

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BRUNNO PEREIRA BARROS
HUGO DEMAY HOCHLEITNER

**CRIAÇÃO DE UM PLUG-IN ALIADO À TECNOLOGIA BIM PARA
QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO EM UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2017

BRUNNO PEREIRA BARROS
HUGO DEMAY HOCHLEITNER

**CRIAÇÃO DE UM PLUG-IN ALIADO À TECNOLOGIA BIM PARA
QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO EM UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de TCC 2, do Curso Superior de Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Curitiba, sede Ecoville, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA
2017



Ministério da Educação

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Campus Curitiba – Sede Ecoville

Departamento Acadêmico de Construção Civil

Curso de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

CRIAÇÃO DE UM PLUG-IN ALIADO À TECNOLOGIA BIM PARA QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

Por

Brunno Pereira Barros e Hugo Demay Hochleitner

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 26 de junho de 2017, pela seguinte banca de avaliação:

André Nagalli, Dr.
Orientador
UTFPR

Luna Ollin Steffen de Oliveira, Bela.
UTFPR

Profa. Vanessa R. Nahhas Scandelari, Dra.
UTFPR

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 4900 - Curitiba - PR Brasil
www.utfpr.edu.br dacoc-ct@utfpr.edu.br telefone DACOC: (041) 3279-4500

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

RESUMO

BARROS, B. P.; HOCHLEITNER, H. D. **Criação de um plug-in aliado a tecnologia BIM para quantificação de resíduos de construção em uma habitação unifamiliar.** 2017. 78 pp. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

Apresenta-se neste trabalho a criação de um plug-in no software BIM, Autodesk Revit®, com a função de auxiliar no gerenciamento de resíduos. Com o desenvolvimento do Plug-in utilizando a plataforma BIM, referência em modelagem 3D, possibilita-se iniciar o estudo da geração de resíduos ao mesmo tempo em que é desenvolvido o projeto de uma edificação. A praticidade em conjunto com a tecnologia é o diferencial deste modelo, que proporciona a aplicação de um índice de geração de resíduos para cada material. Este índice é adicionado ao Software BIM como um novo parâmetro. Seu valor pode ser alterado por cada usuário, levando em conta fatores regionais como, qualidade de mão de obra, métodos construtivos e gerenciamento de processos. Como estratégia de pesquisa, aplicou-se o plug-in ao projeto de uma habitação unifamiliar. A partir do modelo 3D e Plug-in criados foi possível gerar resultados discriminados da geração de resíduos na residência, fazendo-se a separação dos resíduos de acordo com sua classe de agressividade ao meio ambiente. A validação do método foi realizada, com base no método de Solís-Guzmán *et al.* (2009). Concluiu-se que este método, baseado no consumo aparente de materiais por metro quadrado, pode gerar distorções nos resultados comparado à utilização do método BIM, que utiliza o volume real de materiais empregados no projeto. Atribui-se tal diferença a fatores regionais e de produção, que podem ter sua influência reduzida com o uso do Plug-in criado.

Palavra Chave: BIM. Autodesk Revit®. Resíduos. Plug-in.

ABSTRACT

BARROS, B. P.; HOCHLEITNER, H. D. **Creation of a plug-in allied to BIM technology for quantification of construction waste in a single-family habitation**. 2017. 78 pp. Final Course Assignment (Bachelor of Civil Engineering) – Federal University of Technology - Paraná, 2017.

This paper presents the creation of a plug-in in BIM software, Autodesk Revit®, with the function of assisting in waste management. With the development of the Plug-in using the BIM platform, reference in 3D modeling, it is possible to start the study of the generation of waste while the design of a building is developed. Practicality in conjunction with technology is the differential of this model, which provides the application of a waste generation index for each material. This index is added to the BIM Software as a new parameter. Its value can be changed by each user, considering regional factors such as labor quality, construction methods and process management. As research strategy, the plug-in was applied to a single-family housing project. From the 3D model and Plug-in created it was possible to generate discriminated results of the generation of residues in the residence, making the separation of the residues according to their class of aggressiveness to the environment. The validation of the method was performed, based on the method of Solís-Guzmán *et al.* (2009). It was concluded that this method, based on the apparent consumption of materials per square meter, can generate distortions in the results compared to the use of the BIM method, which uses the actual volume of materials used in the project. The distortion is related to regional and production factors, which may have their influence reduced with the use of the plug-in created.

Key words: BIM. Autodesk Revit®. Waste. Plug-in.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – METODOLOGIAS PARA ESTIMAR RCD DE ACORDO COM O OBJETIVO E INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS. RC = RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO; RD = RESÍDUO DE DEMOLIÇÃO; NR = NÍVEL REGIONAL; NP = NÍVEL DE PROJETO.	22
FIGURA 2 – FUNCIONALIDADE BIM DE LEITURA DE CÓDIGO DE BARRAS.....	23
FIGURA 3 – CAOS DE INFORMAÇÃO (CAD) E INFORMAÇÕES COMPARTILHADAS(BIM)	25
FIGURA 4 – CASOS DE USOS DE BIM MAIS COMUNS NO BRASIL	29
FIGURA 5 – OS PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DA ADOÇÃO DO BIM NAS MACROFASES DE UM EMPREENDIMENTO.....	30
FIGURA 6 – OBJETO DE ESTUDO - RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.....	32
FIGURA 7 – FLUXO DE INFORMAÇÕES	33
FIGURA 8 – PROGRAMAÇÃO VISUAL COM A UTILIZAÇÃO DE NODES	34
FIGURA 9 – ALGUNS ÍCONES IMPLEMENTADOS PELO VISUAL STUDIO.....	35
FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UM PILAR COM ARMADURAS NO REVIT.....	36
FIGURA 11 – REPRESENTAÇÃO DE PAREDES, JANELAS, PORTAS E PISOS NO REVIT.....	37
FIGURA 12 – TELA PRINCIPAL DO VISUAL STUDIO	38
FIGURA 13 – TELA DO REVIT COM O MENU E BOTÕES DE RESÍDUOS.....	40
FIGURA 14 – PLANTA E MODELO RESIDENCIAL	41
FIGURA 15 – MENU "RESÍDUOS" E BOTÕES DE ÍNDICES	42
FIGURA 16 – INSERÇÃO DO ÍNDICE DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS	42
FIGURA 17 – ESTRUTURA ANALÍTICA NO DYNAMO	43
FIGURA 18 – RESULTADOS GERADOS NO EXCEL ATRAVÉS DO DYNAMO	44
FIGURA 19 – PLANTA RESIDENCIAL FINAL NO REVIT	50
FIGURA 20 – MODELO ESTRUTURAL EM REVIT.....	50
FIGURA 21 – MODELO ARQUITETÔNICO EM REVIT.....	50
FIGURA 22 – TELA DO REVIT COM MENU E BOTÕES INSERIDOS	51
FIGURA 23 – BOTÃO DO DYNAMO DENTRO DO REVIT	51
FIGURA 24 – TELA INICIAL DO DYNAMO	52

FIGURA 25 – SELECIONANDO O ARQUIVO "REVIT TO EXCEL.DYN"	52
FIGURA 26 – BOTÃO "EXECUTAR" NO DYNAMO	53
FIGURA 27 – EXCEL "REVIT TO EXCEL.XLSX" GERADO PELO DYNAMO.....	53
FIGURA 28 – EXCEL "DASHBOARD"	54
FIGURA 29 – REFINAMENTO DE DADOS NO EXCEL	55

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CAUSAS DA GERAÇÃO DE RESÍDUO NA CONSTRUÇÃO CIVIL...	12
QUADRO 2 – PRINCIPAIS EMPRESAS DESENVOLVEDORAS DE SOFTWARES BIM.....	24
QUADRO 3 – CARACTERÍSTICAS DO BIM E SUAS DESCRIÇÕES.....	26
QUADRO 4 – USO DE FERRAMENTAS E MÉTODOS PREVENTIVOS NO CICLO DE VIDA DO PROJETO CONSTRUTIVO.....	27

LISTA DE GRÁFICOS E INFOGRÁFICOS

GRÁFICO 1 – PERCENTUAL RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NO PAÍS	10
GRÁFICO 2 – QUANTITATIVO DO TOTAL CONSTRUÍDO E DOS RESÍDUOS GERADOS	56
GRÁFICO 3 – VOLUME CONSTRUÍDO E VOLUME DE RESÍDUOS GERADOS ...	56
INFOGRÁFICO 1 – QUANTIDADE TOTAL DE CAÇAMBAS.....	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – QUANTIDADE DE RCD DE ACORDO COM ESTUDOS ANTERIORES	9
TABELA 2 – EXEMPLO DA TABELA FINAL PELO MÉTODO DE SOLIS.....	46
TABELA 3 – DIMENSÕES MÍNIMAS DOS COMPARTIMENTOS USOS HABITACIONAIS.....	48
TABELA 4 – ÁREAS DA RESIDÊNCIA.....	49
TABELA 5 – QUANTIDADE TOTAL CONSTRUÍDO E DE RESÍDUO	55
TABELA 6 – TABELA FINAL PELO MÉTODO DE SÓLIS-GUZMÁN	58
TABELA 7 – QUANTIDADE TOTAL CONSTRUÍDA E RESÍDUO GERADO	59
TABELA 8 – COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DO BIM E SOLÍS-GUZMÁN	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	<i>Application Programming Interface</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i> - Modelo de Informação da Construção
CAD	<i>Computer-Aid Design</i> – Desenho assistido por computador
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
C&D	Construção e Demolição
EAP	Estrutura Analítica de Projetos
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – Planejamento de recursos empresariais
IGR	Índice de Geração de Resíduo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
NBR	Norma Brasileira
PROMGER	Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 OBJETIVO GERAL	7
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.3 JUSTIFICATIVA	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO.....	9
2.1.1 Definição	9
2.1.2 Classificação	10
2.1.3 Geração.....	11
2.1.4 Reciclagem.....	13
2.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM ÂMBITO REGIONAL E NACIONAL	14
2.2.1 Quantificação baseada no valor financeiro de atividades do setor de RCD.....	15
2.2.2 Quantificação baseada no ciclo de vida do material	16
2.2.3 Quantificação baseada no metro quadrado de área construída.....	16
2.3 MÉTODOS ESTIMATIVOS DE RCD PARA OBRAS	18
2.3.1 Quantificação baseada na área construída	18
2.3.2 Quantificação baseada na ocupação física do espaço	19
2.3.3 Modelo espanhol e europeu	19
2.3.4 <i>Software SMART-WASTE</i>	20
2.4 LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DE RCD APRESENTADOS.....	21
2.5 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).....	24
2.5.1 Desenvolvimento de recursos com Plug-in	30
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
3.1 OBJETO DE ESTUDO	32
3.2 PROGRAMAS UTILIZADOS	33
3.2.1 Autodesk Revit	33
3.2.2 Dynamo.....	34
3.2.3 Visual Studio	35
3.2.4 Microsoft Excel	35
3.3 MODELAGEM	36
3.3.1. Estrutural	36
3.3.2. Arquitetônico	36
3.4 DESENVOLVIMENTO DO PLUG-IN.....	37
3.4.1. Criação do plug-in básico e Índice de Geração de Resíduos (IGR).....	37
3.4.1.1 Manifesto Addin.....	39
3.4.2 Criação de Menus e botões.....	40
3.5 DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE RESÍDUOS	41
3.6 VALIDAÇÃO DO PLUG-IN	45
3.6.1 Índices de geração de Resíduos	45
3.6.2 Utilização dos IGR's no modelo BIM e análise dos resultados.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 MODELO DE RESIDÊNCIA	48
4.2 PLUG-IN FINAL.....	51
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS BIM	55
4.4 VALIDAÇÃO DO PLUG-IN	58
5. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICES.....	69

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil gera entulho que abarca grande parte dos resíduos presentes nos lixões e aterros de um município. Esta volumosa geração de resíduos, somada a problemas administrativos referentes ao gerenciamento e destinação, ocasiona um grande impacto ambiental.

Na tentativa de frear o impacto ambiental e responsabilizar os culpados, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA publicou a Resolução nº 307/02. Esta resolução representou um grande avanço legal e técnico, designando ao gerador a responsabilidade pelo gerenciamento do próprio resíduo.

A importância deste ato, se dá pelo fato de que 61% (PINTO e GONZÁLEZ, 2005) dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas são resíduos da construção civil. Por sua vez, o setor apresentou um crescimento de 74,25% entre os anos de 1994 até 2013, segundo Júnior (2008), reforçando a necessidade de medidas assertivas por parte de órgãos regulamentadores.

A Resolução CONAMA nº 307/02 supracitada e a Lei nº 12.305/2010, também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos Brasileira, são as principais referências quanto ao tema. Estas normatizações auxiliam na redução de cerca de 31 milhões de toneladas de resíduos gerados pela construção civil anualmente, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012), diminuindo o impacto ambiental causado durante as últimas décadas.

Neste sentido, a construção de novos empreendimentos traz o desafio de conciliar a lucratividade e a sustentabilidade, estimulando o uso consciente dos resíduos sólidos da construção civil (RCC) e alcançando uma construção mais enxuta. Para isto, necessita-se não somente da fiscalização durante execução, mas também de investimentos em planejamento durante a fase de projeto.

Com o pré-planejamento de quantitativos e controle em obra é possível alcançar uma significativa redução dos RCC's e empregar novamente à obra cerca de 50% a 90% do material devidamente separado e reciclado, através de usinas fixas ou móveis de reciclagem (ANGULO, 2005). Os métodos tradicionais não utilizam o pré-planejamento, quantificando os resíduos somente após a geração em obra (CHENG e MA, 2013).

Sendo assim, a utilização de um *software* capaz de gerar dados sobre os rejeitos durante a fase de planejamento do projeto, pode fornecer um maior controle sobre o custo da obra, bem como permitir encontrar antecipadamente e de forma viável uma maneira de dispor corretamente todos os RCC's gerados durante a empreitada. Para que isso ocorra é necessária uma plataforma que, além de integrar os diversos projetos de uma construção, também execute cálculos fundamentais para o gerenciamento e controle da obra.

Como solução, a plataforma BIM - *Building Information Modeling* contorna a falta de comunicação entre os participantes envolvidos na elaboração da edificação, compatibilizando projetos (CHENG e WON, 2017). Desta forma, a plataforma permite uma melhor análise e controle, oferecendo suporte aos processos e fases durante todo o ciclo de vida da construção, inclusive acrescentando ferramentas para o controle da geração de resíduos na obra (LU et al., 2017).

1.1 OBJETIVO GERAL

Constitui-se objetivo principal desta pesquisa a criação de um plug-in que possibilite a quantificação de resíduos de construção civil, por meio do sistema BIM.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se atingir o escopo deste trabalho são necessários os seguintes pontos:

- Desenvolver um modelo residencial baseado na ABNT NBR 12721: 2005 (ASSOCIAÇÃO..., 2005), na plataforma BIM;
- Buscar na bibliografia índice de geração de resíduo para cada material empregado no projeto;
- Desenvolver um *plug-in* em linguagem computacional "C#" para inserção no *software* Autodesk Revit;

- Calcular as quantidades totais de resíduos e número de caçambas para remoção de resíduos inertes e não inertes;
- Validação do método utilizado, comparando com o modelo proposto por Solís-Guzmán *et al.* (2009);

1.3 JUSTIFICATIVA

A expansão da economia instiga a rivalidade entre empresas, estimulando o investimento nos processos de gestão e a busca do melhoramento da imagem empresarial que é passada à sociedade. Desta forma, a responsabilidade social e ambiental ganha destaque e se torna um diferencial no mercado empresarial (CHENG e MA, 2013; LU *et al.*, 2017).

No mercado atual, empresas diferenciadas realizam o controle e encaminhamento dos resíduos de forma ambientalmente correta, através do gerenciamento de RCD. Este gerenciamento, quando bem executado, pode gerar dados e facilitar a gestão de resíduos feita pelos órgãos públicos responsáveis.

Na gestão de resíduos os métodos existentes de avaliação e aferição dos RCC's possuem limitações com relação a necessidade de ferramentas específicas que integrem a fase de projeto com o controle da geração destes sólidos. Atualmente, as aferições de custos são realizadas após o acúmulo indesejado dos resíduos, através de respostas direcionadas à pontos individuais de um determinado processo.

Essa restrita quantidade de *softwares* voltados ao gerenciamento de resíduos, com foco na quantificação e diminuição dos custos de armazenamento, transporte e descarte desses rejeitos são razões para que o tema venha sendo amplamente discutido e estudado por alguns autores como Cheng *et al.* (2013), Cheng *et al.* (2015) e Lu *et al.* (2017).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO

2.1.1 Definição

Resíduo de construção e demolição (ou RCD) é aquele proveniente de novos empreendimentos, restaurações, renovações e demolições de prédios, bem como, estradas, pontes e qualquer outra infraestrutura, de todas as áreas da construção civil (POON *et al.*, 2001; COCHRAN *et al.*, 2007; CHENG e MA, 2013; KOFOWOROLA e GHEEWALA, 2009).

Estudos anteriores mencionam o percentual que estes resíduos representam no total de resíduos produzidos, a porcentagem varia de 20% a 57%, evidenciando o peso e a influência dos RCD's nos resíduos sólidos de uma localidade, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de RCD de Acordo com Estudos Anteriores

Fonte	Citado por	Localidade	Percentual de RCD
USEPD, 2009	Won <i>et al.</i> , 2016	Estados Unidos	26% do total de resíduos sólidos
Ferguson <i>et al.</i> , 1995	Kofoworola e Gheewala, 2009	Canadá	35% do total de resíduos em aterros
Ferguson <i>et al.</i> , 1995	Solís-Guzman <i>et al.</i> , 2009 Kofoworola e Gheewala, 2009	Reino Unido	50% do total de resíduos dos aterros
European Environmental Agency, 2007	Llatas, 2011	União Europeia	48% do total de resíduos
European Commission, 2013	Sáez <i>et al.</i> , 2015 Sáez <i>et al.</i> , 2014	Europa	30% do total de resíduos
Wong <i>et al.</i> , 2006	Li e Zhang, 2013	Hong Kong	30%-40% do total de resíduos
Japanese Ministry of Environment, 2010	Li <i>et al.</i> , 2016	Japão	20% do total de resíduos
CSACWUTI, 2015	Li <i>et al.</i> , 2016	China	Aprox. 40% do total de resíduos

Fonte	Citado por	Localidade	Percentual de RCD
Abrelpe, 2014		Brasil	Aprox. 57% do total de resíduos

A diferença entre os percentuais de geração de resíduos da Tabela 1 fica ainda mais clara com o Gráfico 1. Pode-se perceber que a taxa de geração no Brasil é bastante superior à dos outros países.

