Est. RCC	Unid.	Quant. /m²	Σ Peso kg	ρ Kg/m³	Σ RCC m³	Deposição custo/m³ (R\$)	Deposição total R\$
Superestrutura	A	Concreto-viga retangular: 0,15x0,40 m	0,961	m				1,391	50	69,53
		Concreto-coluna retangular: 0,15x0,30 m	0,429	m						
	B	Estribo 5 mm CA-60 estribo - coluna	12,099	kg		36,580	7.800	0,005	50	0,23
		Estribo 5mm CA-60 estribo - viga								
		Barra de aço 8 mm CA-60 - coluna	24,481	kg						
Vedações	A	Parede básica: Parede de tijolo 9x19x24 cm	21,315	m	426,310	1321,570	1.600	0,830	50	41,50
		Parede básica: Argamassa/Parede de tijolo	0,504	m				0,500	50	25,00
	B	Forro Gesso: plano 0,03 - H 2,80	0,202	m				0,200	50	10,00
Cobertura	B	Viga central madeira 25 x 12cm	0,127	m				0,537	50	26,86
		Madeira de lei: 2,5x5 cm ripa madeira	0,170	m						
		Madeira de lei: 6x12 cm viga madeira	0,241	m						
A	Telhado básico: telha colonial	6,939	m	231,480	347,210	2.000	0,174	50	8,68	
Revestimento	A	Parede básica: chapisco 0,005 m externo	0,038	m				2,474	50	123,68
		Parede básica: chapisco 0,005 m interno	0,061	m						
		Parede básica: reboco 0,025 m externo	0,935	m						
		Parede básica: reboco 0,025 m Interno	1,440	m						
Pisos	A	Piso: argamassa de regularização (2 cm)	0,355	m				1,454	50	72,70
		Piso: argamassa para piso (2,5 cm)	1,099	m						
		Piso: Piso (2 cm) - cerâmica externo	0,115	m						
<b>TOTAIS</b>								<b>7,674</b>		<b>383,68</b>

Por fim, a modelagem BIM proposta para este trabalho possibilitou estimar a quantidade e o custo de retirada dos RCC para os materiais considerados representativos dentro do projeto de estudo.

A viabilidade da aquisição de resultados como os obtidos nesta pesquisa utilizando a ferramenta BIM poderá servir de base às empresas no desenvolvimento de estratégias que visem à minimização da geração de resíduos. Além disso, poderá auxiliá-las na elaboração do PGRCC de um projeto no que se refere à caracterização, ao gerenciamento e à redução dos RCC, de forma a minimizar os impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil.

Mercader-Moyano *et al.* (2017) utilizaram a ferramenta BIM em seus estudos e, apesar de adotarem um método diferenciado para a quantificação dos resíduos gerados na fase de projeto, as percepções registradas estão em consonância com as descritas neste trabalho.

Vale destacar que este trabalho é pioneiro no que se refere à amostragem na fase de projeto voltado à quantificação de resíduos de construção na fase de projetos via modelagem BIM, o que limita a avaliação dos resultados alcançados.

## Conclusão

O presente estudo propôs um modelo para estimar o RCC e o custo de retirada de cada um dos RCC identificados por meio da modelagem BIM, ao considerar indicadores de entulho por tipo de material, volume de resíduo estimado, etapa da obra e classificação da Resolução Conama nº 307.

Os dados relacionados aos índices de entulho, levantamento quantitativo e custo de retirada aplicados pelas empresas responsáveis pela coleta dos RCC foram integrados na modelagem BIM para a realização de simulações, gerando estimativas de RCC por tipo de material e custo de retirada. Os resultados obtidos para uma unidade habitacional foram 7,65 m<sup>3</sup> de RCC a um custo de retirada de R\$ 382,78, e para vinte unidades habitacionais, 153 m<sup>3</sup> de RCC a um custo de R\$ 7.655,60. Apresentou-se também como resultado para uma habitação que 10% da estimativa de RCC pertence à classe B, e 90%, à classe A, sendo a argamassa o material com maior potencial de desperdício, com 56% em relação à estimativa total do empreendimento.

O modelo proposto atendeu ao objetivo, mas com limitações, uma vez que apresentou desafios a serem superados pela modelagem, tais como a estimativa de RCC neste estudo, que considerou apenas o volume dos materiais, e não o volume aparente (volume superficial real) de RCC. Portanto, o presente estudo apresenta como uma limitação o fato de que não reflete o resíduo que não teve separação por classe, conforme a Resolução Conama nº 307, bem como não pode ser contemplada a fase de demolição, por não considerar o fator de empolamento e a densidade do material.

