

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO

VINÍCIUS AUGUSTO CASTELO BRANCO MATEUS

OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL POR MEIO DE MODELAGEM
MATEMÁTICA APLICANDO A TECNOLOGIA *BIM*.

MANAUS
2019

VINÍCIUS AUGSUTO CASTELO BRANCO MATEUS

OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL POR MEIO DE MODELAGEM
MATEMÁTICA APLICANDO A TECNOLOGIA *BIM*.

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de concentração Pesquisa Operacional.

PROF. DR. ARMANDO ARAÚJO DE SOUZA JÚNIOR

MANAUS
2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M425o Mateus, Vinicius Augusto Castelo Branco
Otimização da gestão de resíduos sólidos na construção civil por
meio de modelagem matemática aplicando a tecnologia BIM /
Vinicius Augusto Castelo Branco Mateus. 2019
100 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Armando Araújo de Souza Júnior
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Resíduos Sólidos da Construção Civil. 2. Modelagem
Matemática de Estimativa. 3. Plano de Gerenciamento. 4.
Tecnologia BIM. I. Souza Júnior, Armando Araújo de II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

Aos meus pais, Jafé e Glória,
meus irmãos, Rafael e Vanessa,
meu companheiro, Felipe
por estarem ao meu lado nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Armando Araújo, pelos incentivos e acompanhamento constante.

À Faculdade de Rondônia – FARO, por viabilizar este mestrado na cidade de Porto Velho.

RESUMO

Esta dissertação teve como objetivo principal desenvolver um plano de gestão de resíduos sólidos na construção de residências por meio de modelagem matemática aplicando a tecnologia *BIM*. A pesquisa tomou como base o estudo de caso único: construção de Casas Geminadas localizadas na Cidade de Porto Velho-RO. A operacionalização da pesquisa foi dividida em cinco partes: elaboração dos projetos construtivos utilizando os *softwares Revit 2019* e *Eberick 2019* cuja metodologia para modelagem incorporam a tecnologia *BIM*. A segunda parte foi realizada a quantificação dos materiais, onde a tabela de quantitativo de material foi reorganizada conforme o *UNIFORMAT II* para atender o modelo matemático de estimativa. Já na terceira etapa aplicou-se modelo matemático para estimar a geração de resíduos, que utilizou taxas de conversão, fluxo de massa e nível de desperdício de cada material, identificando o quantitativo de resíduos sólidos gerados em cada etapa da construção. Em seguida foram apresentados os requisitos legais e técnicos, norteados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e pela Resolução CONAMA nº 307. Por último, foi elaborado o plano de gerenciamento de resíduo sólidos na construção civil a partir dos resultados gerados pelo modelo matemático e de forma que atendesse a legislação brasileira, identificando as responsabilidades de cada um no canteiro de obra quanto a geração, segregação e destinação final dos resíduos sólidos, além de definir todo processo de gerenciamento desses resíduos ainda na fase de projetos, possibilitando assim, um melhor planejamento de controle de resíduos antes de iniciar a execução da obra. Ainda sobre o plano de gestão, foi criada a seção de monitoramento e análise crítica, na qual, os resultados consolidados na etapa de execução da obra serão tratados como dados de entrada do modelo matemático de estimativa de resíduos sólidos da construção civil, a fim de gerar de forma mais assertiva a estimativa dos níveis de desperdício, tomando o processo mais eficaz para as próximas obras. Quanto a limitação do trabalho, o plano de gerenciamento de resíduos sólidos não pôde ser aplicado na durante a execução do projeto das Casas Geminadas devido ao atraso na regularização do terreno, dessa forma a pesquisa se restringiu apenas ao campo teórico, impossibilitando a validação da eficácia do modelo de estimativa, principalmente nos dados referentes ao nível de desperdício de cada material no processo construtivo das residências.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos da Construção Civil. Modelagem Matemática de Estimativa. Plano de Gerenciamento. Tecnologia *BIM*.