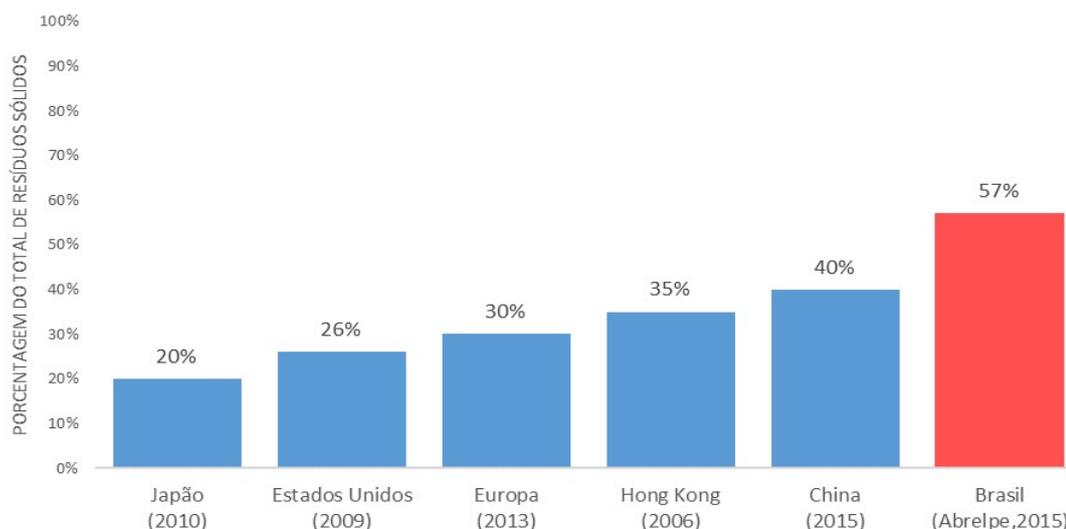


Gráfico 1 – Percentual resíduos de construção no País

A composição do RCD pode variar muito, sendo muito dependente das tecnologias construtivas aplicadas em cada empreendimento (POON *et al.*, 2001).

2.1.2 Classificação

No Brasil, é costumeiro adotar-se a classificação segundo a periculosidade do resíduo cujo padrão está previsto na ABNT NBR 10.004:2004 que classifica os resíduos em perigosos e não perigosos, inertes ou não-inertes, sendo que os resíduos inertes são menos poluentes para o meio ambiente se comparados aos resíduos não-inertes. Como exemplos de resíduos inertes podem-se citar o concreto, areia, blocos cerâmicos, solo, pedras e borracha. Já os resíduos não-inertes são metais, madeiras, plásticos e materiais orgânicos.

Segundo a Resolução CONAMA nº 348/04, Art. 3, atualização da resolução nº 307/02, os resíduos da construção civil deverão ser classificados em:

- Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados;
- Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, tais como, plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;
- Classe C: resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- Classe D: resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como, tintas, solventes, óleos, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, bem como, telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto.

Resíduos de classe A se destacam por representar cerca de 60% do volume total gerado, devem ser alocados para utilização ou reciclagem futura; os de classe B devem ser reutilizados ou reciclados podendo ser encaminhados à coleta seletiva municipal; os de classe C devem ser dispostos em aterros; os de classe D devem ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com normas técnicas específicas (IFC, 2015).

2.1.3 Geração

Em geral, há vários tipos de perdas em diferentes locais da construção civil como a perda de energia, tempo, força de trabalho e de material, no entanto, o excesso de desperdício de material é o principal fator que diz respeito ao aumento do custo (AHANKOOB *et al.*, 2012).

A falta de conhecimento sobre a geração de resíduos é uma causa notável na formação de resíduos dentro de uma obra. Em média, o desperdício em locais de construção está entre 5% a 10% do consumo total de material (AHANKOOB *et al.*, 2012). Em relação ao conhecimento sobre as causas da geração dos resíduos, o Quadro 1 contém alguns fatores fundamentais.

Causa	Sub Causa	Ações Corretivas
Clima	Redução no volume dos materiais	Evitar a colocação de materiais laváveis em terrenos inclinados e perto de ralos
	Decaimento ou deterioração de materiais devido ao clima	Construção adequada para armazenamento Plataforma elevada
Armazenamento irregular	—	Fornecer abrigo adequado
Falta de controle de qualidade	—	Fornecer um processo claro do sistema de monitoramento
	—	Fornecer lista de verificação antes da execução de cada atividade
Negligência do contratante	—	Tendo um regulador de problemas do trabalho e usando materiais com qualidades especificadas
Trabalhadores inexperientes	—	Empregar trabalhadores qualificados
	—	Prover treinamento
Roubo e perda	—	Fornecer segurança
	—	Controle do modo de obtenção de materiais armazenados
	—	Cercar a área construtiva
Mudança no projeto e nas especificações	—	Tentar reduzir mudanças e alterações no projeto ao tomar decisões corretas
Corte indevido do aço e do mau uso de diversos tipos de materiais	Duplo manuseamento de materiais	Preparar uma disposição correta de material
	Manuseio inadequado	Lidar cuidadosamente com o material frágil e considerar um método seguro de descarregamento de altas altitudes
	Planejamento inadequado do corte	Preparação de um planejamento correto Evitar cortes excessivos
Requisição	Encomendar em excesso	Encomendar lote com a necessidade
	Pedido perdido	Atribuir número do pedido e ordem do material
	Pedido errado	Confirmar com a especificação antes de encomendar

Quadro 1 – Causas da Geração de Resíduo na Construção Civil

Fonte: Traduzido de AHANKOOB et al. (2012, P.197).

Grande parte dos autores atribui o RCD às mudanças arquitetônicas já na fase construtiva, aos retrabalhos, à incompatibilidade de projetos, à especificação incorreta de materiais, à insuficiência de detalhamento de projetos e à erros de projeto, sejam eles simples ou grosseiros. Retrabalhos, oriundos de mudanças solicitadas pelo cliente, falta de comunicação da equipe ou, simplesmente, por erros construtivos, são grandes geradores de resíduos (LIU *et al.*, 2015; INNES, 2004). Estes resíduos influenciados por escolhas na fase de projeto, representam cerca de 33% do RCD (INNES, 2004).

Além disso, a falta de dados precisos quanto às quantidades, custos, impacto ambiental, etc. são um grande obstáculo para o correto planejamento de descarte de resíduos (ABDELHAMID, 2014). Isto ocorre devido as escolhas construtivas feitas na fase de projeto que visam a redução de resíduos e devem ser

baseadas em dados numéricos, e estes ainda são escassos, pois dependem de pesquisas regionais na área da construção. Ou seja, é necessário saber quanto resíduo será gerado de acordo com os objetivos e realidade de cada região (WU *et al.*, 2014).

2.1.4 Reciclagem

Além da preocupação com a redução da geração de RCD, há também uma crescente preocupação com a reciclagem de materiais. Esta, em especial na construção civil, é dificultada pela falta de planejamento, incentivo e conhecimento por parte das construtoras.

Atualmente, para reciclar um material proveniente de um canteiro de obras é preciso implantar um sistema de coleta seletiva de resíduos, identificar as empresas ou cooperativas de reciclagem que possam aceitar tais materiais, planejar e destacar recursos humanos para que estes materiais sejam transportados para destinação adequada etc. (CHENG e MA, 2013). Segundo Sáez *et al.* (2013), apenas 8% dos construtores e projetistas admitem utilizar materiais reciclados em seus empreendimentos.

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos (ANGULO *et al.*, 2001). Uma das metas estabelecidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012) é a reutilização e reciclagem de RCC em 100% dos municípios até 2027. Como forma de estimular a reciclagem, criou-se leis municipais de incentivo desta prática em Curitiba:

Visando incentivar a reciclagem como alternativa de destinação dos RCD classe A gerados no município, a Prefeitura de Curitiba estabeleceu, pelo Decreto Municipal 852, de 2007, a obrigatoriedade de utilização de agregados oriundos da reciclagem desses resíduos em obras e serviços de pavimentação das vias públicas contratadas pelo Município de Curitiba. (PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CURITIBA, 2010, p.78)

A falta de informação detalhada acerca dos tipos de materiais, de como deve ser feito o descarte e até mesmo do volume que foi ou será gerado durante a construção dificulta o planejamento, impedindo o aumento de RCD reciclado. Isso gera transtornos e gastos desnecessários, que poderiam ser evitados com a correta quantificação de resíduos já na fase de projeto (CHENG e MA, 2013).

Os estudos de quantificação de RCD podem ser divididos entre aqueles que estimam os resíduos por região e tempo (ex.: quantidade de RCD gerada anualmente na Grécia, a quantidade de RCD gerada mensalmente no município de Curitiba, etc.) e aqueles que estimam os resíduos por empreendimento (usualmente apresentando uma proposta baseada num estudo de caso) (BÁEZ *et al.*, 2012; BOSSINK e BROUWERS, 1996; WU *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2013; LI e ZHANG, 2013).

2.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM ÂMBITO REGIONAL E NACIONAL

Os métodos de quantificação dos resíduos gerados, em sua maioria, partem de avaliações empíricas ou de um fator de geração de resíduos combinados a dados estatísticos regionais ou nacionais. O volume e características dos resíduos são cruciais para quantificação e registro destes dados quantitativos.

Estes dados são importantes para a geração de estimativas anuais para o controle governamental. Além de beneficiar as autoridades, auxilia em planos de minimização de resíduos em locais pré-estabelecidos.

Os métodos tratados aqui, referem-se às ferramentas para gestão de RCD. A diferença entre a gestão e o gerenciamento destes resíduos é que a primeira busca direcionar a atuação dos agentes públicos e o segundo trata de atividades cotidianas em ambientes que possibilitam o contato direto com os resíduos (NAGALLI, 2014).

O primeiro passo para gestão de RCD é determinar a sua quantidade gerada (LAGE *et al.*, 2010). Estimar esta quantidade por um método padronizado ainda é um desafio para futuro. Lu *et al.* (2011), acreditam que esta padronização poderá facilitar comparações de desempenho entre regiões ou países, acarretando no

aumento de pesquisas e no desenvolvimento de *Waste Management* (WM) (ou Gerenciamento de Resíduos, em tradução livre).

2.2.1 Quantificação baseada no valor financeiro de atividades do setor de RCD

Franklin Associates (1998), pioneiro na quantificação de RCD (MASUDI *et al.*, 2012), acreditava que o local de estudo mais adequado para amostragem e pesagem dos resíduos seria o aterro sanitário. Este local, por armazenar resíduos mistos, tornou o processo de análise demorado e dispendioso.

A realização do estudo em âmbito nacional tornaria o método mencionado muito oneroso. Com custos mais acessíveis, Yost e Halstead (1996), desenvolveram um método que permite combinar dados de licenças de construção e demolição a partir de estatísticas nacionais.

A metodologia criada por Yost e Halstead (1996) estabelece um fator relacionado ao valor monetário de construção apresentado em licenças de RCD aprovadas no município estudado. O método de uso para quantificação dos resíduos segue o modelo proposto por Yost e Halstead (1996), divergindo em relação a origem dos dados. Segue a baixo o método proposto.

1. Começa-se com o total em dólares referente a novas construções, de *Census Bureau*, atual *Constr Reports*, C-30.

2. Calcula-se em pés quadrados a área total das construções novas, a partir do total de dólares gastos com novas construções e do custo de construção em dólares por m².

3. A partir da avaliação empírica de resíduos, estima-se o peso de resíduos por área de novas construções em libras por pés quadrados.

4. Calcula-se a geração total.

Este modelo de cálculo também foi utilizado por Cochran *et al.* (2007) e Bergsdal *et al.* (2007). Cochran *et al.* (2007) propuseram a quantificação de RCD na Flórida/EUA por método similar, buscando dados de várias fontes (como *US Census Bureau* e licenças de construção). Uma das diferenças deste estudo foi a divisão de empreendimentos em mais categorias – seis ao todo, incluindo residenciais, não residenciais, de construção, demolição ou reformas.

Algumas dessas categorias já haviam sido previstas por Franklin Associates (1998), no qual determinou a taxa média de geração de resíduos para a construção residencial, construção não residencial, demolição residencial, demolição não-residenciais e renovação não-residenciais, como sendo 4,38; 3,89; 115; 173; 17,67 libras por pés quadrados, respectivamente. A precisão dos dados mencionados e os demais dados necessários influenciam diretamente na precisão das estimativas do RCD (COCHRAN *et al.*, 2007).

2.2.2 Quantificação baseada no ciclo de vida do material

O método proposto por Cochran e Townsend (2010) se baseia em dados coletados sobre consumo de materiais de construção em determinado ano, com análise da vida média, durabilidade e quantidade de materiais descartados. Esta abordagem baseia-se no uso de índices e séries históricas destas três informações básicas para estimar a geração de RCD para novas construções. Este método foi proposto inicialmente nos Estados Unidos e a coleta de dados se baseia essencialmente em pesquisas e questionários feitos nas indústrias e empresas de construção civil (COCHRAN e TOWNSEND, 2010).

Deste modo, a precisão destes dados é muito dependente das respostas recebidas pelos pesquisados, devendo ser avaliada e atualizada regionalmente (CHENG e MA, 2013). Importante ressaltar que este estudo também conclui que o concreto é um dos materiais mais gerados de RCD, variando de 42% a 59% do total (COCHRAN e TOWNSEND, 2010).

2.2.3 Quantificação baseada no metro quadrado de área construída

Lage *et al.* (2010) apresentaram um processo para determinar a produção e composição do RCD de forma generalizada. Este método foi aplicado em um caso de estudo na região de Galícia, na Espanha. O modelo utiliza dados sobre as áreas de superfície de imóveis recém-construídos, obras públicas, reformas e demolições, que são estimadas a partir dos dados disponíveis nos últimos anos, bem como

informações sobre a quantidade de detritos gerados por unidade de superfície em qualquer tipo de local de construção. Com relação a este método, existem várias premissas utilizadas para quantificar o RCD, que são descritos a seguir (MASUDI *et al.*, 2012):

- o número de trabalhos de construção, renovação e demolição pode ser ajustado a uma função teórica que varia ao longo do tempo;
- a distribuição de atividades de construção em toda a região é assumida como sendo a mesma a cada ano;
- a área de projeto da construção, renovação ou de demolição também pode ser ajustada para uma função variável ao longo do tempo;
- a quantidade de resíduos gerados por área é assumida como sendo a mesma para cada tipo de construção;

O modelo de estimativa de resíduos proposto por Lage *et al.* (2010) pode ser descrito na seguinte expressão:

$$R_{\text{build}} = \sum_{\text{counties}} (R_{\text{CI}} + R_{\text{RI}} + R_{\text{DI}}) = \sum_{\text{counties}} (C_{\text{C}} \cdot S_{\text{CI}} + C_{\text{R}} \cdot S_{\text{RI}} + C_{\text{D}} \cdot S_{\text{DI}}) \quad (1)$$

R_{build} = resíduos de construção e demolição gerados durante um determinado ano, distribuídos por região;

R_{C} = resíduos de novas construções;

R_{R} = resíduos de obras de renovação;

R_{D} = resíduos de demolição;

S_{C} = superfície total para novas construções;

S_{R} = área de superfície de renovações;

S_{D} = área de superfície de demolições;

C_{R} = resíduos por área para obras de renovação;

C_{D} = resíduos por área para a demolição.

C_{C} = quantidade de resíduos por unidade de área de superfície para novas construções;

A partir do estudo realizado na Galícia, que diferente de outros estudos teve como principal componente de RCD os resíduos cerâmicos (44,6%), verificou-se que um novo trabalho de construção é estimado para gerar 80 kg de resíduos por m², o que equivale a 0,11 m³ de resíduos por m² (densidade = 700 kg / m³). O trabalho de

demolição é estimado para gerar 1.350 kg de resíduo por m², enquanto o trabalho de renovação produz cerca de 90 kg / m².

2.3 MÉTODOS ESTIMATIVOS DE RCD PARA OBRAS

Neste item serão abordados métodos para quantificação de resíduos em obra. Esta etapa faz parte do gerenciamento de RCD, pois trata-se de uma tarefa cotidiana para inúmeras empresas, além de proporcionar, ocasionalmente, o contato direto com os resíduos. A correta quantificação dos resíduos torna-se indispensável para realização do gerenciamento e implementação de políticas de planejamento de RCD dentro de instituições.

2.3.1 Quantificação baseada na área construída

O primeiro método baseado na área construída utiliza um “índice de resíduos”, definido como sendo o volume de RCD gerado por área construída. O segundo método prevê a utilização de um “Global Index” (ou índice global, em tradução livre). A diferença do “índice de resíduos” para índice global é que este separa os resíduos por categorias (como madeira, resíduos perigosos, plástico, papel, etc.), indicando o volume gerado em cada uma delas (JALALI, 2007). Desta forma, o “*Global Index*” pode ser considerado mais específico que o “índice de resíduos”, porém ainda depende de dados sobre geração de RCD que precisam ser constantemente atualizados (CHENG e MA, 2013).

Um terceiro método estimativo mais detalhado de RCD também proposto por Jalali (2007) é o chamado “*component index*” (ou índice por componente, em tradução livre). Este índice usa um método semelhante às tabelas orçamentárias, definindo “elementos básicos” da construção e decompondo estes em outros menores, similarmente ao que é feito em serviços e insumos. Por exemplo, o elemento básico “um metro quadrado de fundação” produz 0,39 kg de resíduo sólido a cada 0,5 m² de forma por m³ de concreto. Para este mesmo elemento básico (1 m² de fundação) ainda são previstos valores de resíduos gerados por armaduras de aço

e concreto, por exemplo (JALALI, 2007). É um método ainda mais detalhado que os dois anteriores, porém consome um tempo relativamente grande para ser aplicado.

2.3.2 Quantificação baseada na ocupação física do espaço

Na literatura também são descritos métodos estimativos de volume de RCD com base em sua ocupação física do espaço (LAU *et al.*, 2008). Este método propõe quatro tipos de ocupação: acumulada (*gathered*), armazenada (*stockpiled*), empilhada (*stacked*) e difusa (*scattered*), todos em tradução livre. Para cada tipo de ocupação é previsto um formato espacial adotado pelos resíduos. Por exemplo, para resíduos do tipo *stockpiled*, o formato de ocupação previsto é piramidal de base retangular e seu volume pode ser calculado utilizando as fórmulas de geometria espacial básicas. Com o volume, seu peso também pode ser estimado levando-se em consideração a densidade do resíduo (LAU *et al.*, 2008).

Este é um método extremamente simplificado que apenas estima dados muito irregulares de volume já na fase construtiva, não podendo ser utilizado em fases de projeto e planejamento anteriores (CHENG e MA, 2013).

2.3.3 Modelo espanhol e europeu

Métodos estimativos mais precisos de volume de RCD são o modelo espanhol proposto em 2009 (SOLÍS-GUZMÁN *et al.*, 2009) e também o modelo europeu proposto em 2011 (LLATAS, 2011). O modelo proposto por Solís-Guzmán *et al.* (2009) apresenta quatro parâmetros que são o volume aparente de demolição (VAD), o volume aparente de resíduos em calça (VAR), o volume aparente de resíduos de embalagens (VAE) e o volume aparente de construção (VAC).

No modelo espanhol o volume de resíduos, descrito na expressão (2), é estimado com base na área de piso e no fator de volume de resíduo.

$$V = S \cdot F \cdot N \cdot M \quad (2)$$

Na equação, V representa o volume de resíduos de demolição (m^3), S é a área de superfície por moradia (m^2), F é o fator de volume de resíduos (m^3/m^2), N é o número de moradias por andar e M é o número de andares.

A pesquisa estudou mais de 100 projetos de habitação e através de métodos estatísticos relacionou os quatro parâmetros, criando coeficientes de conversão entre eles. Por exemplo, o método propõe que, para portas de madeira, o coeficiente de conversão de VAC para VAD é 1,15, significando que este material, após demolido aumenta seu volume em aproximadamente 15%, em decorrência da incapacidade de empacotamento (SOLÍS-GUZMÁN *et al.*, 2009).