A modelagem BIM proposta para este trabalho também pode ser aperfeiçoada por meio da utilização de um LOD mais elevado e de um sistema na plataforma Autodesk Revit, o que aprimoraria o uso das informações armazenadas nos modelos digitais de informações de construção e geraria estimativas de resíduos mais automatizadas, rápidas e precisas.

A contribuição técnica do artigo consistiu em simplificar o processo de caracterização do PGRCC, ao criar uma metodologia de modelagem para prever a estimativa de RCC por tipo de material e o custo de sua retirada de um empreendimento residencial quando da concepção do projeto de edificações residenciais unifamiliares. Em termos científicos, o artigo contribuiu com o preenchimento de uma lacuna de conhecimento ao sugerir um modelo baseado em software para possibilitar de modo simplificado, ainda na fase de elaboração de projeto, a estimativa da quantidade de resíduos a ser gerados em uma edificação para a melhoria do processo produtivo com redução de RCC.

Sugere-se para trabalhos futuros aplicar o modelo proposto de acordo com as particularidades e especificidades da edificação, em termos de características e tipos de resíduos sólidos gerados; ampliar a base de dados de índices de entulhos e separar por tipologia de edificações; e aperfeiçoar o modelo, seja utilizando outro software de modelagem BIM, seja adicionando fatores de ajustes à modelagem ao inserir o fator de empolamento e a densidade do material, assim como a forma de avaliação de medidas e da vida útil do projeto.



## Referências

- ADJEI, S. D. **Review of waste management in the UK construction industry**. Wolverhampton, 2016. 386 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência) – University of Wolverhampton, Wolverhampton, 2016.
- AL-ASHMORI, Y. *et al.* BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 10, p. 10-16, 2020.
- ANDRADE, A. C. *et al.* Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., São Paulo, 2001. **Anais [...]** São Paulo: Ibracon, 2001.
- ASDRUBALI, F.; D’ALESSANDRO, F.; SCHIAVONI, S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 1-17, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017>. Acesso em: 18 ago. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 21 nov. 2018.
- BRUNDTLAND, G. Report of the World Commission on Environment and Development: our common future. **United Nations**, p. 1-247, 1987.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Construction resources and waste roadmap: a roadmap is a tool that helps us visualis... **Prevention**, Reino Unido, p. 1-8, 2008. Disponível em: [https://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/rpts/waste/Roadmap\\_8-page\\_low-res-1.pdf](https://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/rpts/waste/Roadmap_8-page_low-res-1.pdf). Acesso em: 08 maio 2019.
- CASH, G. **BIM (Building Information Modelling) utilisation to achieve resource efficiency in construction**: Leeds Arena. Acesso em: [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Leeds\\_Arena\\_FINAL.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Leeds_Arena_FINAL.pdf). Acesso em: 18 jan. 2019.
- CHENG, J. C. P.; MA, L. Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, v. 33, n. 6, p. 1539-1551, 2013.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. D. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 8., Porto Alegre, 2011. **Anais [...]** Porto Alegre, 2011.
- CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Materiais, componentes e a construção sustentável**. São Paulo, ago. 2009.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002**, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002.
- COSTA, N. A. A. **A reciclagem do resíduo da construção e demolição**: uma aplicação da análise multivariada. Florianópolis, 2010. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- DEL RÍO MERINO, M.; GRACIA, P. I.; AZEVEDO, I. S. W. Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 2, p. 118-129, 2010.
- DENG, Y. *et al.* Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 4, p. 04019016, 2019
- EASTMAN, C. *et al.* **BIM handbook**: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- ENSHASSI, A. Materials control and waste on building sites. **Building Research and Information**, v. 24, n. 1, p. 31-34, jan. 1996.

ESPINELLI, U. A gestão do consumo de materiais como instrumento para a redução da geração de resíduos nos canteiros de obras. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – AVANÇOS E DESAFIOS, São Paulo, 2005. **Anais [...]** São Paulo, 2005.

FORMOSO, C. T. **As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor.** Porto Alegre: UFRGS/NORIE, 1998.

GE, X. J *et al.* Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study. **Visualization in Engineering**. v. 5, p. 1-15 p. 13, 2017.

HAFLIGER, I. F. *et al.* Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 805-816, 2017.