ABSTRACT

This dissertation had as main objective to develop a solid waste management plan in the construction of residences through mathematical modeling using BIM technology. For this, the research was developed based on the unique case study: construction of semi-detached houses located in the city of Porto Velho-RO. The operationalization of the research was divided into five parts: elaboration of construction projects using Revit 2019 and Eberick 2019, whose modeling methodology incorporates BIM technology. The second part was the materials quantification, where the material quantitative table was reorganized according to UNIFORMAT II to meet the mathematical estimation model. In the third stage, a mathematical model was applied to estimate the waste generation, which used conversion rates, mass flow and waste level of each material, identifying the amount of solid waste generated in each construction step. Next, the legal and technical requirements, guided by the National Solid Waste Policy and CONAMA Resolution n°. 307, were presented. Finally, the solid waste management plan in building construction was elaborated based on the results generated by the mathematical model and the comply with the Brazilian legislation, identifying the responsibilities of each one in the construction site regarding the solid waste generation, segregation and final destination, besides defining the whole process of waste management in the project phase, thus enabling a better waste control planning before starting work. Still on the management plan, there is the monitoring and critical analysis section, in which, the consolidated results in the execution phase of the work will be treated as input data of the mathematical model of estimation of solid waste of construction, in order to generate more assertively estimating waste levels, making the overall process more effective for future works. As for the limitation of the work, the solid waste management plan can not be applied during the implementation of the Twin Houses project due to the delay in the land regularization, so the research was restricted to the theoretical field, making it impossible to validate the effectiveness. estimation model, mainly in the data regarding the level of waste of each material in the construction process of the residences.

Keywords: Construction Solid Waste. Estimation Mathematical Modeling. Management Plan. BIM Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ações para o desenvolvimento sustentável	30
Figura 2 – Estrutura para otimização da gestão de resíduos	36
Figura 3 – Estrutura EAP para diferentes processos de construção	38
Figura 4 – Revoluções industriais	38
Figura 5 – Integração entre projetos	48
Figura 6 – Etapas da pesquisa	53
Figura 7 – Pré-projeto das casas geminadas	58
Figura 8 – Planta baixa das casas geminadas	58
Figura 9 – Visualização renderizada das casas geminadas	59
Figura 10 – Projeto estrutural	60
Figura 11 – Projeto elétrico	60
Figura 12 – Projeto hidrossanitário	61
Figura 13 – Parametrização do objeto porta no <i>software Autodesk Revit 2019</i>	63
Figura 14 – Geração de resíduos por etapa de construção das casas geminadas	74
Figura 15 – Geração de resíduos por etapa de construção das casas geminadas - exclusão do solo extraído	74
Figura 16 – Fluxograma do processo de gerenciamento de resíduos sólidos	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de resíduos da construção civil	32
Quadro 2 – Número de conflitos antes e após realizar as correções	61
Quadro 3 – Sistemática de cores para coleta seletiva – resíduos classe B	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantitativo de materiais das casas geminadas: UNIFORMAT II	65
Tabela 2 – Taxa de conversão dos materiais das casas geminadas	67
Tabela 3 – Quantitativo de materiais das casas geminadas em quilograma (kg)	68
Tabela 4 – Percentual de nível de desperdício para cada material	70
Tabela 5 – Quantitativo de resíduos gerados para cada material.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AR	Agregado Reciclado
<i>BIM</i>	<i>Building Information Modeling</i>
<i>CAD</i>	<i>Computer-Aided Design</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CE-BIM	Comitê Estratégico de implementação do <i>BIM</i>
C&D	Construção e Demolição
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>CSC</i>	<i>Construction Specification Canada</i>
<i>CSI</i>	<i>Construction Specification Institute</i>
E	Materiais Extraídos
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EUA	Estados Unidos da América
<i>GRI</i>	<i>Global Reporting Initiative</i>
GTI	Grupo de Trabalho para a Indústria 4.0
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<i>IFC</i>	<i>Industry Foundation Classes</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
M	Materiais de Construção
MDIC	Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Materiais de Embalagem
PI	Propriedade Intelectual
PIB	Produto Interno Bruto
PME	Pequenas e Médias Empresas
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PPP	Parceria Público Privado
<i>PWC</i>	<i>Price Waterhouse Coopers</i>
RCC	Resíduos da Construção Civil
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
T	Elementos de Construção Alvo
TI	Tecnologia da Informação
UE	União Europeia
USEPA	<i>United State Environmental Protection Agency</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	SITUAÇÃO PROBLEMA	15
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral.....	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	JUSTIFICATIVA	18
1.5	ESTRUTURA DO PROJETO DE PESQUISA.....	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	PARADIGMA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS	22
2.2	RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
2.3	MODELOS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	34
2.4	QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	42
2.5	TECNOLOGIA <i>BIM</i> NA CONSTRUÇÃO CIVIL	48
3	PERCURSO METODOLÓGICO.....	51
3.1	ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	51
3.2	TIPO DE PESQUISA	52
3.3	OPERACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA	53
4	RESULTADOS	56
4.1	ELABORAÇÃO DOS PROJETOS APLICADO TECNOLOGIA <i>BIM</i>	50
4.2	QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	55
4.3	APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DE ESTIMATIVA DE RESÍDUOS	59
4.4	IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS E TÉCNICOS PARA GESTÃO DE RESÍDUOS	68