Já o modelo de Llatas (2011) é uma continuação do modelo de Lage *et al.* (2010), para apoiar a diretiva da União Europeia para tornar-se uma "sociedade de reciclagem" (MASUDI *et al.*, 2012). O procedimento utiliza abordagens muito sistemáticas onde identifica elementos de construção do projeto e seus processos de construção, empregando sistemas de classificação de resíduos, e modelagem.

No modelo de Solis-Guzman *et al.* (2009), o estudo de caso foi feito para uma série de projetos habitacionais na Espanha, envolvendo mais de 200 elementos de construção num único projeto, obtendo-se uma taxa de produção de resíduos (sem solo) de 0,1388 m^3/m^2 . Com este modelo, as chances de recuperação de resíduos de construção e prevenção poderiam ser aumentadas (MASUDI *et al.*, 2012).

Segundo Cheng e Ma (2013), o ponto negativo destes modelos é que as habitações estudadas são de baixo custo e os dados obtidos são muito regionais.

2.3.4 Software SMART-WASTE

Por fim, existem ainda os *softwares* desenvolvidos especificamente para estimar o volume de RCD. Dentre eles, pode-se citar o SMART-Waste (*Site Methodology to Audit Reduced Target Waste*) desenvolvido pelo UK *Building Research Establishment* (BRE). Este programa estima volumes de RCD em 13 categorias diferentes, como concreto, cerâmica, pallets etc. Novamente, o ponto negativo é que este *software* é baseado em dados do Reino Unido e sua utilização

pode ser limitada pelas diferentes técnicas construtivas de cada região, além da necessidade de constante atualização de dados (CHENG e MA, 2013).

2.4 LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DE RCD APRESENTADOS

Os métodos descritos na literatura possuem diferentes graus de limitação, sendo em sua maioria atrelados a dados muito regionais ou que demandam atualizações constantes. Com raras exceções de países desenvolvidos, a maioria das regiões possuem poucos dados de geração de RCD (WU *et al.*, 2014). Um fato que dificulta ainda mais a correta compilação de dados é a falta de cooperação entre as diferentes entidades e órgãos responsáveis pelo setor construtivo e de descarte de resíduos de cada país/região (FATTA *et al.*, 2003).

Os estudos analisados caracterizam-se também por serem focados nas construções residenciais e comerciais, não analisando obras de infraestrutura urbana como estradas, pontes, etc. Isto deve-se ao fato de que estas construções são mais abundantes e menores, portanto mais fáceis de serem estudadas (WU *et al.*, 2014).

Por fim, apesar de existirem diversos estudos propondo diferentes metodologias para quantificação de RCD, a grande maioria não possui dados suficientes para realizar uma verificação a fim de provar a validade da metodologia. A única exceção são os métodos que comparam dados com os coletados em canteiros de obras. Ainda assim, estas verificações nem sempre podem ser extrapoladas para níveis regionais (WU *et al.*, 2014).

Existem diferentes métodos para quantificação de resíduos apresentados na literatura. A Figura 1 apresenta as principais abordagens das metodologias encontradas na literatura.

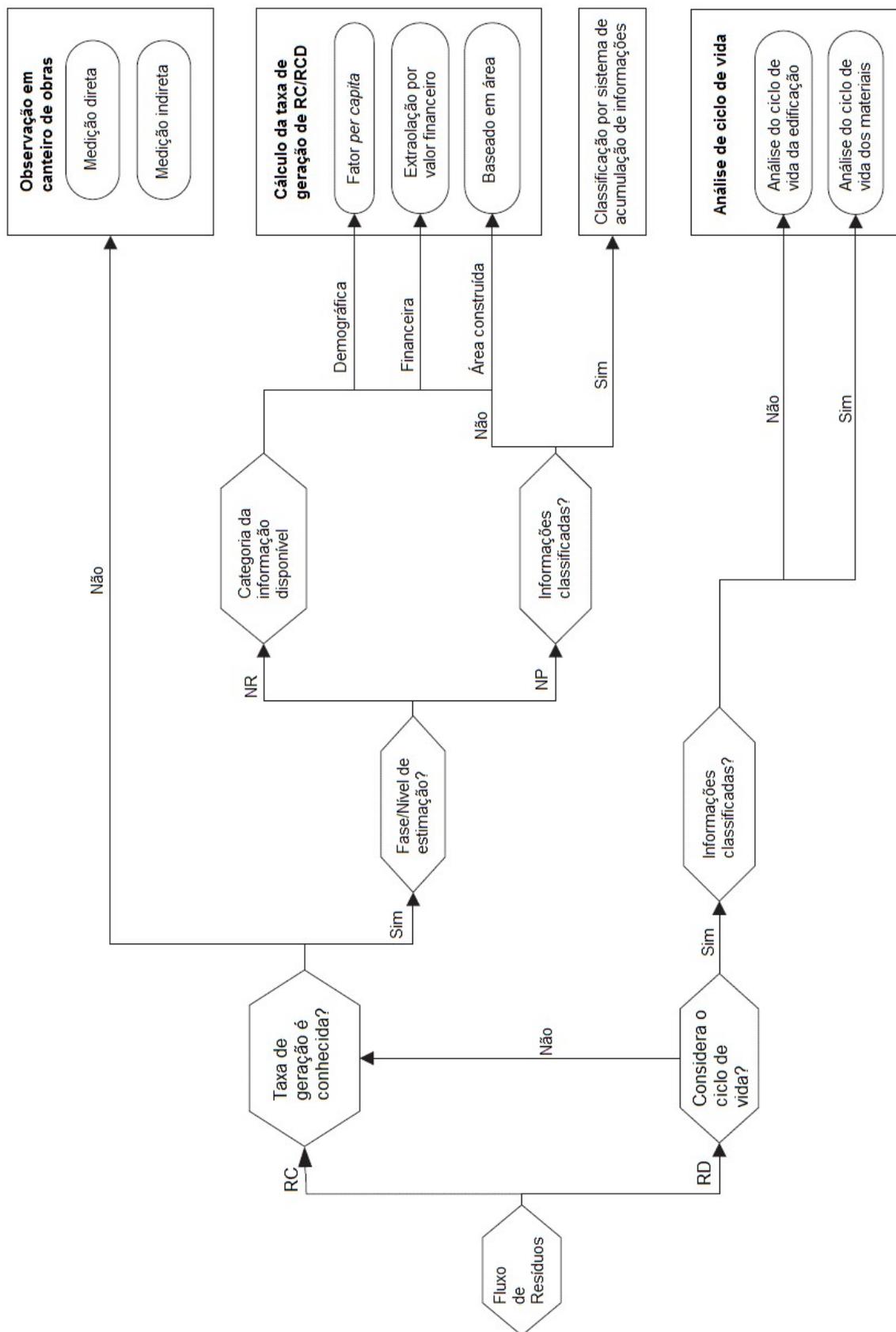


Figura 1 – Metodologias para estimar RCD de acordo com o objetivo e informações disponíveis. RC = Resíduo de Construção; RD = Resíduo de Demolição; NR = Nível Regional; NP = Nível de Projeto.

Fonte: Traduzido de WU et al., 2014.

Os métodos de Cheng e Ma (2013) e Lu et al (2017) são os mais recentes documentados na literatura e utilizam os conceitos do BIM, possibilitando que os construtores tenham uma visão mais precisa do volume de resíduos a ser gerado na construção, ainda na fase de projeto.

A tecnologia BIM também pode influenciar na minimização dos aspectos regionais. Estes aspectos limitam a validade dos estudos em regiões específicas.

De acordo com o guia CBIC (2016), algumas soluções BIM já incluem a leitura de códigos de barra para identificação de componentes. Como representado pela Figura 2, a plataforma BIM pode ser aliada a tecnologias de controle de entradas e saídas de materiais (ERP e TI), simplificando processos no gerenciamento de resíduos.



Figura 2 – Funcionalidade BIM de leitura de código de barras

Fonte: Retirado de Fundamentos do BIM – Parte 1: Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras/ Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Brasília: CBIC,2016

Outro benefício do modelo BIM é a facilidade de obtenção dos volumes e áreas automaticamente, por meio de objetos 3D, para formar a base de uma estimativa de custo precisa depois de mapeá-los com o banco de dados de custos (LU et al., 2017).

2.5 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Um dos métodos de quantificação mais recentes documentados na literatura utiliza os conceitos de *Building Information Modeling* (BIM), que evoluiu da pesquisa do *Computer-Aid Design* (CAD), a fim de minimizar os aspectos regionais e permitir que os construtores tenham uma visão mais precisa do volume de resíduos a ser gerado na construção, ainda na fase de projeto.

Os principais representantes de desenvolvedores de *softwares* que hoje atuam no país são a Autodesk®, Nemetschek® (e Graphisoft), Trimble® (e Tekla), Bentley® e outros *softwares* (CBIC, 2016). O Quadro 2 contém os principais produtos direcionados a edificações.

Empresa	Produto
 AUTODESK	AutoCAD, Revit, Formit 360 Pro, Recap Pro, Dynamo Studio, Robot Structural Analysis Pro, Advance Steel, Advance Concrete, Navisworks, Point Layout, Infracore 360, Vehicle Tracking, 3ds Max, Showcase, Green Building Studio, Inventor.
 NEMETSCHKEK GRAPHISOFT <small>A NEMETSCHKEK COMPANY</small>	Scia Engineer, Allplan, Solibri, Vectorworks, Archicad, BIMx.
 Trimble Tekla	SketchUp, Tekla, Trimble Connect, Trimble PipeDesigner 3D, Trimble DuctDesigner 3D, Autobid, Accubid, VICO Office, Manhattan, Vulcan.
 Bentley	AECOSim Building Designer – Architecture, Structures, MEP
Outros	TQS, Synchro, SOFiSTiK, IBM, Archibus e outros,

Quadro 2 – Principais empresas desenvolvedoras de softwares BIM

Fonte: Adaptado de CBIC (2016).

Os *softwares* que utilizam BIM permitem a inclusão de argumentos para cada um dos materiais, permitindo-se especificar, na fase de projeto, o fator de geração de resíduo de cada um dos componentes do empreendimento. Esse processo é um arranjo virtual cooperativo que reúne profissionais de diversas disciplinas, garantindo que o conhecimento agregado de cada um deles seja integrado em uma única fonte de dados, o modelo paramétrico da edificação (EASTMAN *et al.*, 2011).

A integração de informações gera um compartilhamento e troca de dados mais eficaz com mostra a Figura 3.

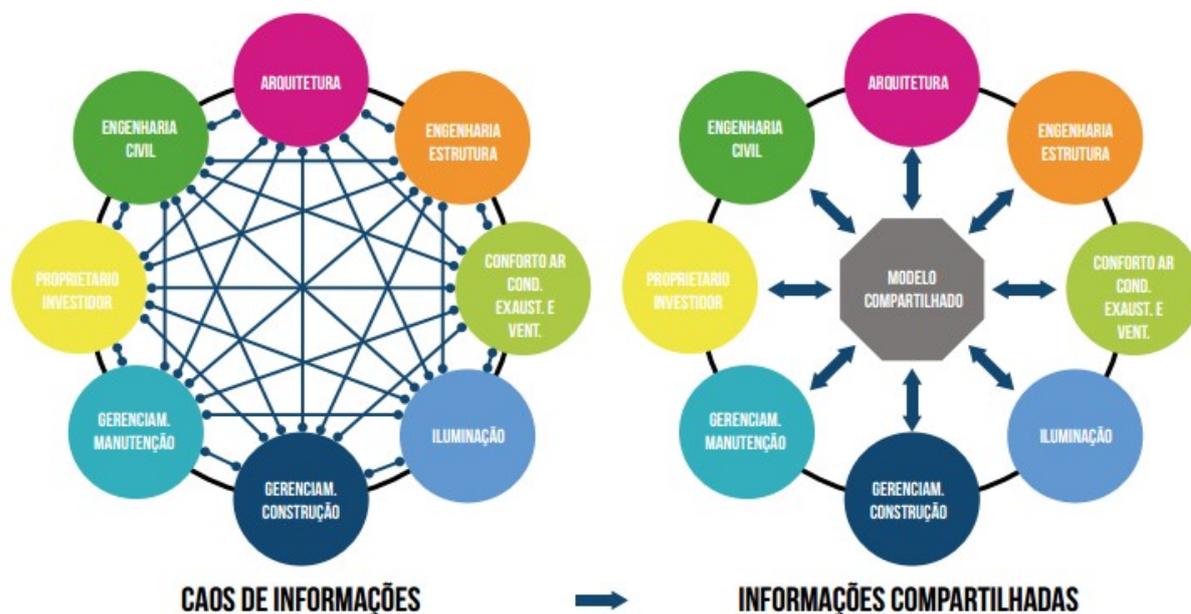


Figura 3 – Caos de informação (CAD) e informações compartilhadas (BIM)

Fonte: Retirado de Fundamentos do BIM – Parte 1: Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras/ Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Brasília: CBIC, 2016

A utilização do BIM para quantificação de RCD concede mais flexibilidade e autonomia para os construtores, permitindo que cada projeto tenha sua estimativa específica, de acordo com os materiais que efetivamente serão utilizados (CHENG e MA, 2013).

Ainda não existe uma única e precisa definição para BIM (LIU *et al.*, 2015). Numa tradução livre, BIM pode ser definido como Modelagem da Informação da Construção. O termo geralmente é utilizado para definir um conjunto de parâmetros, ferramentas e processos empregados para criação de um modelo virtual integrado acerca de todos os aspectos de um edifício. O BIM pode englobar não só o projeto em si (geometria e relações espaciais), como também informações geográficas, quantidades e as propriedades construtivas de cada um dos componentes (densidade de material, custos, medidas, especificações técnicas, etc.) (FAZLI *et al.*, 2014).

O BIM é utilizado especialmente para aperfeiçoar o detalhamento, a detecção de incompatibilidades entre projetos e falhas (HARDIN e MCCOOL, 2015), a visualização e simulação de cenários (EASTMAN *et al.*, 2011), além de melhorar a

coordenação e comunicação entre os diferentes projetistas (KRYGIEL e NIES, 2008).

O Quadro 3 apresenta as principais características atribuídas aos *softwares* BIM.

Características atribuídas ao BIM	Descrição
3D	Soluções que possibilitam a modelagem e a visualização gráfica em 3D de uma edificação ou instalação, que utilizam objetos que incluem outras informações além da sua própria geometria.
Referências 2D que emulam modelos tridimensionais	<i>Softwares</i> que permitem a extração automática de quantidades, realizam atualizações automáticas, possibilitam a realização de simulações e análises.
3D baseadas em objetos paramétricos e inteligentes	Quaisquer alterações ou posicionamento de objetos num trabalho em desenvolvimento são fáceis, rápidas e automáticas.
Soluções que realizam atualizações automáticas	Para revisões e alterações realizadas numa determinada 'vista', <i>softwares</i> que são BIM, provocam automaticamente a atualização das demais vistas e relatórios de um mesmo projeto ou trabalho em desenvolvimento.
<i>Softwares</i> que atuam como gestores de bancos de dados integrados	O BIM oferece formas de 'visualização' desses mesmos dados como listas, tabelas, planilhas, e caso o usuário faça alguma alteração de informação, ela será refletida, imediata e automaticamente, em todas as outras formas de visualização

Quadro 3 – Características do BIM e suas descrições

Fonte: Autoria própria.

O BIM permite a geração de diferentes layouts e detalhamentos, possibilitando que cada equipe de projeto possa incluir informações importantes no desenho. Estes layouts podem ser sobrepostos formando um único projeto, no qual é possível verificar incompatibilidades físicas, de material, de localização, etc. (FAZLI *et al.*, 2014).

Segue o Quadro 4 com os usos dos principais *softwares* BIM no ciclo de vida de um projeto construtivo.

Current BIM	Preparation stages		Design stages			Pre-Construction stages			Construction and Use stages			Post-construction stages		Source
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	
Beck Technology Dprofiler	√													Beck Technology
Carlson (CVE)	√													Olatunji and Sher 2010
Nemetschek Vectorworks	√		√	√	√	√	√							Nemetschek
Gehry Technologies Digital Project	√		√	√		√	√							Gehry Technologies
Navisworks JetStream v5 Roamer and Clash Detective			√	√										AGC 2006
Autodesk Green Building Studio					√									Autodesk
ArtrA										√		√		ArtrA
Autodesk Revit			√	√	√	√								Autodesk
Graphisoft ArchiCAD			√	√	√	√								Graphisoft
Bentley Systems Architecture			√	√	√	√								Bentley Systems
MasterBill, QSCAD Timberline					√	√	√							Olatunji and Sher 2010
Primavera, Construction Computer Software(CCS)					√	√	√							Olatunji and Sher 2010
PP Manager									√	√				Nemetschek
Navisworks TimeLiner						√			√	√				AGC 2006
Graphisoft Change Manager				√					√	√				AGC 2006
CostX, Inovayya, Tocoman, CRC estimator, Winest				√	√	√								Olatunji and Sher 2010
BIM and interoperability for precast									√	√				Sacks et al. 2010
Tekla Structures				√	√	√			√	√				Tekla
StructureWorks					√				√	√				StructureWorks
Design Data SDS/2					√				√	√				Design Data 2010

Quadro 4 – Uso de Ferramentas e Métodos Preventivos no Ciclo de Vida do Projeto Construtivo

Fonte: LIU *et al.* (2011).

No Brasil pode-se dizer que os casos de usos mais comuns do BIM são: a visualização do projeto, a logística do canteiro de obras, o levantamento de quantidades, estimativa de custos e orçamentos, a maquete eletrônica, a análise de construtibilidade, a coordenação espacial, a coordenação de contratados, o rastreamento de componentes e gestão de ativos (CBIC, 2016).

Portanto, BIM dentro do contexto desta pesquisa pode ser definido como um sistema de perspectiva tridimensional de comunicação interativa e colaborativa em tempo real, tendo o potencial de ajudar os participantes do projeto para atingir a minimização dos resíduos de construção em todas as etapas do ciclo de vida de um edifício, melhorando o desempenho construtivo (LUI *et al.*, 2011, SACKS *et al.*, 2010).

Com um amplo potencial de mercado e vasta aplicabilidade, a tecnologia BIM começou a ser debatida no Brasil pela Comissão de Estudos Especiais (CEE) 134, com a finalidade de normatizar terminologias, classificações de objetos e outros aspectos indispensáveis. Os estudos se iniciaram no ano de 2009, em parceria com

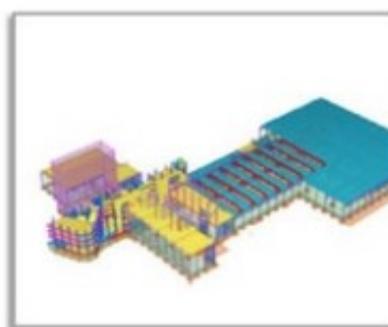
Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. A norma NBR 15965, assim chamada, foi dividida em 7 partes distintas, sendo publicada sua primeira parte em 2011.

Além das normatizações, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), patrocinaram a publicação da coletânea para implantação do BIM para construtoras e incorporadoras no ano de 2016.

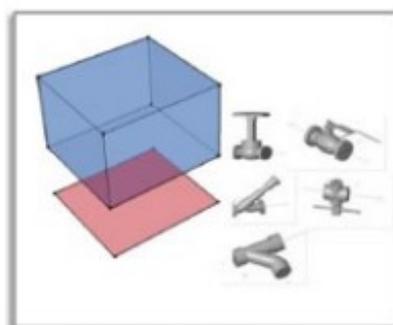
Na Figura 4 é citado pelo autor da coletânea, Wilton Silva Catelani, que também fez parte da comissão de estudos CEE 134, algumas das principais utilizações desta tecnologia no Brasil.