HILL, R. C.; BOWEN, P. A. Sustainable construction: principles and a framework for attainment. **Construction Management and Economics**, v. 15, n. 3, p. 223-239, 1997.

HOBBS, G.; ADAMS, K.; BLACKWELL, M. Understanding and predicting construction waste. In: THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-WASTE AND RESOURCE MANAGEMENT, London, 2011. **Proceedings [...]** London, 2011.

HONG KONG POLYTECHNIC. Department of Building and Real Estate. **Reduction of Construction Waste.** Final Report. Hong Kong, 1993.

HUISINGH, D. *et al.* Recent advances in carbon emissions reduction: Policies, technologies, monitoring, assessment and modeling. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, n. 2015, p. 1-12, 2015.

JALALI, S. Quantification of construction waste amount. In: INTERNATIONAL TECHNICAL CONFERENCE OF WASTE, 6., Viseu, 2007. **Proceedings [...]** Portugal: Universidade do Minho, 2007.

KERN, A. P.; DIAS, M. F.; KULAKOWSKI, M. P. Waste generated in high-rise buildings construction: a quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, v. 39, p. 35-44, 2015.

KIBERT, C. J. Establishing principles and a Model for Sustainable Construction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF CIB TG 16 ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION, 1., Tampa, 1994. **Proceedings [...]** Tampa, 1994.

KIM, Y. C. *et al.* An estimation framework for building information modeling (BIM)-based demolition waste by type. **Waste Management & Research**, v. 35, p. 1285-1295, 2017.

LAGE, I. M. *et al.* Estimation of the annual production and composition of C&D Debris in Galicia (Spain). **Waste Management**, v. 30, n. 4, p. 636-645, 2010.

LAGÜELA, S. *et al.* Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy rehabilitation purposes. **Automation in Construction**, v. 31, p. 230-240, 2013.

LEWIS, M.; CONATY, P. **The resilience imperative: cooperative transitions to a steady-state economy.** Gabriola Island: New Society, 2012.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil.** Paraná: CREA-PR, 2009.

LIU, H. *et al.* BIM-based automated design and planning for boarding of light-frame residential buildings. **Automation in Construction**, v. 89, p. 235-249, 2018.

LIU, Z. *et al.* A BIM-aided construction waste minimisation framework. **Automation in Construction**, v. 59, p. 1-23, 2015.

LIU, Z. *et al.* The potential use of BIM to aid construction waste minimalisation. In: CIB W78-W102, Sophia Antipolis, 2011. **Proceedings [...]** Sophia Antipolis, 2011.

LU, W. *et al.* Computational Building Information Modelling for construction waste management: moving from rhetoric to reality. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 587-595, 2017.

LU, W.; YUAN, H. A framework for understanding waste management studies in construction. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1252-1260, 2011.

MAH, C. M.; FUJIWARA, T.; HO, C. S. Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia. **Waste Management & Research**, v. 34, p. 1224-1230, 2016.