4.5	PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	69
4.5.1	Responsabilidades.....	70
4.5.2	Processo de Gerenciamento de Resíduos Sólidos	71
4.5.3	Monitoramento e Análise Crítica	78
5	CONCLUSÕES.....	86
6	CONTRIBUIÇÕES	88
6.1	ACADÊMICAS.....	88
6.2	ECONÔMICAS.....	88
6.3	SOCIAIS.....	88
7	REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

Essa seção contextualizará o projeto de pesquisa, logo em seguida, será apresentada a situação problema. Além disso, serão expostos o objetivo geral e os específicos bem como a justificativa para sua elaboração, e por último, será mostrado como foi estruturado o projeto de pesquisa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente, o grande desafio global é estabelecer planos e diretrizes capazes de nortear os governos, as empresas e a sociedade para o desenvolvimento sustentável.

Um desses planos foi a Agenda 2030, que foi elaborada por um grupo de trabalho envolvendo 77 países, onde houve diversas contribuições especializadas da sociedade, da comunidade científica e do sistema das Nações Unidas. O resultado foi um plano com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS e de 169 metas associadas à apreciação da Assembleia Geral das Organizações das Nações Unidas – ONU em 2015. Essa Agenda tornou-se um plano de ação global para colocar o mundo em um caminho mais sustentável e resiliente até 2030.

Um desses objetivos é intitulado como “Indústria, Inovação e Infraestrutura”, na qual ressalta a importância de promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação, aumentando, então, a eficiência no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados, pois o progresso tecnológico é uma das chaves para as soluções dos desafios econômicos e ambientais.

Ainda sobre a Agenda 2030, o seu décimo segundo objetivo, “Consumo e Produção Responsáveis”, define metas que envolvem mudanças nos padrões de consumo e produção no mundo. Uma vez que se configuram como medidas indispensáveis na redução da pegada ecológica sobre o meio ambiente, visando a promoção da eficiência do uso de recursos energéticos e naturais e redução de desperdícios.

Para alcançar esse objetivo, uma das metas é reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso (AGENDA 2030, 2015). Dessa forma, uma das indústrias que passa a ser afetada diretamente é da construção civil, pois apesar dos benefícios proporcionados à sociedade, como geração de empregos, melhoria na qualidade de vida por meio de construções de moradias, reformas em infraestrutura pública e outros,

tornou-se uma preocupação mundial devido à grande quantidade de resíduos gerados que acarretam impactos no meio ambiente, na sociedade e na economia de um país (SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SINDUSCON, 2005).

Para tal situação, é necessário que a gestão de resíduos seja eficiente, e uma das etapas importantes, segundo Marzouk e Azab (2014), é a reciclagem, pois gera maiores benefícios para o meio ambiente do que o descarte em aterros sanitários, por exemplo. Dentre esses benefícios destacam-se a redução de emissão de poluentes, a economia de energia e até mesmo a contribuição para redução do aquecimento global. Porém, é preciso de legislações rigorosas que restrinjam o descarte em aterros e, ao mesmo tempo, promovam incentivos para encorajar construtores a reciclar seus resíduos.

Compreendendo essa necessidade, as grandes potências industrializadas, por meio de seus governos, estão empenhadas em melhorar a política de controle de geração de resíduos. Nesse sentido, ressalta-se que a União Europeia – UE, por intermédio do *EU Waste Framework Directive*, definiu que os países membros devem atingir a meta de 70% de reciclagem dos resíduos não-perigosos gerados na demolição e construção civil até 2020, como citam Dahlbo, Bachér e Lähtinen (2015).

De acordo com *Interreg Europe Programme Manual* (2016), para atingir essa meta, foi criado o Protocolo de Resíduos de Construção e Demolição da UE, onde um dos principais aspectos abordados é a melhoria no processo de identificação, de separação na origem e recolhimento dos resíduos, ou seja, uma gestão eficiente ainda na fase da construção.