Visualização do Projeto



**Logística do Canteiro
Visualização do Planejamento**



**Levantamento de
Quantidades**



**Estimativas de Custos
e Orçamentos**



Figura 4 – Casos de usos de BIM mais comuns no Brasil

Fonte: Retirado de Fundamentos do BIM – Parte 1: Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras/ Câmara Brasileira da Indústria da Construção - Brasília: CBIC,2016

Os benefícios da tecnologia BIM além de auxiliar na fase de projeto e planejamento, também se estende a todas as macrofases de uma construção, como pode ser observado na Figura 5.

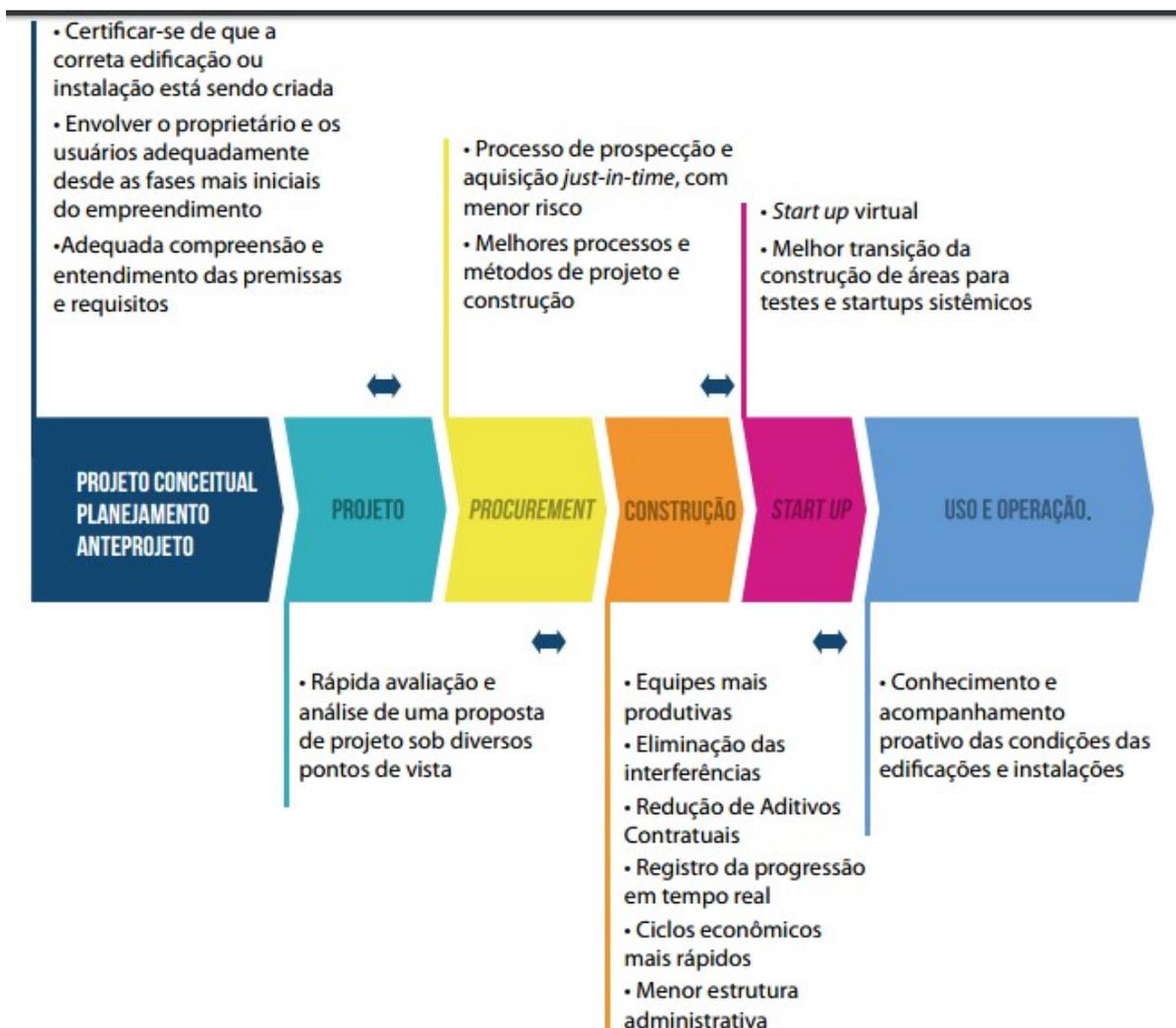


Figura 5 – Os principais benefícios da adoção do BIM nas macrofases de um empreendimento
 Fonte: Retirado de Fundamentos do BIM – Parte 1: Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras/ Câmara Brasileira da Indústria da Construção.-Brasília: CBIC,2016

As ferramentas que integram a tecnologia BIM, em sua maioria possuem recursos para adaptar-se as necessidades de cada cliente. Deste modo, o cliente pode desenvolver um novo recurso que auxilie em suas práticas diárias, chamado “plug-in”. O plug-in pode aumentar a produtividade e eficiência do usuário, tornando seu trabalho mais competitivo no mercado.

2.5.1 Desenvolvimento de recursos com Plug-in

O plug-in, de acordo com Gonçalves (2011), é um arquivo que adiciona funcionalidades ao software. Seu desenvolvimento gera diminuição de tempo nos

processos relacionados a sua função, além de gerar maior eficiência. Seus benefícios são evidenciados principalmente em trabalhos repetitivos e desgastantes.

Os plug-ins são criados através do API (*Application Programming Interface*) ou em tradução livre, interface de programação de aplicativos. A Autodesk Revit®, por meio do API.NET, utiliza qualquer linguagem de programação compatível com .NET para criação de um plug-in. (GONÇALVES, 2014)

A interface de programação é realizada em softwares específicos para esta finalidade. O Visual Studio® é a escolha mais comum entre os usuários do API e programadores, possuindo uma área de interação de fácil compreensão.

O Código Fonte do plug-in é a base de seu funcionamento. As informações indispensáveis sobre a utilização da API são de fácil acesso em meio digital, estando disponíveis guias para usuários, fóruns sobre o assunto e vídeo aulas.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo selecionado, representado pela Figura 6, é um projeto residencial com estrutura padronizada e normatizada pela ABNT NBR 12721:2006, visto que a construção de novas residências unifamiliares representa boa parte da geração de resíduos em âmbito nacional.



Figura 6 – Objeto de Estudo - Residência Unifamiliar
Fonte: Autoria própria.

Dentre os resíduos gerados por construções novas, materiais como: blocos cerâmicos, concreto, madeira, telhas, pisos e seus componentes, lideram o ranking de maiores geradores de resíduos de acordo com IPEA (2012). Os materiais com maior geração de resíduos são englobados nos projetos arquitetônico e estrutural.

A partir dos projetos detalhados pelo *software* Autodesk Revit, aplicou-se o plug-in criado, realizando um estudo quanto à geração de resíduos sólidos na residência modelada.

3.2 PROGRAMAS UTILIZADOS

Para modelagem, cálculo e análise deste estudo de caso, foram utilizados os programas Autodesk Revit®, Visual Studio®, Excel® e o aplicativo Dynamo®, a função de cada um dos programas é descrito na Figura 7.

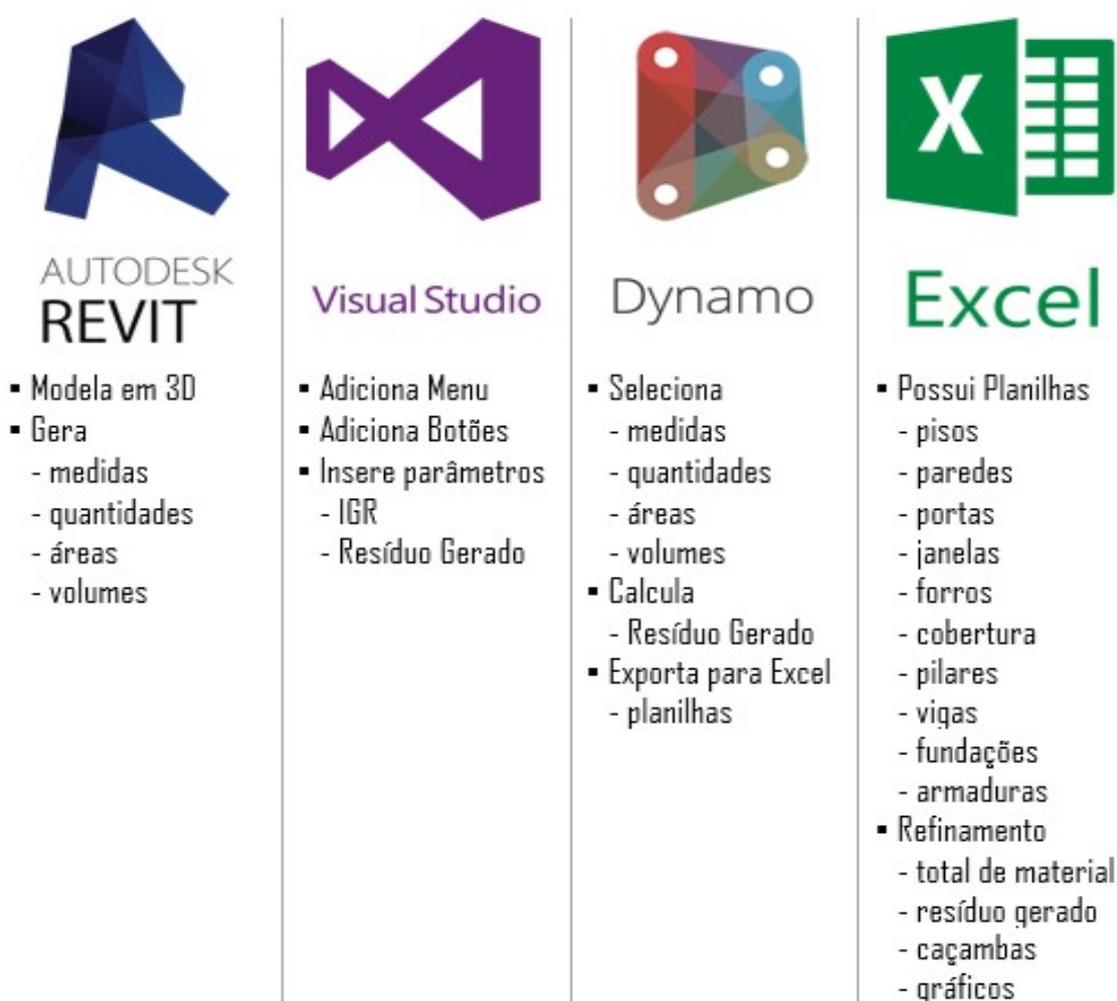


Figura 7 – Fluxo de Informações
Fonte: Autoria própria.

3.2.1 Autodesk Revit

Tanto a quantificação de materiais presentes, quanto a modelagem foram realizadas no Revit. Este *software* permite simplificar o trabalho, garantir eficácia, velocidade na criação do projeto, obtenção dos quantitativos de materiais através de

tabelas e a totalização de custos. Esta ferramenta admite a entrada de parâmetros em diferentes objetos e materiais que irão auxiliar no escopo deste documento.

O software também pode ser utilizado com programas complementares, que executam a leitura do modelo criado e realiza cálculos específicos com os parâmetros encontrados. Outra funcionalidade para este programa é a instalação de plug-ins, utilização de aplicativos como o Dynamo® e extensões com o Excel®.

Cheng e Ma (2013) reforçam a grande aplicabilidade dos *softwares* BIM, destacando a possibilidade de integrar múltiplas informações em um modelo virtual. No trabalho desenvolvido pelos autores, o quantitativo dos objetos e materiais paramétricos determinaram a estimativa dos resíduos a serem gerados.

3.2.2 Dynamo

O Dynamo é um aplicativo gratuito de código aberto, instalado junto com o Revit desde a versão 2016, que introduz uma interface de programação visual, através de *nodes* (nós), exemplificado pela Figura 8. Permitindo automatizar, através de programação, várias tarefas que permitem personalizar o seu fluxo de trabalho, de forma a facilitar a análise de soluções.

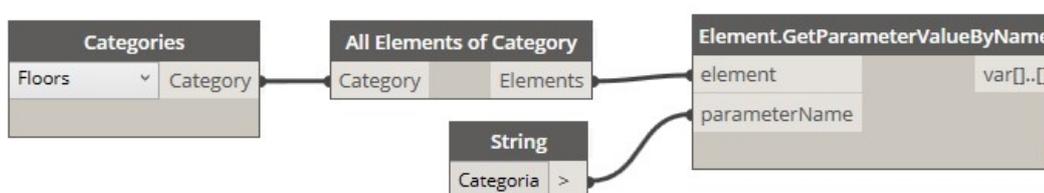


Figura 8 – Programação visual com a utilização de nodes
Fonte: Autoria própria.

O aplicativo é acessível tanto para programadores quanto para iniciantes, possibilitando aos usuários a capacidade de visualizar o comportamento do roteiro (*script*). Também é possível definir partes personalizadas de lógica e script usando várias linguagens de programação textuais.

3.2.3 Visual Studio

O Visual Studio é um conjunto de ferramentas que oferece suporte para a criação de softwares e aplicativos. As linguagens de programação mais utilizadas e que possuem o maior número de usuários e conteúdos disponíveis são o Visual Basic e o C# (C Sharp).

O Visual Studio possibilita a criação de um novo Menu, com botões específicos para cada elemento do projeto, alguns destes ícones estão representados conforme a Figura 9.



Figura 9 – Alguns ícones implementados pelo Visual Studio
Fonte: Autoria própria.

A aplicação do Visual Studio tem a finalidade de criar um plug-in dentro do próprio programa de modelagem BIM. Este software insere os parâmetros e realiza os cálculos necessários a partir dos quantitativos de materiais obtidos por meio do Autodesk Revit.

3.2.4 Microsoft Excel

Sua aplicação complementa a funcionalidade do BIM, realizando o tratamento dos dados parametrizados obtidos do Autodesk Revit e do Plug-in criado, a partir do Visual Studio. Os dados fornecidos pelo plug-in são transmitidos para o Excel, por meio do aplicativo Dynamo. O software Excel tem a função de refinar estes dados obtidos, criando gráficos e tabelas dinâmicas.

3.3 MODELAGEM

Para modelagem do estudo de caso, utilizaram-se os projetos estruturais e arquitetônicos. A concepção do projeto arquitetônico foi baseada na ABNT NBR 12721:2006, enquanto que o modelo estrutural segue as especificações utilizadas na construção de habitações populares.

3.3.1. Estrutural

A modelagem do projeto estrutural, de acordo com o objeto de estudo, teve foco no concreto e no aço presentes nas vigas, lajes, pilares, lastro e fundação. É apresentado na Figura 10 a representação de um pilar e ferragens no modelo 3D.

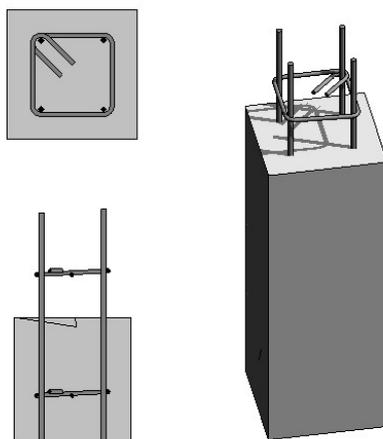


Figura 10 – Representação gráfica de um pilar com armaduras no Revit
Fonte: Autoria própria.

3.3.2. Arquitetônico

A modelagem do projeto arquitetônico foi elaborada com o levantamento das paredes, portas, janelas, pisos, revestimentos e materiais utilizados de acordo com o objeto de estudo, na Figura 11 são representados estes elementos dentro do Revit.

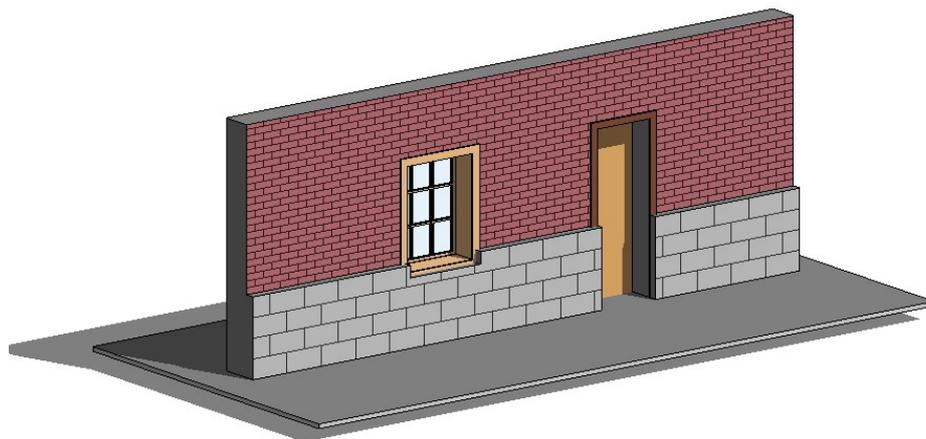


Figura 11 – Representação de paredes, janelas, portas e pisos no Revit
Fonte: Autoria própria.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO PLUG-IN

O plug-in compilou as informações fornecidas pelo modelo 3D da residência e realizou equações simples, fornecendo os resultados necessários. Para que isto fosse possível iniciou-se com a criação, por meio de linguagem C# (C-Sharp), de um parâmetro IGR correspondente ao Índice de geração de resíduos. Esse índice foi atribuído a cada elemento e possibilitou que se chegasse ao quantitativo de resíduos de cada elemento, assim como o volume total gerado.

3.4.1. Criação do plug-in básico e Índice de Geração de Resíduos (IGR)

Iniciou-se com a criação de uma biblioteca no software Visual Studio. Após abertura da biblioteca pode-se observar uma tela com 4 regiões principais, como nas áreas destacadas na Figura 12.

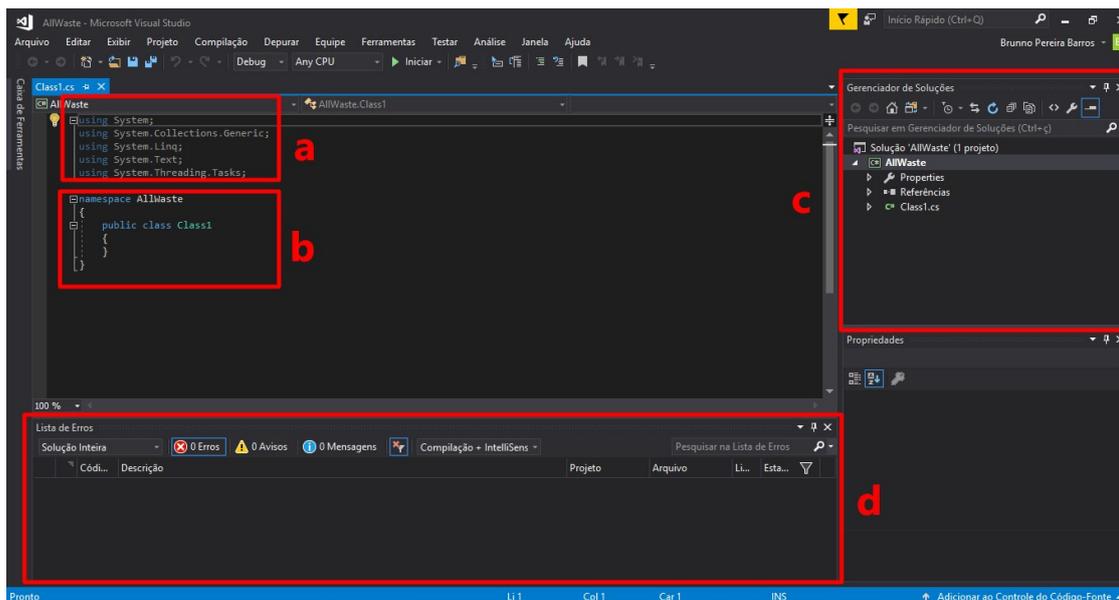


Figura 12 – Tela principal do Visual Studio

Fonte: Autoria própria.