- MCDONALD, B.; SMITHERS, M. Implementing a waste management plan during the construction phase of a project: a case study. **Construction Management and Economics Information**, v. 16, n. 4, p. 71-8, 1998.
- MCKECHNIE, E.; BROWN, E. **Achieving effective waste minimisation through design**: guidance for construction clients, design teams and contractors. Oxon, Ed. Waste & Resources Action Programme, 2007.
- MEDEIROS, L. M.; DUARTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 365-385, abr./jun. 2018.
- MERCADER-MOYANO, P. *et al.* Sistema BIM de cuantificación automática de los residuos de construcción y demolición. Método de transferencias ponderadas de la medición. **Estudios del Hábitat**, v. 15, p. 1-9, 2017.
- MINISTRY OF ENVIRONMENT OF THE REPUBLIC OF KOREA 2014. **Korea's National Biodiversity Strategy**. Korea: BIP/SCBD, 2018.
- MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. **Automation in Construction**, v. 35, p. 238-253, 2013.
- NUNES, K. R. A. *et al.* Market analyse and demand estimate of construction and demolition waste: the case study of the municipality of Rio de Janeiro. In: INTERNATIONAL CONFERENCE "WASTE ENVIRONMENTAL GEOTECHNOLOGY AND GLOBAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT", 2007. **Proceedings [...]** 2007.
- O'REILLY, A. Using BIM as a tool for cutting construction waste at source. **Construction Research and Innovation**, v. 3, n. 1, p. 28-31, 2017.
- OFORI, G. Sustainable construction: principles and a framework for attainment: comment. **Construction Management and Economics**, v. 16, n. 2, p. 141-145, 1998.
- OLIVEIRA, D. F. *et al.* Conjuntura atual da gestão de resíduos sólidos de construção civil. In: SOUZA, A. A. P. *et al.* (org.). **Sinal verde**: gestão ambiental: a experiência do CEGAMI. Campina Grande: EDUEP, 2007.
- OSSA, A.; J. L.; GARCÍA; E. B. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: a sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 379-386, 2016.
- PARK, J. W. *et al.* A study on the establishment of demolition waste DBSystem by BIM-based building materials. **Applied Mechanics and Materials**, p. 522-524, p. 806-810, 2014.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- PORWAL, A.; KASUN, N.; HEWAGE, K. N. Building information modeling based analysis to minimize waste rate of structural reinforcement. **American Society of Civil Engineers**, v. 138, n. 8, p. 943-954, 2012.
- RAZAVI, S. N.; HAAS, C. T. Multisensor data fusion for on-site materials tracking in construction. **Automation in Construction**, v. 19, n. 8, p. 1037-1046, 2010.
- ROCKSTOM, J. *et al.* Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society**, v. 14, n. 2, 2009.
- SANTOS, A. **Método de intervenção em obras de edificações enfocando o sistema de movimentação e armazenamento de materiais**: um estudo de caso. Porto Alegre, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- SHEN, W.; HAO, Q.; XUE, Y. A loosely coupled system integration approach for decision support in facility management and maintenance. **Automation in Construction**, v. 25, p. 41-48, 2012.
- SKOYLES, E. R. Materials wastage: a missure of resources. **Building Research and Practice**, p. 232-243, jul./ago. 1976.
- SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações**: sua incidência e controle. Porto Alegre, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

- SOLÍS-GUZMÁN, J. *et al.* A spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, v. 29, n. 9, p. 2542-2548, 2009.
- SONG, Y. *et al.* Development of a hybrid model to predict construction and demolition waste: China as a case study. **Waste Management**, v. 59, p. 350-361, 2017.
- TABELAS de composição de preços para orçamentos. 14. ed. São Paulo: PINI, 2012.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Annual Report. **Parkinsonism & Related Disorders**, v. 21, n. 5, p. 430, 2015.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Buildings and their Impact on the Environment**: a Statistical Summary. p. 1-8, 2019.
- WANG, J. *et al.* A BIM-based approach for automated tower crane layout planning. **Automation in Construction**, v. 59, p. 168-178, 2015.
- WEI, H. *et al.* BIM based method calculation of auxiliary materials required in housing construction. **Automation in Construction**, v. 78, p. 62-82, 2017.
- WOLSTENHOLME, A. *et al.* **Never waste a good crisis**: a review of progress since Rethinking Construction and thoughts for our future. London: Constructing Excellence, 2009.
- WON, J.; CHENG, J. C. P.; LEE, G. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: case studies in South Korea. **Waste Management**, v. 49, p. 170-180, 2016.
- WU, Z. *et al.* Quantifying construction and demolition waste: an analytical review. **Waste Management**, v. 34, p. 1683-1692, 2014.
- ZOU, P. X. W.; COUANI, P. Managing risks in green building supply chain. **Architectural Engineering & Design Management**, v. 8, p. 143-158, 2012.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) - Código de Financiamento 001.

### Fabriccio de Almeida Oliveira

Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal do Pará | Rua Augusto Corrêa, 1, Bairro Guamá | Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto | Belém - PA - Brasil | CEP 66075-110 | Tel.: (91) 3201-7254 | E-mail: fabriccio@ufpa.br

### Luiz Maurício Furtado Maués

Faculdade de Engenharia Civil | Universidade Federal do Pará | E-mail: maues@ufpa.br

### Carolina Caldas Neves Rosa

Universidade Federal do Pará | Rua Augusto Corrêa, 01, Bairro Guamá | E-mail: carolcaldasn30@gmail.com

### Débora Gois Santos

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Sergipe | Av. Marechal Rondon, s/n | Jardim Rosa Elze, Campus Universitário Prof. José Aloísio de Campos | Aracaju - SE - Brasil | CEP 49048-010 | Tel.: (79) 3194-6700 | E-mail: deboragois@yahoo.com.br

### Renato de Melo Seixas

Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal do Pará | E-mail: seixasrenato@hotmail.com

### **Ambiente Construído**

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.