Já no Brasil, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012), por meio de pesquisa bibliográfica e de dados secundários disponíveis, elaborou um relatório que fez um diagnóstico sobre os resíduos da construção, subsidiando a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Apesar dessas medidas governamentais, Manowong (2012) mostra que na maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, a gestão de Resíduos da Construção Civil – RCC é insuficiente e inapropriada, mesmo sendo um ponto relevante no plano de gestão de projetos.

Para Souza, Júnior e Ferreira (2015), além de atender as exigências da legislação vigente sobre resíduos sólidos, as empresas brasileiras do setor da construção civil que fazem a gestão de seus resíduos baseado nos indicadores do relatório de sustentabilidade *Global Reporting Initiative – GRI* conseguem apresentar resultados significativos na redução de geração de resíduos.

Diante do exposto, verifica-se a legislação mais rígida no que se refere ao meio ambiente, visando minimizar ao máximo a sua degradação e a preservação de uma vida mais

saudável, sendo essa uma tendência mundial. Todavia, se não vier acompanhado por uma gestão de resíduos sólidos eficiente por parte dos geradores, não será suficiente para atender a necessidade de diminuição de geração de resíduos e aumentar a prática de reciclagem.

Ademais, Mhaske, Darade e Khare (2017) afirmam que o gerenciamento adequado dos resíduos produzidos pelas construtoras, norteado pela redução, reutilização e reciclagem, tornará o processo construtivo mais rentável e competitivo, além de sustentável.

Além dessas diretrizes voltadas para o desenvolvimento sustentável, as políticas públicas dos maiores países industrializados, segundo Liao, Loures e Deschamps (2018), estão voltadas para o desenvolvimento de sistemas de gestão para atender a demanda futura da indústria, as quais incluem melhorias nas exportações, apoio ao crescimento econômico, aumento da competitividade no mercado global e produção sustentável capaz de aumentar a produtividade sem desperdícios. Para tanto, será necessário grande investimento na área de inovação, além da colaboração mútua entre governo, indústria e universidade.

Corroborando com essa ideia, Stock e Seliger (2016) mostram que os sistemas de informação e tecnologia que serão proporcionados pela Indústria 4.0, produtos e serviços inteligentes, oportunizarão o desenvolvimento sustentável no processo produtivo das indústrias e da construção civil. Em adição, Ribeiro (2017) afirma que esse volume de informações permitirá a rastreabilidade dos produtos da indústria e materiais que compõem uma construção, tornando a reciclagem mais eficaz, pois será possível identificar cada componente do produto passível de ser reutilizado. Assim, haverá uma redução significativa de custos, uma vez que haverá um melhor aproveitamento dos produtos e materiais.

No que tange o gerenciamento de resíduos, essas novas tecnologias da Indústria 4.0, irão proporcionar uma outra forma de gerenciar, isto é, será possível reduzir ou eliminar os impactos negativos ainda na fase de projetos, ao invés de tomar ações e buscar soluções apenas para etapa final do processo de geração de resíduos durante a execução da obra. Para Lu, Webster e Chen (2017), a aplicação da tecnologia *Building Information Modeling – BIM* na gestão de resíduos, tendo como pré-requisitos principais um algoritmo computacional e a prontidão da informação, será capaz de manipular as informações de modo a facilitar a melhor tomada de decisão para a gestão de resíduos ainda na fase de projetos. A utilização do *BIM* como um ambiente computacional, virtual e menos caro, permitirá que os projetistas ponderem entre diferentes tipos de projetos e avaliem diferentes cenários de construção visando minimizar a geração de resíduos.

Ainda segundo os autores, *BIM* é uma tecnologia capaz de estocar e operar diversos tipos de informações sobre o projeto num único banco de dados. Essas informações podem ser

geométricas, ou seja, relacionadas ao modelo construtivo, e não-geométricas que incluem especificação de material, cronograma e custo do projeto executivo (PRATT, 2004).

Essa integração de informações, ainda na fase de projetos, permite alocação adequada de mão-de-obra e maior assertividade no quantitativo e escolha do material para cada etapa da execução. Além disso, o tratamento prévio desses dados, auxiliará na tomada de decisão, garantindo um melhor desempenho no processo construtivo e diminuindo desperdícios.

De acordo com o plano de estratégia 2025 do Governo Britânico para construção civil, o *BIM* será uma ferramenta de grande potencial para reduzir a geração de resíduos ainda na etapa de elaboração de projetos (HM GOVERNMENT, 2013).