A regiões destacadas têm as seguintes funções:

- a) Local onde são importadas as bibliotecas que serão usadas no projeto;
- b) Área onde se escreve o código;
- c) Browser do projeto. Contêm uma lista de referências, classes e recursos usados no projeto.
- d) Lista de erros e mensagens que surgem ao rodar o plug-in.

Para conectar a programação inserida na região b) supracitada, com o software Revit, utilizou-se o gerenciador de soluções e a opção “Referências”. Os arquivos de referência usados são chamados de RevitAPI.dll e RevitAPIUI.dll. Selecionado estes arquivos como referência foi possível utilizar todas as API (*Application Programming Interface*) disponíveis.

Em tradução livre, API corresponde a Interface de programação de aplicativos, ferramenta que possibilita configurar o software de acordo com as necessidades de cada cliente através de programação.

Concluindo a seleção de referência é hora de partir para Janela de edição de código. Nas primeiras linhas é necessário inserir o código que permitirá acessar as bibliotecas externas.

```

using System;
using Autodesk.Revit.ApplicationServices;
using Autodesk.Revit.Attributes;
using Autodesk.Revit.DB;
using Autodesk.Revit.UI;
using System.IO; [...]

```

Após inserir o código de entrada, cria-se os códigos para inserir o parâmetro de geração de resíduos – IGR e “Resíduo Gerado”.

```

namespace WallWaste
{
    [TransactionAttribute(TransactionMode.Automatic)]
    [RegenerationAttribute(RegenerationOption.Manual)]
    public class Wall : IExternalCommand
    {
        ...
    }
}

```

O código completo está presente no Apêndice A. Por último clica-se na opção *Build Solution* para compilar e gerar o plug-in.

3.4.1.1 Manifesto Addin

O manifesto Addin é um arquivo que deverá ser criado para fornecer informações ao Revit para carregar e executar o plug-in. Este manifesto é desenvolvido a partir da ferramenta “Gerenciador de Soluções”, inserindo um novo item tipo texto, que deverá ser nomeado com final “.addin”. Neste novo arquivo é inserido o código que possibilita que o plug-in seja iniciado.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<RevitAddIns>
  <AddIn Type="Command">
    <Assembly>AllWaste.dll</Assembly>
    <ClientId>f6476ace-16e7-44da-9ca0-c378f380bb34</ClientId>
    <FullClassName>AllWaste.Class1</FullClassName>
    <Text>Fator de Residuo</Text>
    <VendorId>Brunno e Hugo</VendorId>
    <VisibilityMode>AlwaysVisible</VisibilityMode>
  </AddIn>
</RevitAdd

```

3.4.2 Criação de Menus e botões

Primeiramente, é aberto um novo arquivo no Visual Studio, inserindo o código inicial seguido dos códigos para criação dos Botões como no modelo abaixo, o código completo está no Apêndice B.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using Autodesk.Revit.Attributes;
using System.Reflection;

using Autodesk.Revit.DB;
using Autodesk.Revit.UI;
using System.Windows.Media.Imaging;

namespace ManagementRibbon
{
    public class App : IExternalApplication
    {
        ...
    }
}
```

Concluído o código para criação dos botões, adicionou-se o projeto já existente ao novo projeto, por meio do comando *Shift + Alt + A* e encontrou-se a extensão .cs na pasta que seu projeto anterior foi salvo.

Para utilizar o plug-in, os arquivos gerados (.dll e .addin) foram copiados para a pasta local do Revit C:\...\Autodesk\Revit\Addins\2017\. O Menu e os botões criados aparecem como na Figura 13.

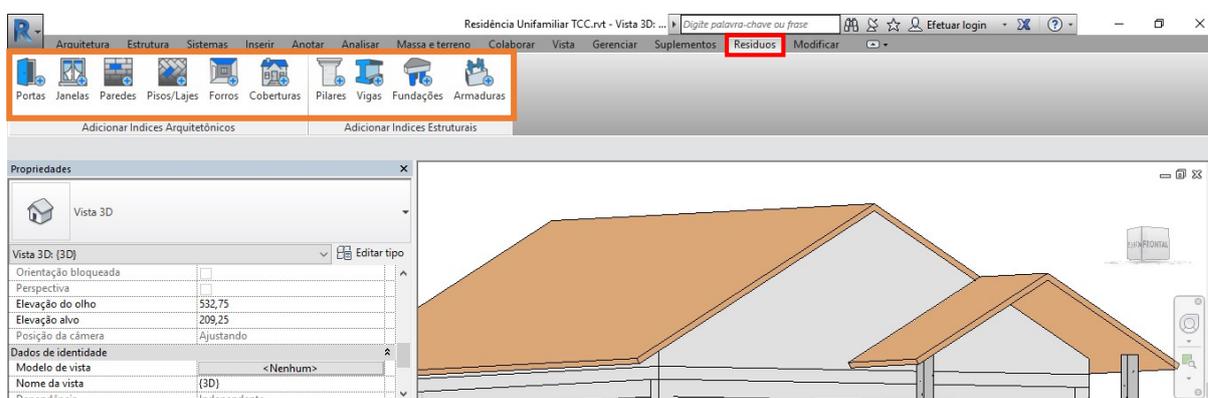


Figura 13 – Tela do Revit com o Menu e Botões de resíduos

Fonte: Autoria própria.

Para certificar que tudo ocorreu conforme o previsto abriu-se o projeto no Revit, acessou-se o Menu “Resíduos” e foi selecionado todos os botões.

3.5 DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE RESÍDUOS

O primeiro passo foi executar a modelagem de uma residência unifamiliar com áreas padronizadas pela norma ABNT NBR 12721: 2005 (ASSOCIAÇÃO...,2005), conforme Figura 14. Na etapa de modelagem, deve-se nomear os elementos corretamente com base no tipo, já que assim estabelecem a base para mapear os componentes com seu nível de geração de resíduos (LU *et al.*, 2017). Os componentes fornecerão informações de cada elemento de construção em um modelo BIM. As informações serão extraídas e processadas para posterior estimativa de resíduos.

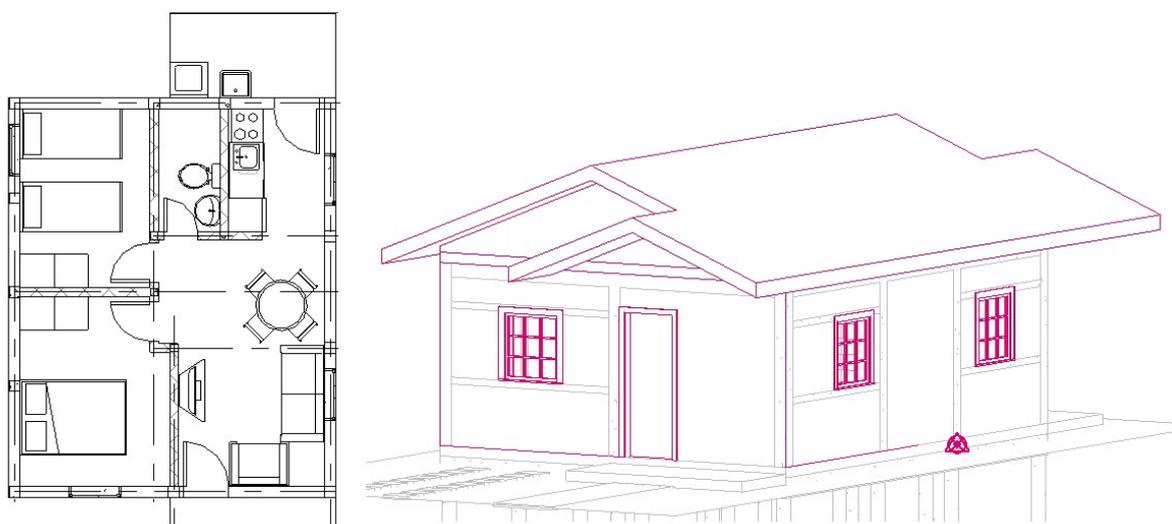


Figura 14 – Planta e Modelo residencial

Fonte: Autoria própria.

O plug-in criado foi então inserido no Revit, que ao iniciar apresenta um menu chamado “Resíduos”. Conforme a Figura 15, dentro do menu há botões que inserem parâmetros de Índice de geração de Resíduo em cada elemento (parede, porta, janela, forro, piso, cobertura, pilar, viga, fundações e armaduras) do Revit.



Figura 15 – Menu "Resíduos" e Botões de índices

Fonte: Autoria própria.

O segundo passo para realização da estimativa de resíduos é buscar através da literatura os índices de geração de resíduos para cada material para inserir no plug-in, como apresentado na Figura 16. Estes índices poderiam ser encontrados também ao se dividir o resíduo em volume (m^3) ou quantidade (toneladas) pela quantidade de materiais virgens adquiridos, ou pela quantidade exigida pelo projeto (LU *et al.*, 2017).

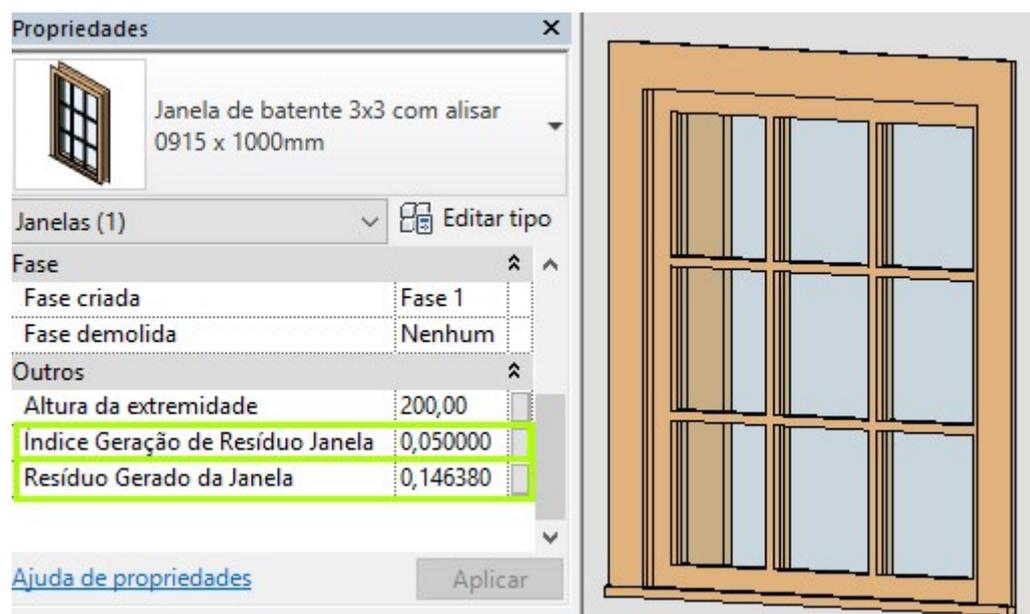


Figura 16 – Inserção do índice de geração de resíduos

Fonte: Autoria própria.

Com os elementos já separados e seus respectivos índices de geração de resíduos inseridos, inicia-se a terceira etapa. Esta etapa é vinculada a utilização de uma ferramenta do Revit chamada Dynamo, que cria um banco de dados organizado por meio de uma Estrutura Analítica de Projeto – EAP, estrutura exibida na Figura 17, os detalhes desta estrutura estão presentes no Apêndice C.

Com a estrutura analítica montada, clica-se na opção “Executar” no canto inferior esquerdo do Dynamo. Com isso, o fluxo de trabalho resultará em resultados que serão apresentados automaticamente em planilhas no Excel, apresentados na Figura 18.

	A	B	C	D	E	F
1	Categoria	Tipo	Volume	Índice	Resíduo Gerado	
2	Paredes	Parede Externa 20 cm	4,020009046	0,056	0,225120507	
3	Paredes	Parede Externa 20 cm	4,17298375	0,056	0,23368709	
4	Paredes	Parede Externa 20 cm	3,969799442	0,056	0,222308769	
5	Paredes	Parede Externa 20 cm	3,862574145	0,056	0,216304152	
6	Paredes	Parede 15 cm	1,051875	0,056	0,058905	
7	Paredes	Parede 15 cm	0,144375	0,056	0,008085	
8	Paredes	Parede 15 cm	1,2915	0,056	0,072324	
9	Paredes	Parede 15 cm	0,94875	0,056	0,05313	
10	Paredes	Parede 15 cm	0,574125	0,056	0,032151	
11	Paredes	Parede 15 cm	0,9075	0,056	0,05082	
12						

Pronto

Pisos **Paredes** Forros Cobertura Pilares Fundações

Figura 18 – Resultados gerados no Excel através do Dynamo
Fonte: Autoria própria.

A partir desses dados pode-se adicionar colunas para a transformação dos quantitativos em unidades padronizadas para utilização em processos de gerenciamento dos resíduos. As unidades para realização do cálculo da taxa de cobrança de descarte de resíduos são baseadas em informações de peso em vez de volume. Desta forma, informações de densidade são necessárias para calcular o peso do material. A inserção destas novas colunas fornece os demais dados não geométricos sobre os materiais.

As colunas adicionais acomodaram equações para obtenção das informações que englobam os resultados esperados e dados para realização de transformações. Desta forma, há informações fixadas pelo usuário e outras continuamente atualizadas ao longo do ciclo do projeto.

Para obtenção dos resultados esperados, na coluna referente ao cálculo da quantidade de resíduo é empregada a Equação (3), em que o resíduo gerado (W_{Di}) é igual a multiplicação entre a quantidade de material de um elemento (Q_{Di}) pelo nível médio de geração de resíduo (L_{Di}):

$$W_{Di} = Q_{Di} \cdot L_{Di} \quad (3)$$

Para o cálculo do número de caminhões ou caçambas é utilizada as Equações 4 e 5, onde VT_{Inert} é o volume de resíduos inertes totais (m^3); $VT_{n-Inert}$ é o volume total de resíduos não inertes (m^3); V_{truck} é a capacidade do caminhão (m^3).

$$N_{inert} = \frac{VT_{inert}}{V_{truck}} \quad (4)$$

$$N_{n-inert} = \frac{VT_{n-inert}}{V_{truck}} \quad (5)$$

Para uma melhor integração com as práticas atuais de gerenciamento de resíduos, divide-se os materiais em materiais inertes e não inertes. Os resíduos não inertes comuns incluem madeira, plástico, metal e outros materiais orgânicos. Os resíduos inertes comuns incluem concreto, tijolos, asfalto, areia, rochas, escombros e solo (CHENG e MA, 2013).

3.6 VALIDAÇÃO DO PLUG-IN

3.6.1 Índices de geração de Resíduos

O método escolhido para validação é o método espanhol, modelo proposto por Solís-Guzmán *et al.* (2009). Este modelo é baseado no Volume Aparente Construído, enquanto que no método utilizando a tecnologia BIM, possuímos o Volume Real Construído como base de cálculo.

O volume aparente construído pode ser adquirido pela equação 6, por meio do consumo do material em unidade padrão do elemento (m , m^3 , kg) por metro quadrado de área construída, multiplicado por um fator CC_i em metro cúbico por unidade padrão.

$$VAC(m^3/m^2) = Q(un/m^2) \cdot CC_i(m^3/un) \quad (6)$$

3.6.2 Utilização dos IGR's no modelo BIM e análise dos resultados

Com os Índices de Geração de Resíduos de calça, realiza-se a inserção destas variáveis no Plug-in. Os resultados advindos da inserção do parâmetro IGR serão gerados por meio da ferramenta Dynamo, fornecendo discriminadamente o Volume total de cada material e o volume total de resíduos de cada material. Desta forma, os resultados foram comparados, verificando o grau de proximidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MODELO DE RESIDÊNCIA

A residência foi baseada em uma habitação unifamiliar, destinada a servir de moradia a uma só família, sendo constituída, por no mínimo: cozinha, banheiro, quarto e sala.

As áreas foram selecionadas através da Tabela 3, de Dimensões Mínimas dos Compartimentos | Usos Habitacionais, presente no **Regulamento de Edificações – Anexo III na pág. 209 da Portaria nº 80/2013 – Caderno de Anexos**.

Tabela 3 – Dimensões Mínimas dos Compartimentos | Usos Habitacionais

USO	COMPARTIMENTO	CÍRCULO INSCRITO Ø MÍNIMO (m)	ÁREA MÍNIMA A (m ²)	ILUMINAÇÃO MÍNIMA (m ²)	VENTILAÇÃO MÍNIMA (m ²)	PÉ-DIREITO PD (m)		PROFUNDIDADE MÁXIMA (m)	VERGA MÁXIMA (m)
						MÍNIMO	MÁXIMO		
COMPARTIMENTOS INTERNOS HABITAÇÃO UNIFAMILIAR HABITAÇÃO UNIFAMILIAR EM SÉRIE HABITAÇÃO COLETIVA HABITAÇÃO TRANSITÓRIA	SALA DE ESTAR	2,40	8,00	1 / 6 x A	1 / 12 x A	2,40	3,60	3 x PD	1 / 8 x PD
	SALA DE JANTAR	2,40	6,00	1 / 6 x A	1 / 12 x A	2,40	3,60	3 x PD	1 / 8 x PD
	COPA	1,50	4,00	1 / 8 x A	1 / 16 x A	2,20	3,30	3 x PD	1 / 8 x PD
	COZINHA	1,50	4,00	1 / 8 x A	1 / 16 x A	2,20	3,30	3 x PD	1 / 8 x PD
	1º QUARTO	2,40	9,00	1 / 6 x A	1 / 12 x A	2,40	3,60	3 x PD	1 / 8 x PD
	DEMAIS QUARTOS	2,00	6,00	1 / 6 x A	1 / 12 x A	2,40	3,60	3 x PD	1 / 8 x PD
	BANHEIRO	1,00	1,50	1 / 8 x A	1 / 16 x A	2,20	3,30	3 x PD	1 / 8 x PD
	CLOSET VESTÍBULO	0,80	1,00	-	-	2,20	3,30	3 x PD	1 / 8 x PD
	DEPÓSITO	1,60	4,00	1 / 10 x A	1 / 20 x A	2,20	3,30	-	1 / 8 x PD
	GARAGEM	2,40	10,80	-	1 / 10 x A	2,00	3,00	3 x PD	1 / 8 x PD
	QUARTO EMPREGADA	1,60	4,00	1 / 6 x A	1 / 12 x A	2,40	3,60	3 x PD	1 / 8 x PD
	CORREDOR	0,80	-	-	-	2,20	3,30	-	-
	ESCRITÓRIO ATELIER	2,40	6,00	1 / 6 x A	1 / 12 x A	2,40	3,60	3 x PD	1 / 8 x PD
ESCADA	0,80	-	-	-	-	-	-	-	

Fonte: Caderno de Anexos, Regulamento de Edificações, pág. 209, Curitiba (2013).