Seguindo essa linha, pode-se elaborar propostas de gestão de resíduos sólidos da construção civil aplicando a tecnologia *BIM* combinada com modelo de estimação capaz de quantificar os resíduos gerados no canteiro de obra na fase de projetos, possibilitando assim, um melhor planejamento da gestão dos resíduos antes de iniciar a execução da obra.

Nessa direção, a partir de ferramentas da Indústria 4.0 será possível desenvolver a gestão de resíduos da construção civil de forma mais eficiente e integrada, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Contudo, não será suficiente dominar as técnicas capazes de implementar a gestão de resíduos adequadamente e ou por meio de avanços tecnológicos desenvolver métodos sofisticados para prever e mitigar os impactos da geração de resíduos da construção civil, se essas ações não vierem acompanhadas de políticas públicas que demonstrem uma efetiva preocupação com a geração de resíduos e que norteiem os envolvidos rumo à sustentabilidade.

1.2 SITUAÇÃO PROBLEMA

Conforme Marzouk e Azab (2014), a construção civil é um dos setores que mais gera resíduos sólidos. Essa grande produção de resíduos é proveniente da construção de novas estruturas, reformas, manutenções, obras de demolição e projetos de desenvolvimento de infraestrutura que podem ser prejudiciais ao meio ambiente e causar impactos sociais e econômicos, se não forem gerenciados de maneira adequada.

Para os países que compõem a União Europeia esse cenário alarmante de geração de resíduos não é diferente, pois de acordo com Monier, Hestin e Trarieux (2011), cerca de 970 milhões de toneladas de resíduos sólidos da construção civil são produzidos anualmente na Europa.

Complementando, Akhtar e Sarmah (2018) mostram que essa situação também se estende a maior potência mundial industrializada, os Estados Unidos da América, que tem gerado mais de 500 milhões de toneladas por ano. Enquanto nos países emergentes, como a China, foram gerados em 2014, aproximadamente 1 bilhão de toneladas de resíduos provenientes da construção civil, conforme apresentado por Lu *et al.* (2017).

No Brasil, o relatório elaborado pelo IPEA (2012) sobre os resíduos da construção civil identificou que esses resíduos representam 50% até 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos, tornando-se um grave problema para as cidades brasileiras. Já a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2011), aponta que em 2010 foram coletados cerca de 31 milhões de toneladas de Resíduos da Construção Civil – RCC, sendo a maior parte gerada na região sudeste, aproximadamente 16 milhões de toneladas.

Para agravar o problema de geração de resíduos, o tratamento final dado a eles não é o mais adequado. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010) revela que cerca de 70% dos municípios brasileiros possuem serviço de manejo de resíduos de construção e demolição e a principal forma de disposição são os aterros sanitários, que podem contaminar solos e água se não houver a separação correta dos resíduos, aumentar a emissão de gases poluentes, além de ser um método de descarte de recursos finitos, ou seja, o espaço destinado para esses aterros sanitários não é suficiente, provocando um aumento na quantidade de resíduos de construção despejados ilegalmente em locais públicos, causando problemas sociais e ambientais às comunidades locais.

Para Marzouk e Azab (2014), se os resíduos não forem geridos adequadamente, causarão poluição ao meio ambiente, esgotarão os materiais de construção, aumentarão a contaminação de aterros com os resíduos de Classe D, como tintas, solventes, telhas de amianto, que são prejudiciais à saúde, e provocarão o aumento no consumo de energia para transporte e fabricação de novos materiais.

Seguindo essa linha de raciocínio, Mhaske *et al.* (2017) afirmam que além do impacto negativo no meio ambiente, os resíduos da construção civil geram resultados insatisfatórios nos custos, tempo e produtividade de um país e afetam diretamente a saúde econômica das empresas de construção, cujo setor é o principal gerador de oportunidades de emprego nos países em desenvolvimento, como Índia, China e Brasil.

Ainda segundo os autores, apesar das dificuldades de gerir os resíduos da construção desde a sua identificação até o descarte final, a indústria da construção deverá ser capaz de responder às mudanças que o mundo está constantemente enfrentando.

Corroborando com essa ideia, Stock e Seliger (2016) mostram que o processo de globalização é confrontado com o desafio de atender à crescente demanda mundial por capital e bens de consumo, assegurando simultaneamente uma evolução sustentável da existência humana em suas dimensões social, ambiental e econômica.

Com a chegada da Quarta Revolução Industrial, existe uma grande expectativa de que as indústrias consigam atender as necessidades globais de produção com processos sustentáveis. De mais a mais, Ribeiro (2017) mostra que a implementação da Indústria 4.0 na produção de um produto ou execução de um serviço também poderá ser um fator de sucesso para as empresas manterem-se competitivas no mercado mundial. Para isso, Gabriel e Pessl (2016) afirmam que as empresas devem considerar os impactos sociais, econômicos e ambientais, como por exemplo, a questão sobre eficiência energética e as profissões do futuro.

Já na indústria da construção civil, poderão ser utilizadas ferramentas da Indústria 4.0 para aplicar na gestão de resíduos sólidos, como modelos teóricos de estimativa e plataformas computacionais, como o *BIM*, que são capazes de interligar e trocar informações de projeto, custo, cronograma numa única base de dados como citam Lu *et al.* (2017).

Diante desse contexto, a questão norteadora desta dissertação ficou definida da seguinte forma: como otimizar a gestão de resíduos sólidos na construção civil aplicando a tecnologia *BIM* de forma a mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos de um projeto de edificação?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

- Desenvolver um plano de gestão de resíduos sólidos na construção de residências por meio de modelagem matemática aplicando a tecnologia *BIM*.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Mapear os requisitos legais e técnicos para a elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos;
- Definir a sistemática de coleta de dados por meio da tecnologia *BIM*;

- Aplicar o modelo matemático para estimar o quantitativo de resíduos;
- Estruturar o plano de gerenciamento de resíduos sólidos para construção de residências.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os resíduos de construção e demolição consistem em um importante segmento da produção mundial de resíduos e geração de rejeitos, alcançando aproximadamente 3 bilhões de toneladas em 2012 num total de 40 países, de acordo com dados disponibilizados por organizações governamentais, como a *European Commission* (2015) e, a *United State Environmental Protection Agency* – USEPA (2014).

Devido a esse cenário, os governos ao redor do mundo estão tentando reduzir a geração de resíduos sólidos da construção e demolição, criando legislações específicas e aumentando a conscientização por meio de diferentes ações para ajudar a preservar o meio ambiente. Porém, para ratificar essas políticas governamentais, faz-se necessário a gestão adequada e eficiente de resíduos dentro do canteiro de obra, em adição, é importante que essa gestão seja atuante nas duas fases de projeto, execução e na destinação final dada aos resíduos.

Para Akhtar e Sarmah (2018), no tratamento dado aos resíduos da construção, um dos métodos mais eficazes para minimizar os impactos gerados por esses resíduos é a reciclagem, pois além de reduzir os danos ambientais, como a redução de recursos naturais, ela traz também prosperidade na economia do país e produz milhares de empregos que podem ser referidos como economia circular de resíduos.

Ainda segundo os autores, as principais porções de resíduos da construção em muitos países são provenientes do concreto. Por exemplo, nos Estados Unidos da América - EUA, conforme dados da USEPA, cerca de 67% do total de resíduos da construção consiste em resíduos de concreto, que é aproximadamente 350 milhões de toneladas. Com isso, a utilização de agregados reciclados na composição de cimento, por exemplo, torna-se uma solução relevante e viável, pois entre 30 e 50% do total de agregados naturais podem ser substituídos pelos reciclados, mantendo as propriedades similares do concreto com agregado natural.

Outrossim, existe um enorme potencial associado à reciclagem, que pode ser explorada empregando-se estratégias de manejo adequadas e introduzindo tecnologias inovadoras que permitem que os resíduos da construção sejam reciclados de acordo com sua qualidade e uso.

Estudos recentes, tais como Olugbenga, Lukumon e Saheed (2018) e Liu, Osmani e Demian. (2015), abordam sobre a utilização de tecnologia da Indústria 4.0 na gestão de resíduos, tal como a tecnologia *BIM*, porém ressaltam que a maioria das ferramentas de gerenciamento de resíduos da construção existentes ainda não tem a funcionalidade *BIM*, dificultando sua aplicação no canteiro de obra.

Cheng e Ma (2013) e Li e Zhang (2013) também apresentaram uma pesquisa sobre ferramentas computacionais aplicadas à gestão de resíduos sólidos, que são capazes de prever o quantitativo de resíduos que serão gerados na construção, permitindo que os empreiteiros identifiquem processos críticos de geração de resíduos e planejem estratégias de controle de resíduos.