Na Tabela 4 apresenta-se a composição final da planta com áreas separadas por cômodos, área total interna e área construída. A disposição dos cômodos e aberturas foram propostas pelos autores, com o intuito de refletir a realidade de habitações populares.

Tabela 4 – Áreas da Residência

Planta com Áreas	Compartimento	Área
	Sala Estar / Jantar	12,09 m ³
	Cozinha	3,91 m ³
	Banheiro	2,42 m ³
	1º Quarto	8,66 m ³
	2º Quarto	7,36 m ³
	Serviço	4,47 m ³
	Varanda	3,57 m ³
	Área Total Interna	41,47 m³
Área Total Construída	49,51 m³	

Fonte: Autoria própria.

O modelo foi ganhando forma com o projeto estrutural em concreto armado, representado na Figura 20. Pilares e vigas foram executados com estribos a cada 15 cm e vergalhões variando entre 4,2 mm à 10 mm de diâmetro. A fundação foi feita de estacas rasas em conjunto com o modelo de sapata corrida e a laje é do tipo maciça executada com malha de aço.

No projeto arquitetônico, Figura 21, incluiu-se paredes com largura de 20 e 15 centímetros, sendo respectivamente fechamentos externos e internos. A espessura final das paredes inclui a largura dos blocos cerâmicos, acabamento e revestimentos. Nas aberturas foram previstas portas e janelas com dimensões padronizadas.

Cobertura de telha cerâmica e forro com espessura de 2cm completam a lista dos elementos criados.

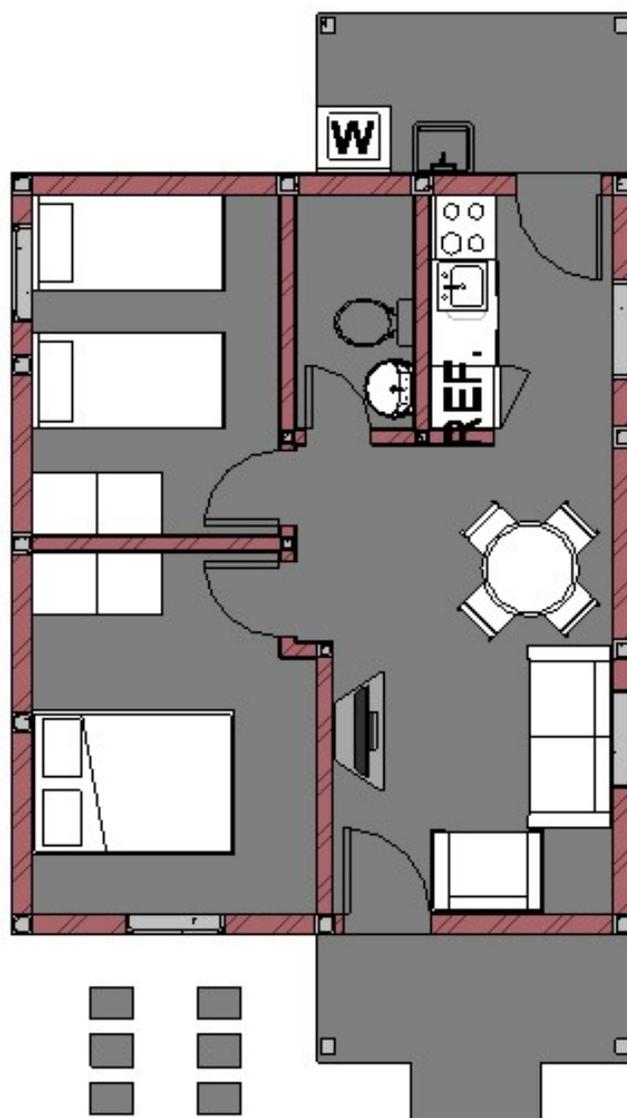


Figura 19 – Planta residencial final no Revit
Fonte: Autoria própria.

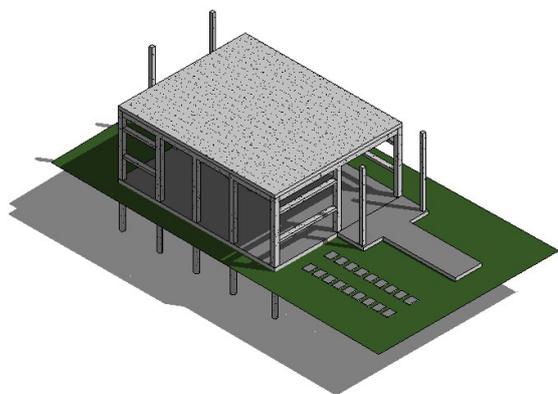


Figura 20 – Modelo Estrutural em Revit
Fonte: Autoria própria.

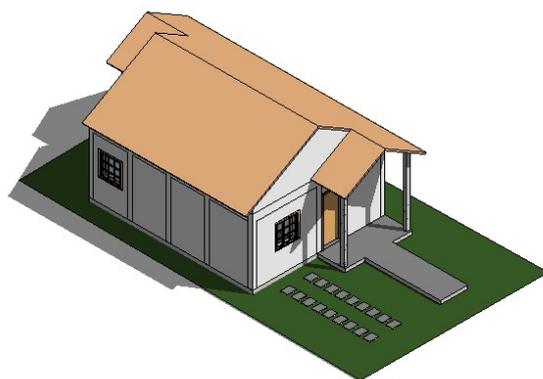


Figura 21 – Modelo Arquitetônico em Revit
Fonte: Autoria própria.

4.2 PLUG-IN FINAL

O plug-in permite a inserção dos parâmetros de IGR pelo usuário, através do Menu “Resíduos”, conforme apresentado na Figura 22.

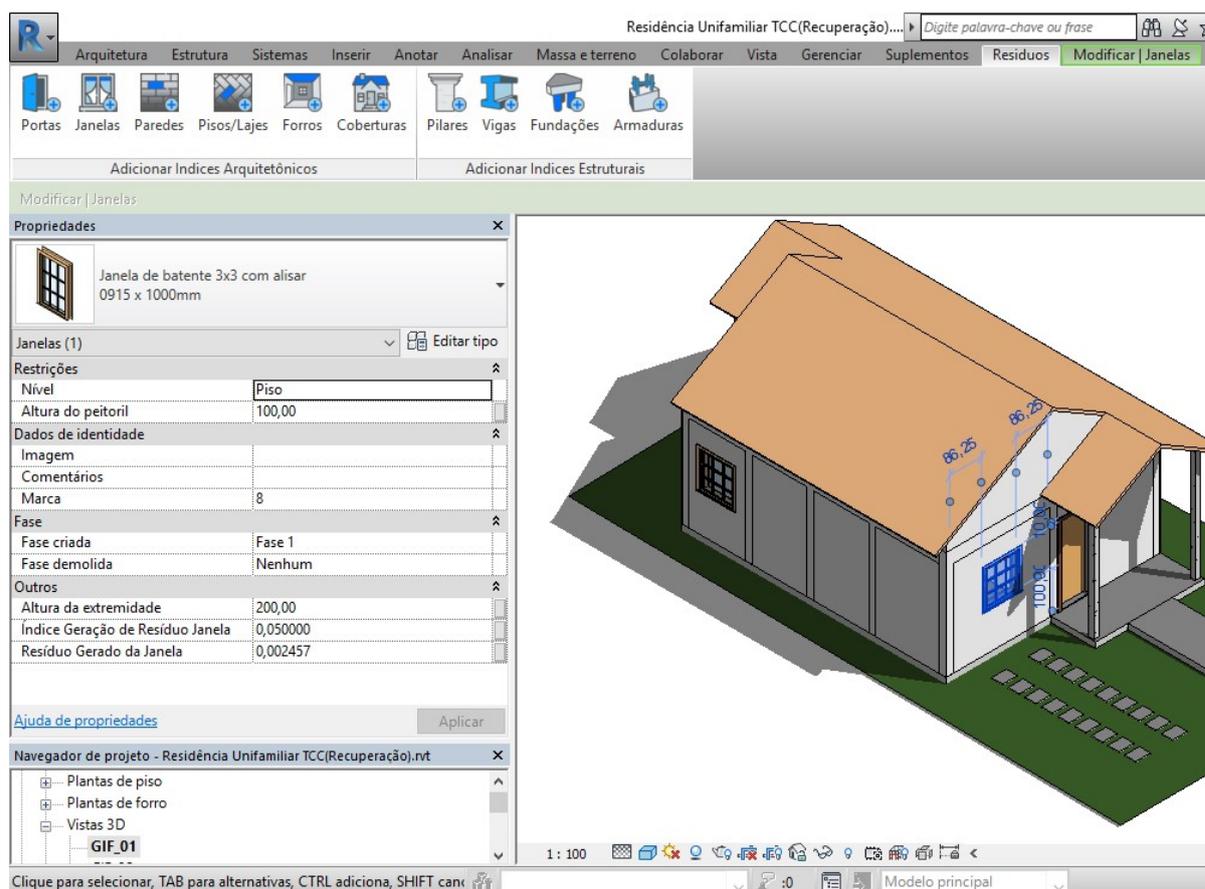


Figura 22 – Tela do Revit com menu e botões inseridos

Fonte: Autoria própria.

Abaixo dos IGR's é possível observar, o parâmetro “Resíduo Gerado”, que será calculado ao se executar o Dynamo, que é acessado pelo Menu “Gerenciamento”, como mostrado na Figura 23.

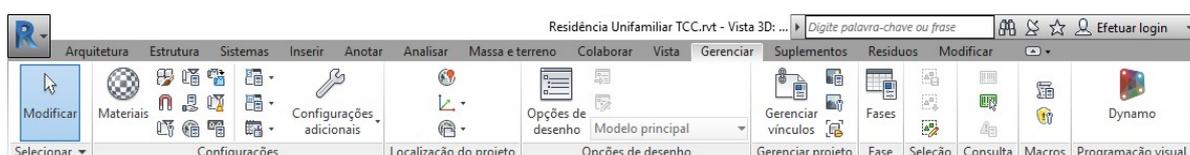


Figura 23 – Botão do Dynamo dentro do Revit

Fonte: Autoria própria.

O Dynamo iniciará, apresentando a tela da Figura 24, sendo necessário abrir o arquivo “Revit to Excel.dyn” (Figura 25). A extensão.dyn é um arquivo gerado através do Dynamo contendo um sistema programado por nodes, como mostra a Figura 26, para coletar e organizar em linhas e colunas os parâmetros de cada categoria, possibilitando a exportação para o arquivo tipo Excel ao se pressionar Executar.

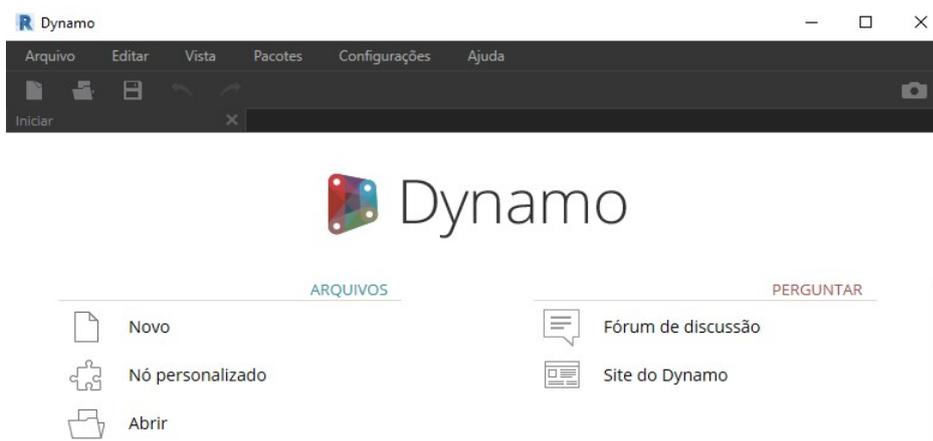


Figura 24 – Tela inicial do Dynamo
Fonte: Autoria própria.

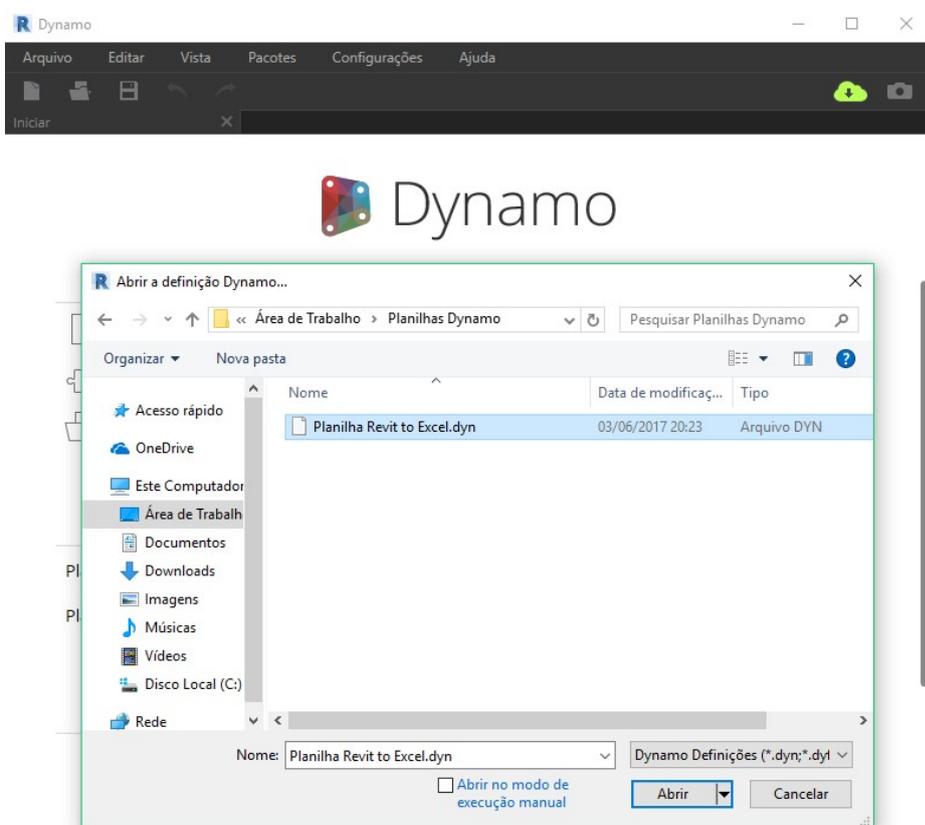


Figura 25 – Selecionando o arquivo "Revit to Excel.dyn"
Fonte: Autoria própria.

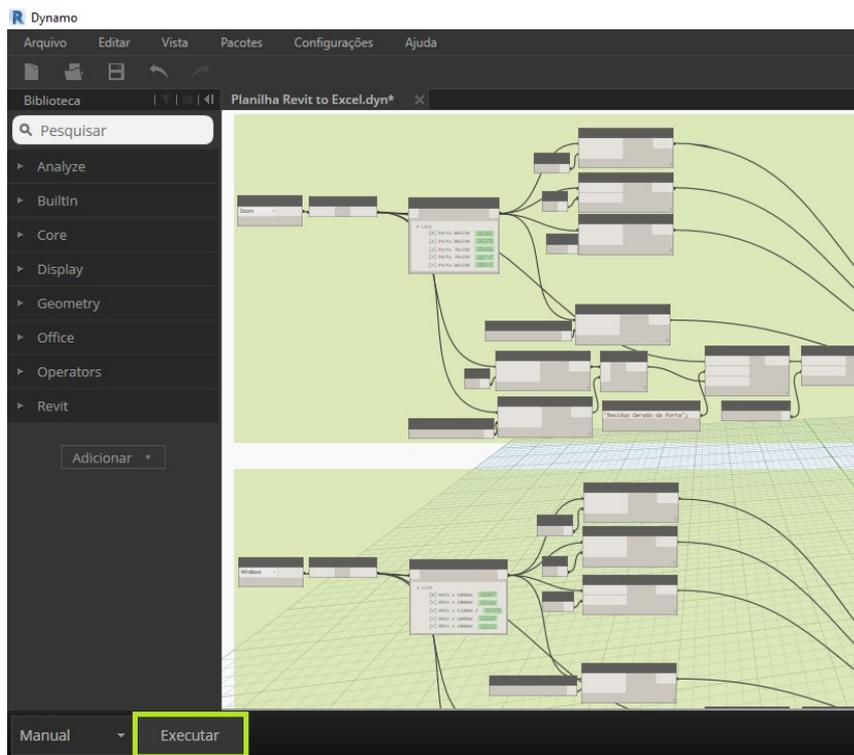


Figura 26 – Botão "Executar" no Dynamo
Fonte: Autoria própria.

Ao pressionar “Executar”, será criado um arquivo tipo Excel chamado “Revit to Excel.xlsx” contendo cada elemento em uma planilha diferente, com a categoria, tipo, unidade de medida, IGR e o resíduo gerado pelo elemento, conforme apresentado na Figura 27.

 A screenshot of an Excel spreadsheet titled 'Revit to Excel.xlsx'. The spreadsheet has a green header row and a table with 5 columns: 'Categoria', 'Tipo', 'Volume', 'Índice', and 'Resíduo Gerado'. The data rows show various wall types and their associated values. The 'Paredes' sheet is selected in the bottom pane.

Categoria	Tipo	Volume	Índice	Resíduo Gerado
Paredes	Parede Externa 20 cm	4,020009046	0,056	0,225120507
Paredes	Parede Externa 20 cm	4,17298375	0,056	0,23368709
Paredes	Parede Externa 20 cm	3,969799442	0,056	0,222308769
Paredes	Parede Externa 20 cm	3,862574145	0,056	0,216304152
Paredes	Parede 15 cm	1,051875	0,056	0,058905
Paredes	Parede 15 cm	0,144375	0,056	0,008085
Paredes	Parede 15 cm	1,2915	0,056	0,072324
Paredes	Parede 15 cm	0,94875	0,056	0,05313
Paredes	Parede 15 cm	0,574125	0,056	0,032151
Paredes	Parede 15 cm	0,9075	0,056	0,05082

Figura 27 – Excel “Revit to Excel.xlsx” gerado pelo Dynamo
Fonte: Autoria própria.

Com este arquivo tipo Excel aberto ("Revit to Excel.xlsx"), é necessário abrir um outro arquivo tipo Excel, que já vem acompanhado com o plug-in, chamado "DashBoard.xlsxm". Ele tem a função de exportar todas as informações do "Revit to Excel.xlsx", refinando e analisando os dados de resíduo gerados, como mostrado na Figura 28.



Figura 28 – Excel "DashBoard"

Fonte: Autoria própria.

Alterando-se o modelo 3D, deve-se abrir novamente o aplicativo Dynamo e clicar na opção "Executar" novamente. Os dados serão automaticamente atualizados, modificando planilhas e gráficos dinâmicos, previamente programados no arquivo "DashBoard", conforme a Figura 29.



Figura 29 – Refinamento de dados no Excel

Fonte: Autoria própria.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS BIM

Os resultados obtidos após a execução do plug-in estão registrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade Total Construído e de Resíduo

	Total Construído	Resíduo Gerado
Pisos	17,43 m³	0,70 m³
Paredes	17,42 m³	0,98 m³
Portas	0,48 m³	0,01 m³
Janelas	0,22 m³	0,01 m³
Fornos	0,69 m³	0,03 m³
Cobertura	4,62 m³	0,28 m³
Pilares	1,65 m³	0,13 m³
Vigas	3,13 m³	0,17 m³
Fundações	0,80 m³	0,02 m³
Armaduras	0,85 m³	0,01 m³

Fonte: Autoria própria.

Esses resultados podem ser apresentados no Gráfico 2, onde fica mais claro as diferenças de geração de resíduos, durante a construção, entre cada elemento. Na residência analisada as paredes são as que geram um maior número de resíduos, porem as vigas e pilares geram uma porcentagem maior de resíduo.



Gráfico 2 – Quantitativo do Total Construído e dos Resíduos Gerados

Fonte: Autoria própria.

São representados no Gráfico 3 o volume total de material construído e o volume total de resíduos gerados na residência unifamiliar analisada. Os resíduos compõem 5% de todo material usado na construção.

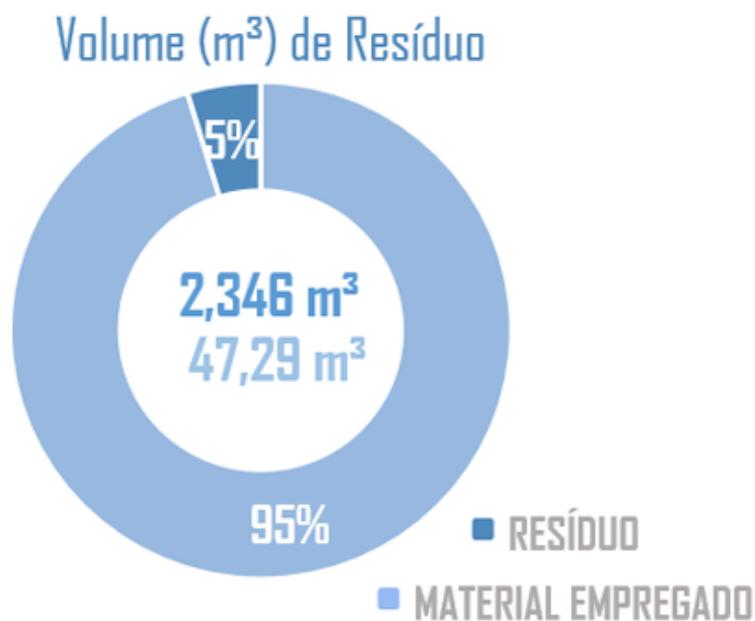
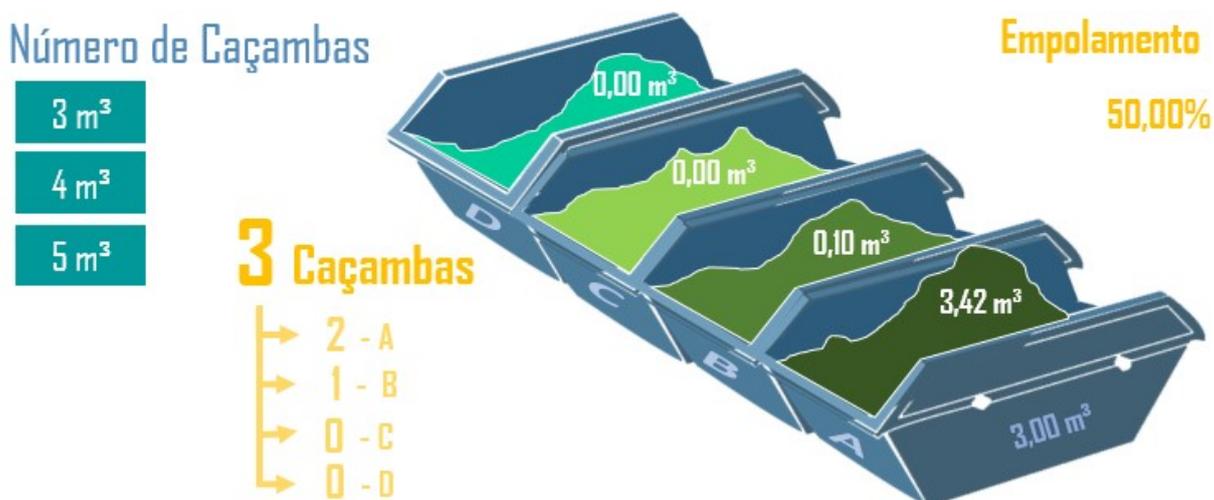


Gráfico 3 – Volume Construído e Volume de Resíduos Gerados

Fonte: Autoria própria.

As paredes geraram um volume de 0,98 m³, representando a maior quantidade de resíduo gerado, enquanto a portas e janelas representam as menores quantidades de resíduo, com 0,0096 m³ e 0,0112 m³ respectivamente.

Assim serão necessárias 2 caçambas de 3 m³ ou 1 caçamba de 4 m³, para resíduos classe A (concreto e cerâmica) e uma caçamba de 3 m³ para resíduos classe B (madeira, gesso e aço), conforme o Infográfico 1 gerado pelo arquivo tipo Excel “Dashboard.xlsm”.



Infográfico 1 – Quantidade Total de Caçambas

Fonte: Autoria própria.

A análise realizada no pelo Método BIM, levou em consideração os elementos com maior geração de resíduos, segundo estudos apresentados neste trabalho. O volume total de resíduos gerados foi de 2,346 m³ em uma residência com área total construída de 49,51 m², resultando em uma geração média e aproximada de 0,047 m³/m².

Segundo Pinto (2004 *apud* NAGALLI *et al.*, 2013), os resíduos de construção pesam em média 1.300 kg/m³. Desta forma, o índice 0,047 m³/m² pode ser convertido para 61,6 kg/m². Comparando o valor obtido com o índice de geração de resíduos citado por Novaes e Mourão (2008), de 100 a 300 kg/m², conclui-se que o volume de resíduos por metro quadrado está abaixo da média brasileira.

Contudo, de acordo com a pesquisa realizada por Nagalli *et al.* (2013), o volume de geração de resíduos por metro quadro em seu estudo foi de 0,051 m³/m². O resultado foi obtido através de análise considerando 10 obras situadas na cidade de Curitiba da mesma construtora. Segundo Nagalli *et al.* (2013), as obras possuíam o mesmo padrão, sendo verticais, de finalidade residencial e concluídas em datas próximas.

Em comparação com o resultado obtido por Nagalli *et al.* (2013), o volume de resíduos gerados por metro quadro nesta pesquisa foi inferior ao valor encontrado em apenas 0,004 m³/m². Este valor equivale a 7,84 % do valor do índice encontrado.

4.4 VALIDAÇÃO DO PLUG-IN

Os resultados obtidos através da literatura são apenas referentes aos resíduos de calça. Na Tabela 6 são apresentados os resultados para quantidades aparentes de materiais e resíduos, assim como o Índice de Geração de Resíduos para cada categoria. Os materiais presentes na Tabela 6 são os mesmos que foram empregados no modelo 3D.

Tabela 6 – Tabela Final pelo Método de Sólis-Guzmán

ELEMENTO	CONSUMO /M ²	UNID	CCI	VOL. APARENTE (m ³ /m ²)	ÁREA (m ²)	VOLUME TOTAL DE MATERIAL	CRi	M ³ DE RESÍDUOS POR M ²	VOLUME TOTAL DE RESÍDUO EM 49,51M ²
Concreto	0,01	M ³	1	0,0100	49,51	0,4951	0,08	0,0008	0,0396
Fundação de concreto	0,02	M ³	1	0,0200	49,51	0,9902	0,03	0,0006	0,0297
Laje de concreto	1,24	M ²	0,25	0,3100	49,51	15,3481	0,04	0,0124	0,6139
Armadura	12,67	KG	0,0001	0,0013	49,51	0,0627	0,05	0,0001	0,0031
Parede externa	0,95	M ²	0,12	0,1140	49,51	5,6441	0,056	0,0064	0,3161
Parede interna	0,35	M ²	0,12	0,0420	49,51	2,0794	0,056	0,0024	0,1164
Cobertura	0,29	M ²	0,16	0,0464	49,51	2,2973	0,061	0,0028	0,1401
Revestimento	0,48	M ²	0,03	0,0144	49,51	0,7129	0,045	0,0006	0,0321
Pisos	0,03	M ²	0,2	0,0060	49,51	0,2971	0,03	0,0002	0,0089
Teto	0,09	M ²	0,05	0,0045	49,51	0,2228	0,05	0,0002	0,0111
Portas de madeira	0,15	M ²	0,05	0,0075	49,51	0,3713	0,02	0,0002	0,0074
Janelas	0,13	M ²	0,01	0,0013	49,51	0,0644	0,05	0,0001	0,0032

Fonte: Autoria própria.

Os resultados provenientes do modelo BIM estão na Tabela 7. Os índices de geração de resíduos retirados do modelo de Solís-Guzmán *et al.* (2009) foram aplicados no modelo BIM para que fosse possível a comparação dos volumes de resíduos gerados.

Tabela 7 – Quantidade Total Construída e Resíduo Gerado

	Total Construído	Resíduo Gerado
Pisos	17,43 m ³	0,70 m ³
Paredes	17,42 m ³	0,98 m ³
Portas	0,48 m ³	0,01 m ³
Janelas	0,22 m ³	0,01 m ³
Forros	0,69 m ³	0,03 m ³
Cobertura	4,62 m ³	0,28 m ³
Pilares	1,65 m ³	0,13 m ³
Vigas	3,13 m ³	0,17 m ³
Fundações	0,80 m ³	0,02 m ³
Armaduras	6631,05 kg	75,55 kg

Fonte: Autoria própria.

Fazendo uma compilação dos dados, chega-se a Tabela 8. Pode-se notar uma diferença considerável no consumo de determinados itens. A diferença chega a alcançar, aproximadamente, 6142,76 kg de armadura e 2,3 m³ de cobertura.

Tabela 8 – Comparação entre Resultados do BIM e Solís-Guzmán

Elemento	BIM		SOLÍS-GUZMÁN		Diferença de Resíduo Gerado
	Total Construído	Resíduo Gerado	Total Construído	Resíduo Gerado	
Pisos	17,43 m ³	0,70 m ³	15,6452 m ³	0,6228 m ³	11%
Paredes	17,42 m ³	0,98 m ³	11,9319 m ³	0,6682 m ³	32%
Portas	0,48 m ³	0,01 m ³	0,3713 m ³	0,0074 m ³	26%
Janelas	0,22 m ³	0,01 m ³	0,0644 m ³	0,0032 m ³	68%
Forros	0,69 m ³	0,03 m ³	0,2228 m ³	0,0111 m ³	63%
Cobertura	4,62 m ³	0,28 m ³	2,2973 m ³	0,1401 m ³	50%
Armaduras	6631,05 kg	75,55 kg	489,2875 kg	0,0031 kg	100%
Estruturas de Concreto	4,78 m ³	0,30m ³	1,4873 m ³	0,0693 m ³	77%

Fonte: Autoria própria.

No método BIM, usa-se o volume real de materiais empregado na construção, enquanto que no método espanhol a quantificação dos materiais é baseada no consumo de materiais por metro quadrado. No trabalho de Solís-Guzmán *et al.* (2009), os valores de consumo foram calculados com base em levantamentos realizados em diversos conjuntos habitacionais na Espanha, divergindo em diversos quesitos do modelo de construção nacional.

Comparando os resultados encontrados pelo método de Solís-Guzmán *et al.* (2009) e pelo método BIM, chega-se à conclusão de que a quantificação dos resíduos sofre grande variação com o método construtivo empregado. O índice de geração de resíduos foi mantido o mesmo em ambos os métodos, porém a quantidade de materiais consumidos diverge por conta dos fatores regionais, evidenciados pela diferença entre os métodos.

O método BIM apresentou resultados compatíveis com a pesquisa realizada por Nagalli *et al.* (2013) na cidade de Curitiba, porém, em comparação com o método espanhol não foi possível alcançar um grau mínimo de confiabilidade.

O modelo de CHENG e MA (2013) também utilizou a tecnologia de informação multidisciplinar de obra (BIM – *Building Information Model*) para estimativa de RCD. Seus resultados foram comparados com o modelo proposto por Solís-Guzmán *et al.* (2009), resultando em uma diferença de 15,8%. (CHENG e MA, 2013 *apud* NAGALLI, 2014). No estudo realizado neste trabalho, considerando apenas os resíduos de calça provenientes dos elementos abordados, a geração de resíduos foi de 0,0268 m³/m² para o modelo espanhol e 0,047 m³/m² para o modelo BIM. Considerando o elemento “armaduras” como sendo um dado espúrio e somando os demais volumes de resíduos gerados pelos dois métodos, calcula-se uma diferença de 34,1% entre os métodos.

Com os resultados é possível concluir que não é recomendável a utilização de métodos baseados no consumo aparente, advindo de regiões muito distintas em questão de mão de obra, métodos construtivos e gerenciamento.

5. CONCLUSÕES

Como ferramenta para auxílio no gerenciamento de resíduos, a tecnologia BIM vem sendo implementada, tornando-se uma tendência no setor da Construção Civil. Neste trabalho, para utilização desta tecnologia foi necessário o desenvolvimento de um modelo 3D e a inserção de parâmetros adicionais no software utilizado. O principal parâmetro é o índice de geração de resíduos, sendo inserido com a criação do plug-in no software BIM.

O software BIM utilizado foi o Autodesk Revit®, que proporciona ao usuário a opção de personalização, conforme suas necessidades. Desta forma, por meio de linguagem computacional, pôde ser criado um menu especial para utilização no gerenciamento de Resíduos, botões para seleção de elementos e os parâmetros necessários para o cálculo do volume de resíduos gerados e número de caçambas necessárias para destinação correta dos mesmos.

A compilação dos dados foi realizada com o aplicativo do próprio Revit, chamado Dynamo®, que exporta os resultados para uma planilha de Excel®. Os resultados gerados, por sua vez, atualizam automaticamente um painel de indicadores que facilitam a leitura e compreensão dos resultados.

Para realizar a validação destes resultados, utilizou-se os índices de geração de resíduos da pesquisa de Solís-Guzmán *et al.* (2009) e comparou-se os resultados dos volumes de resíduos gerados. A diferença entre os resultados chegou a 34,1%, muito acima do valor de 15,6%, encontrado por Cheng e Ma (2013). Neste trabalho, o volume total de resíduos em metro cúbico calculado pelo método de BIM foi 34,1% maior. No trabalho de Cheng e Ma (2013), o resultado pelo método de Solís-Guzmán *et al.* (2009) foi 15,6% maior.

Acredita-se que a diferença entre os resultados está relacionada ao processo de análise de consumo dos materiais utilizados. Enquanto o método BIM calcula automaticamente o volume de material empregado no projeto, a metodologia de Solís-Guzmán *et al.* (2009) utiliza o consumo de materiais por metro quadrado de área construída, baseado em um levantamento realizado na Espanha.

A diferença entre os métodos é evidenciada por fatores regionais, como, métodos construtivos, qualidade de mão de obra e gerenciamento dos processos. Esses fatores influenciaram na validação, pois o modelo 3D de habitação popular criado, foi baseado nos métodos construtivos comumente utilizados no País. Os

componentes analisados também possuem um consumo muito maior no padrão brasileiro, gerando neste trabalho um maior volume de resíduos em comparação com o resultado proveniente do método espanhol.

A utilização dos índices de geração de resíduos de Solíz-Guzmán (2009), proporcionaram um resultado de $0,0535\text{m}^3/\text{m}^2$ de resíduo. Comparado ao cenário nacional, o resultado chega muito próximo ao encontrado por Nagalli *et al.* (2013) ($0,051\text{ m}^3/\text{m}^2$) em seu estudo realizado na cidade de Curitiba.

Por fim, pode-se concluir que o plug-in criado, utilizando a tecnologia BIM, facilita o processo de quantificação dos resíduos e reduz fatores regionais, tornando o método mais genérico e confiável.

REFERÊNCIAS

ABDELHAMID, Manal S. **Assessment of different construction and demolition waste management approaches**. HBRC Journal, v. 10, n. 3, p. 317-326, jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12721: **Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios**. Rio de Janeiro, 2005.

AHANKOUB, A., KHOSHNAVA, S.M., ROSTAMI, R., and PREECE, C. **BIM Perspectives on Construction Waste Reduction**. Management in Construction Research Association (MiCRA) *Postgraduate Conference*, p. 195-199. jan. 2012.

ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos**. São Paulo, 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E. ; JOHN, V. M. . **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil**. In: IV Seminário Desenvolvimento sustentável a reciclagem na construção - práticas recomendadas, 2001. <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf> > Acesso em 18 de Out. 2016.

BÁEZ, Ana de G.; SÁEZ, Paola V.; MERINO, Mercedes del R.; NAVARRO, Justo G. **Methodology for quantification of waste generated in Spanish railway construction works**. Waste Management, v. 32, n. 5, p. 920-924, mai. 2012.

BERGSDAL, Håvard; BOHNE, Rolf A.; BRATTEBØ, Helge. **Projection of Construction and Demolition Waste in Norway**. Journal of Industrial Ecology, v. 11, n 3, p. 27-39, jul. 2007.

BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H. **Construction waste: quantification and source evaluation**. Journal of construction engineering and management, v. 122, n. 1, p. 55-60, mar. 1996.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília. 2012.

CBIC. **Câmara Brasileira da Indústria da Construção**. Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras v.1. Fundamentos BIM. Brasília. 2016.

CBIC. **Câmara Brasileira da Indústria da Construção**. Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras v.3. Colaboração e integração BIM. Brasília. 2016.

CHENG, Jack C.P.; MA, Lauren Y.H.; **A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning**. Waste Management, v. 33, n. 6, p. 1539-1551, mar. 2013.

CHENG, J.C.P., WON, J., and DAS, M. **Construction and demolition waste management using BIM technology**. Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, 28-31 July, Perth, Australia. 2015.

CHENG, J.C.P., WON, J. **Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization**. Automation in construction. P. 16, China. 2017.

COCHRAN, Kimberly M.; TOWNSEND, Timothy G.; REINHART, Debra; HECK, Howell. **Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US**. Waste Management, v. 27, n. 7, p. 921-931, jan. 2007.

COCHRAN, Kimberly M.; TOWNSEND, Timothy G. **Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach**. Waste Management. v. 30, n. 11, p. 2247-2254, nov. 2010.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 307, de 16 de agosto de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 308, de 5 de julho de 2004. Altera a resolução n° 307/02(altera o inciso IV do art. 3°). 2004.

CURITIBA. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. out. 2010. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00084142.pdf> Acesso em 16 out 2016.

CURITIBA. Lei n.º 11.682/2006, de 06 de abril de 2006. Dispõe sobre o programa municipal de gerenciamento de resíduos da construção civil em Curitiba – PROMGER, conforme especifica. abr. 2006. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/2006/1169/11682/lei-ordinaria-n-11682-2006-dispoe-sobre-o-programa-municipal-de-gerenciamento-de-residuos-da-construcao-civil-em-curitiba-promger-conforme-especifica> Acesso em 16 out 2016.

DING, Tao; XIAO, Jianzhuang. **Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai**. Waste Management. v. 34, n. 11, p. 2327-2334, nov. 2014.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

FATTA, D.; PAPADOPOULOS, A.; AVRAMIKOS, E.; SGOUROU, E.; MOUSTAKA, K.; KOURMOUSSIS, F.; MENTZIS, A.; LOIZIDO, M. 2003. **Generation and**

management of construction and demolition waste in Greece: An existing challenge. Resources Conservation and Recycling, 40(1):81-91.