Aliás, Tokgöz (2013) mostra que, embora não sejam consideradas dentro das estatísticas de produção, os materiais produzidos pelas escavações necessárias como etapa inicial para dar origem aos empreendimentos urbanos geralmente representam, em quantidade, o maior desperdício produzido pela indústria da construção. Na maioria dos casos, esse material é descartado em locais autorizados ou não, sem receber qualquer tipo de tratamento ou reuso dentro ou fora do canteiro de obra.

Seguindo nessa linha intelectual, existe uma discussão à nível global sobre a questão do reuso dos resíduos gerados da construção e demolição. Sobre isso, insta ressaltar que, segundo Chica-Osório e Beltrán-Montoya (2018), é importante a gestão adequada de resíduos capaz de incluir os processos que gerem valor agregado a esses materiais reutilizados e que permita reinseri-los na cadeia produtiva, proporcionando uma solução sustentável para a sociedade e meio ambiente.

Além disso, a procura por alternativas para a reutilização de resíduos estaria de acordo com a busca pelo desenvolvimento sustentável e de novas oportunidades de negócios relacionadas à gestão e uso de resíduos sólidos da construção civil.

Já na fase de projeto, a gestão de resíduos da construção civil, pode ser favorecida, segundo Liao *et al.* (2018), com as ferramentas computacionais proporcionadas pela Indústria 4.0, permitindo escolher de forma adequada os materiais para construção, além de quantificá-los e possibilitar um planejamento assertivo na destinação desses resíduos, e, consequentemente, reduzir desperdícios.

Igualmente, Lu *et al* (2017) mostram que há um amplo debate sobre uma dessas ferramentas da Quarta Revolução Industrial, a *Building Information Modeling – BIM* e sua aplicação ao gerenciamento de resíduos da construção civil. A discussão sobre este tópico trata com demasiada frequência o *BIM* como uma solução definitiva, sem que alguns obstáculos

importantes sejam abordados adequadamente, como o processo para desenvolver as informações necessárias para serem organizadas em um banco de dados independente ou encapsuladas no *BIM*.

Essas informações que são imputadas à tecnologia *BIM*, podem ser desenvolvidas por modelos matemáticos de estimativa. Todavia, por se tratar de modelos teóricos, existe uma limitação na atribuição assertiva de valores de entrada para definir o nível de desperdício em cada etapa da obra. Nesse diapasão, a precisão de estimativa de desperdício pode ser aprimorada incorporando o conhecimento das construtoras e buscando dados históricos. Essa experiência e o conhecimento de projetos similares podem efetivamente ajudar a determinar os níveis adequados de desperdício, possibilitando a identificação de melhorias para gerenciar os fluxos de resíduos mais significativos.

Verifica-se uma diversidade de soluções efetivas para o controle de geração e tratamento de resíduos oriundos da construção e demolição, mas, na maioria dos casos, são implementadas separadamente ou tratadas apenas como pesquisas teóricas. Dessa forma, justifica-se a necessidade de implantação de uma gestão de resíduos da construção capaz de planejar as estratégias ainda na fase de projetos utilizando tecnologia da indústria 4.0, de ser eficaz no processo de separação durante a execução da obra e, finalmente, ser assertiva na destinação final desses resíduos, afim de minimizar os problemas socioeconômicos gerados pela ineficiência desse tipo de gestão.

Diante do exposto, a presente dissertação contribuirá para o aperfeiçoamento de um modelo de estimativa do quantitativo de resíduos sólidos gerados na construção civil, trazendo, assim, melhorias significativas na gestão de resíduos dentro do canteiro de obra.

1.5 ESTRUTURA DO PROJETO DE PESQUISA

A estruturação da dissertação foi dividida em cinco seções.

A primeira seção apresentou a introdução da dissertação com a contextualização do tema a ser investigado, a problemática da pesquisa, os objetivos seguidos da justificativa e da estrutura da dissertação.

Na segunda seção apresentou-se o referencial teórico que sustentou a pesquisa de campo. Foi dividido em paradigma da geração de resíduos, resíduos sólidos da construção civil, gestão e modelo de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil, 4ª revolução industrial e tecnologia *BIM* na construção civil.