FAZLI, Abdulsame; FATHIA, Sajad; ENFERADI, Mohammad H.; FAZLIB, Mayram; FATHIC, Behrooz. **Appraising Effectiveness of Building Information Management (BIM) in Project Management.** Procedia Technology, v. 16, p. 1116-1125, 2014.

FRANKLIN ASSOCIATES. **Characterization of Building-related Construction and Demolition Debris in the United States**, The U.S. Environmental Protection Agency Municipal and Industrial Solid Waste Division Office of Solid Waste Report No. EPA530-R-98-010. 1998.

GHEEWALA, S.H. and KOFOWOROLA, O.F. **Estimation of construction waste generation and management in Thailand**, Journal of Waste Management, Vol. 29, No. 2, p. 731–738. 2009.

GONÇALVES, Augusto. Meu primeiro plug-in para Revit. **Autodesk University**, São Paulo, 2011. Disponível em: < http://damassets.autodesk.net/content/dam/au/Brasil-2014/documents/materialapoio/2011/AUBR_81-Meu%20Primeiro%20Plugin%20Revit.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2017.

HANNAN, M.A.; MAMUN, M.A.A.; HUSSAIN, A.; BASRI, H.; BEGUM, R.A. **A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: issues and challenges**, Waste Management. 43 (2015) 509–523, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.033>

HARDIN, Brad; MCCOOL, Dave. **BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows.** John Wiley & Sons, 2015.

IFC. Corporação Financeira Internacional. **Gestão de Resíduos Sólidos de Curitiba.** set. 2015. Disponível em: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/86723b0049e2748d8a64abe54d141794/LAC+Brochura+Residuos+Solidos+de+Curitiba.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em 16 out 2016.

INNES, S. **Developing tools for designing out waste pre-site and on-site.** Proceedings of Minimising Construction Waste Conference: Developing Resource Efficiency and Waste Minimisation in Design and Construction. London: New Civil Engineer, 2004.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** Brasília: IPEA, 2012.

JALALI, Said. **Quantification of construction waste amount.** International Technical Conference of Waste. Portugal, out. 2007.

KOFOWOROLA, Oyeshola F.; GHEEWALA, Shabbir H. **Estimation of construction waste generation and management in Thailand.** Waste Management, v. 29, n. 2, p. 731-738, fev. 2009.

KRYGIEL, Eddy; NIES, Brad. **Green BIM: successful sustainable design with building information modeling**. John Wiley & Sons, 2008.

LAGE, Isabel M.; ABELLA, Fernando M.; HERRERO, Cristina V.; ORDÓÑEZ, Juan L. P. **Estimation of the annual production and composition of C&D Debris in Galicia (Spain)**. Waste Management, v. 30, n. 4, p. 636-645, abr. 2010.

LAU, H. H.; WHYTE, A.; LAW, P. L. **Composition and Characteristics of Construction Waste Generated by Residential Housing Project**. Int. J. Environ. Res., v. 2, n. 3, p. 261-268, 2008.

LI, Jingru; DING, Zhikun; MI, Xuming; WANG, Jiayuan. **A model for estimating construction waste generation index for building project in China**. Resources, Conservation and Recycling, v. 74, p. 20-26, mai. 2013.

LI, Yashuai; ZHANG, Xueqing. **Web-based construction waste estimation system for building construction projects**. Automation in Construction, v. 35, p. 142-156, nov. 2013.

LI, Yashuai; ZHANG, Xueqing; DING, Guoyu; FENG, Zhouquan. **Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects**. Resources, Conservation and Recycling, v. 106, p. 9-20, jan. 2016.

LIU, Zhen; OSMANI, Mohamed; DEMIAN, Peter; BALDWIN, Andrew. **The potential use of BIM to aid construction waste minimalisation**. IN: Proceedings of the CIB W78-W102 2011: International Conference. 26th-28th October 2011, Sophia Antipolis, France, paper 53. 2011.

LIU, Zhen; OSMANI, Mohamed; DEMIAN, Peter; BALDWIN, Andrew. **A BIM-aided construction waste minimization framework**. Automation in Construction, v. 59, p. 1-23, 2015.

LLATAS, C. **A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list**. Waste Management, v. 31, n. 6, p. 1261-1276, jun. 2011.

LU, W., YUAN, H., LI, J., HAO, J.J.L., MI, X. and DING, Z. (2011) **An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China**, Journal of Waste Management, Vol. 31, No. 4, pp.680–687.

LU, W., WEBSTER, C., CHEN, K., ZHANG, X., CHEN, X., **Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 68, Part 1, Pages 587-595. Fev. 2017.

MASUDI, A.F., CHE HASSAN, C.R., MAHMOOD, N.Z., MOKHTAR, S.N. and SULAIMAN, N.M. **Waste quantification models for estimation of construction and demolition waste generation: a review**, Int. J. Global Environmental Issues, Vol. 12, Nos. 2/3/4, pp.269–281. 2012.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2014.

NAGALLI, A.; BERTOL, A.C. ; RAFFLER, A. ; SANTOS, J. P. . **Analysis of between works characteristics and construction waste generation**. In: 14th International Waste Management and Landfill Symposium, 2013, Santa Margherita di Pula (CA). Symposium Proceedings, 2013.

NOVAES, M. V.; MOURÃO, C. A. M. A. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil**. Cooperativa de Construção Civil do Estado do Ceará, Fortaleza, 2008. 100 p.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. L **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. v. 1. Brasília: CAIXA, 2005. 196 p.

PINTO, Francisco A. R. **Resíduos Sólidos Industriais: Caracterização e Gestão. O Caso do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado em Saneamento Ambiental, UFC. Fortaleza, 2004.

POON, C. S.; ANN, T. W.; NG, L. H. **On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong**. Resources, conservation and recycling, v. 32, n. 2, p. 157-172, jan. 2001.

SACKS, R.; KANER, I.; EASTMAN, C. M.; JEONG, Y. S. "The Rosewood experiment — Building information modeling and interoperability for architectural precast facades", Automation in Construction, v. 19, ed. 4, p. 419-432. jul. 2010.

SÁEZ, Paola V.; MERINO, Mercedes del R.; GONZÁLEZ, Alicia S.; PORRAS-AMORES, César. **Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions**. Resources, Conservation and Recycling, v. 75, p. 52-62, mar. 2013.

SÁEZ, Paola V.; MERINO, Mercedes del R.; PORRAS-AMORES, César; GONZÁLEZ, Alicia S. **Assessing the accumulation of construction waste generation during residential building construction works**. Resources, Conservation and Recycling, v. 93, p. 67-74, dez. 2014.

SÁEZ, Paola V.; PORRAS-AMORES, César; MERINO, Mercedes del R. **New quantification proposal for construction waste generation in new residential constructions**. Journal of Cleaner Production, v. 102, p. 58-65, set. 2015.

SOLÍS-GUZMÁN, Jaime; MARRERO, Madelyn; MONTES-DELGADO, Maria V.; RAMÍREZ-DE-ARELLANO, Antonio. **A Spanish model for quantification and management of construction waste**. Waste Management. v. 29, n. 9, p. 2542-2548, set. 2009.

WON, Jongsung; CHENG, Jack C.P.; LEE, Ghang. **Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea**. Waste Management, v. 49, p. 170-180, mar. 2016.

WU, Zezhou; YU, Ann T.W.; SHEN, Liyin; LIU, Guiwen. **Quantifying construction and demolition waste: An analytical review**. Waste Management, v. 34, n. 9, p. 1683-1692, set. 2014.

YOST, Peter A.; HALSTEAD, John M. **A methodology for quantifying the volume of construction waste**. Waste Management & Research, v. 14, n. 5, p. 453-461, out. 1996.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Código base em C# para inserir parâmetros no Revit

```

using System;
using Autodesk.Revit.ApplicationServices;
using Autodesk.Revit.Attributes;
using Autodesk.Revit.DB;
using Autodesk.Revit.UI;
using System.IO;

namespace WallWaste
{
    [TransactionAttribute(TransactionMode.Automatic)]
    [RegenerationAttribute(RegenerationOption.Manual)]
    public class Wall : IExternalCommand
    {
        const string kSharedParamsGroupAPI = "API Parameters";
        const string kSharedParamsDefWasteRating = "Índice Geração de Resíduo Parede";
        const string kSharedParamsDefWasteCreate = "Resíduo Gerado da Parede";
        const string kSharedParamsPath = "C:\\temp\\SharedParams.txt";

        public Result Execute(ExternalCommandData commandData, ref string message,
            ElementSet elements)
        {
            UIDocument uidoc = commandData.Application.ActiveUIDocument;
            Application app = commandData.Application.Application;
            Document doc = uidoc.Document;

            // Get the current shared params definition file
            DefinitionFile sharedParamsFile = GetSharedParamsFile(app);
            if (null == sharedParamsFile)
            {
                message = "Error getting the shared params file.";
                return Result.Failed;
            }

            // Get or create the shared params group
            DefinitionGroup sharedParamsGroup = GetOrCreateSharedParamsGroup(
                sharedParamsFile, kSharedParamsGroupAPI);
            if (null == sharedParamsGroup)
            {
                message = "Error getting the shared params group.";
                return Result.Failed;
            }

            Category cat =
            doc.Settings.Categories.get_Item(BuiltInCategory.OST_Walls);

            // Visibility of the new parameter:
            // Category.AllowsBoundParameters property indicates if a category can
            // have shared or project parameters. If it is false, it may not be bound
            // to shared parameters using the BindingMap. Please note that non-user-
            visible
            // parameters can still be bound to these categories.
            bool visible = cat.AllowsBoundParameters;

            // Get or create the Rating shared params definition
            Definition wasteRatingParamDef = GetOrCreateSharedParamsDefinition(
                sharedParamsGroup, ParameterType.Number, kSharedParamsDefWasteRating,
            visible);
        }
    }
}

```

```

if (null == wasteRatingParamDef)
{
    message = "Error in creating shared parameter.";
    return Result.Failed;
}

// Get or create the Create shared params definition
Definition wasteCreateParamDef = GetOrCreateSharedParamsDefinition(
    sharedParamsGroup, ParameterType.Number, kSharedParamsDefWasteCreate,
visible);
if (null == wasteCreateParamDef)
{
    message = "Error in creating shared parameter.";
    return Result.Failed;
}

// Create the category set for binding and add the category
// we are interested in, doors or walls or whatever:
CategorySet catSet = app.Create.NewCategorySet();
try
{
    catSet.Insert(cat);
}
catch (Exception)
{
    message = string.Format(
        "Error adding '{0}' category to parameters binding set.",
        cat.Name);
    return Result.Failed;
}

// Bind the param
try
{
    Binding binding = app.Create.NewInstanceBinding(catSet);
    // We could check if already bound, but looks like Insert will just
ignore it in such case
    doc.ParameterBindings.Insert(wasteRatingParamDef, binding);
}
catch (Exception ex)
{
    message = ex.Message;
    return Result.Failed;
}

// Bind the param Create
try
{
    Binding binding = app.Create.NewInstanceBinding(catSet);
    // We could check if already bound, but looks like Insert will just
ignore it in such case
    doc.ParameterBindings.Insert(wasteCreateParamDef, binding);
}
catch (Exception ex)
{
    message = ex.Message;
    return Result.Failed;
}

return Result.Succeeded;
}

```

```

/// <summary>
/// Helper to get shared parameters file.
/// </summary>
public static DefinitionFile GetSharedParamsFile(Application app)
{
    // Get current shared params file name
    string sharedParamsFileName;
    try
    {
        sharedParamsFileName = app.SharedParametersFilename;
    }
    catch (Exception ex)
    {
        TaskDialog.Show("Get shared params file", "No shared params file set:"
+ ex.Message);
        return null;
    }

    if (0 == sharedParamsFileName.Length ||
        !System.IO.File.Exists(sharedParamsFileName))
    {
        StreamWriter stream;
        stream = new StreamWriter(kSharedParamsPath);
        stream.Close();
        app.SharedParametersFilename = kSharedParamsPath;
        sharedParamsFileName = app.SharedParametersFilename;
    }

    // Get the current file object and return it
    DefinitionFile sharedParametersFile;
    try
    {
        sharedParametersFile = app.OpenSharedParameterFile();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        TaskDialog.Show("Get shared params file", "Cannot open shared params
file:" + ex.Message);
        sharedParametersFile = null;
    }
    return sharedParametersFile;
}

public static DefinitionGroup GetOrCreateSharedParamsGroup(
    DefinitionFile sharedParametersFile,
    string groupName)
{
    DefinitionGroup g = sharedParametersFile.Groups.get_Item(groupName);
    if (null == g)
    {
        try
        {
            g = sharedParametersFile.Groups.Create(groupName);
        }
        catch (Exception)
        {
            g = null;
        }
    }
    return g;
}
}

```

```
public static Definition GetOrCreateSharedParamsDefinition(
    DefinitionGroup defGroup,
    ParameterType defType,
    string defName,
    bool visible)
{
    Definition definition = defGroup.Definitions.get_Item(defName);
    if (null == definition)
    {
        try
        {
            return defGroup.Definitions.Create(
                new ExternalDefinitionCreationOptions(defName, defType));
        }
        catch (Exception)
        {
            definition = null;
        }
    }
    return definition;
}
}
```

APÊNDICE B – Código fonte para inserir menus e botões no Revit

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using Autodesk.Revit.Attributes;
using System.Reflection;

using Autodesk.Revit.DB;
using Autodesk.Revit.UI;
using System.Windows.Media.Imaging;

namespace ManagementRibbon
{
    public class App : IExternalApplication
    {
        static void AddRibbonPanel(UIControlledApplication application)
        {
            // Criar uma nova guia de faixa de opções, ribbon tab
            String tabName = "Resíduos";
            application.CreateRibbonTab(tabName);

            // Adiciona uma nova fita de painel, ribbon panel
            RibbonPanel ribbonPanel = application.CreateRibbonPanel(tabName,
            "Adicionar Indices Arquitetônicos");

            // Adiciona uma nova fita de painel, ribbon panel
            RibbonPanel ribbonPanel2 = application.CreateRibbonPanel(tabName,
            "Adicionar Indices Estruturais");

            // Pega o caminho da dll assembly
            string thisAssemblyPath = Assembly.GetExecutingAssembly().Location;

            // Botões Arquitetônicos *****
            // Criar um botão para portas
            PushButtonData b1Data = new PushButtonData(
                "cmdWasteManagement",
                " Portas ",
                thisAssemblyPath,
                "WasteManagement.Waste");

            PushButton pb1 = ribbonPanel.AddItem(b1Data) as PushButton;
            pb1.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
            Construção nas Portas do Projeto";
            BitmapImage pb1Image = new BitmapImage(new
            Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Door2.png"));
            pb1.LargeImage = pb1Image;

            // Criar um botão para janelas
            PushButtonData b2Data = new PushButtonData(
                "cmdAllWaste",
                " Janelas ",
                thisAssemblyPath,
                "AllWaste.AllWindow");

            PushButton pb2 = ribbonPanel.AddItem(b2Data) as PushButton;
            pb2.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
            Construção nas Janelas do Projeto";
        }
    }
}

```

```

        BitmapImage pb2Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Window2.png"));
        pb2.LargeImage = pb2Image;

        // Criar um botão para paredes
        PushButtonData b3Data = new PushButtonData(
            "cmdWallWaste",
            " Paredes ",
            thisAssemblyPath,
            "WallWaste.Wall");

        PushButton pb3 = ribbonPanel.AddItem(b3Data) as PushButton;
        pb3.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
Construção nas Paredes do Projeto";
        BitmapImage pb3Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Wall2.png"));
        pb3.LargeImage = pb3Image;

        // Criar um botão para pisos/lajes
        PushButtonData b4Data = new PushButtonData(
            "cmdFloorWaste",
            " Pisos/Lajes ",
            thisAssemblyPath,
            "FloorWaste.Floor");

        PushButton pb4 = ribbonPanel.AddItem(b4Data) as PushButton;
        pb4.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
Construção nos Pisos e Lajes do Projeto";
        BitmapImage pb4Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Floor2.png"));
        pb4.LargeImage = pb4Image;

        // Criar um botão para forros
        PushButtonData b5Data = new PushButtonData(
            "cmdCeilingWaste",
            " Forros ",
            thisAssemblyPath,
            "CeilingWaste.Ceiling");

        PushButton pb5 = ribbonPanel.AddItem(b5Data) as PushButton;
        pb5.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
Construção nos Forros do Projeto";
        BitmapImage pb5Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Ceiling2.png"));
        pb5.LargeImage = pb5Image;

        // Criar um botão para coberturas
        PushButtonData b6Data = new PushButtonData(
            "cmdRoofWaste",
            " Coberturas ",
            thisAssemblyPath,
            "RoofWaste.Roof");

        PushButton pb6 = ribbonPanel.AddItem(b6Data) as PushButton;
        pb6.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
Construção nas Coberturas e Telhados do Projeto";
        BitmapImage pb6Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Roof2.png"));
        pb6.LargeImage = pb6Image;

        // Botões Estruturais *****
        // Criar um botão para pilares

```

```

        PushButtonData b7Data = new PushButtonData(
            "cmdColumnWaste",
            " Pilares ",
            this.AssemblyPath,
            "ColumnWaste.Column");

        PushButton pb7 = ribbonPanel2.AddItem(b7Data) as PushButton;
        pb7.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
Construção nos Pilares do Projeto";
        BitmapImage pb7Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Column.png"));
        pb7.LargeImage = pb7Image;

        // Criar um botão para vigas
        PushButtonData b8Data = new PushButtonData(
            "cmdBeamWaste",
            " Vigas ",
            this.AssemblyPath,
            "BeamWaste.Beam");

        PushButton pb8 = ribbonPanel2.AddItem(b8Data) as PushButton;
        pb8.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
Construção nas Vigas do Projeto";
        BitmapImage pb8Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Beam.png"));
        pb8.LargeImage = pb8Image;

        // Criar um botão para fundações
        PushButtonData b11Data = new PushButtonData(
            "cmdFoundationWaste",
            " Fundações ",
            this.AssemblyPath,
            "FoundationWaste.Foundation");

        PushButton pb11 = ribbonPanel2.AddItem(b11Data) as PushButton;
        pb11.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
Construção nas Fundações do Projeto";
        BitmapImage pb11Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Foundation.png"));
        pb11.LargeImage = pb11Image;

        // Criar um botão para armaduras
        PushButtonData b10Data = new PushButtonData(
            "cmdRebarWaste",
            " Armaduras ",
            this.AssemblyPath,
            "RebarWaste.Rebar");

        PushButton pb10 = ribbonPanel2.AddItem(b10Data) as PushButton;
        pb10.ToolTip = "Acrescenta Indices de Gerenciamento de Residuo de
Construção e Massa Nominal nas Armaduras do Projeto";
        BitmapImage pb10Image = new BitmapImage(new
Uri("pack://application:,,,/ManagementRibbon;component/Resources/Rebar.png"));
        pb10.LargeImage = pb10Image;
    }

    public Result OnShutdown(UIControlledApplication application)
    {
        // do nothing
        return Result.Succeeded;
    }

```

```
public Result OnStartup(UIControlledApplication application)
{
    // call our method that will load up our toolbar
    AddRibbonPanel(application);
    return Result.Succeeded;
}
}
```

APÊNDICE C – Código fonte para o Dynamo