Na terceira seção foi exposto o percurso metodológico da pesquisa e, em seguida, foram apresentados os resultados, conclusões e as contribuições na quarta, quinta e sexta seção, respectivamente. E por último, as referências utilizadas na pesquisa foram listadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção será abordado o paradigma da geração de resíduos e serão definidos e classificados os resíduos da construção civil conforme legislação brasileira. Por seguinte, serão apresentados modelos e gestões de gerenciamento desses resíduos. E para relacionar esses modelos e gestões às novas tecnologias, será explanado sobre a quarta revolução industrial e a aplicação do *BIM* na indústria da construção civil.

2.1 PARADIGMA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Muitos países estão tentando reduzir seus resíduos de construção e demolição, criando legislações específicas e aumentando a conscientização por meio de ações para ajudar a preservar o meio ambiente.

Nessa subseção será apresentado um panorama geral da insustentabilidade dos atuais padrões de produção direcionado para a indústria da construção civil. Além disso, será abordada uma discussão de alternativas para solucionar o problema da geração de resíduos sólidos provenientes da elevada demanda de reformas e novas construções por todo o mundo.

Também serão apresentadas e discutidas, resumidamente, algumas informações disponíveis na literatura e essências sobre a geração de resíduos da construção em cada um dos continentes em relação à legislação existente, políticas relacionadas às atividades de reciclagem e descarte de resíduos da construção civil.

Começando pela Oceania, duas potências industriais se destacam na discussão de resíduos sólidos, Nova Zelândia e Austrália. Na primeira, conforme Anthony (2015), 20% dos resíduos de construção e demolição terminam no aterro e os outros 80%, em aterros inertes. Esforços estão sendo feitos pelo Governo Neozelandês para reduzir esse imenso fardo dos aterros sanitários, e um desses, segundo Farrelly e Tucker (2014), foi a criação da “Lei de Minimização de Resíduos” em 2008 para desencorajar o descarte de resíduos em aterros sanitários e incentivar a reutilização e reciclagem dos resíduos gerados.

Já na Austrália, a quantidade de resíduos da construção produzidos é significativamente maior do que na Nova Zelândia, porém a Hyder Consulting (2011) relatou dados expressivos, na qual a Austrália consegue recuperar 55% dos resíduos gerados nos canteiros de obra. De acordo com Governo Australiano (AUSTRÁLIA, 2012), o bom resultado é devido ao modelo

de sistema de gestão de resíduos, na qual é tratado por estados e territórios e não por um órgão central.

Para Akhtar e Samarth (2018), a maior parte desses resíduos da construção é o produto de alvenaria, incluindo concreto, tijolos, asfalto etc., que é de aproximadamente 70%. Entre estes, 66% dos resíduos estão sendo reciclados e o restante está sendo enviado para aterros sanitários. Embora a taxa de reciclagem seja significativamente alta, os estados australianos estão tentando melhorar a taxa de reciclagem e se comprometeram a atingir mais de 70% sob a estratégia “Rumo ao Desperdício Zero”. Um desses incentivos, segundo o Governo Australiano (AUSTRÁLIA, 2012) é impor uma taxa elevada para as empresas que descartarem resíduos em aterros sanitários.

No continente americano, destacam-se os países do norte, os Estados Unidos da América – EUA que é um dos maiores produtores de resíduos do mundo, e o Canadá, segunda maior potência econômica do continente. A USEPA (2015) revela que os norte-americanos geram mais de 500 milhões de toneladas por ano de resíduos sólidos e cerca de 67% desse total são provenientes do concreto de cimento. Em adição, os resíduos produzidos pela construção são muito marginais (4,6%), e o restante dos resíduos está sendo produzido por meio de atividades de demolição, com estradas e pontes compartilhando a maior quantidade (45,91%) do total.

Para suportar essa produção em massa de resíduos são necessárias estratégias de reciclagem e reutilização que sejam eficientes. Townsend, Wilson e Beck (2014) mostram que mais de 70% dos resíduos foram reciclados em 2012, enquanto o agregado a granel tem a maior taxa de reciclagem (85%). Seguindo esses dados, os autores ainda afirmam que a energia economizada dessa reciclagem é equivalente a 85 milhões de barris de petróleo, o que mostra o potencial de reciclagem de resíduos de construção que pode ser alcançado durante sua vida útil. Isso também é significativo do ponto de vista econômico, como nos EUA, a indústria de reciclagem de resíduos da construção detém 17 bilhões de dólares em valor nominal, com uma produção direta de 7,4 bilhões de dólares.

O Canadá, por sua vez, produz, em média, mais de 33 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, onde a grande parte está sendo enviada para aterros que são aproximadamente 74,75% em 2012 e 75,56% em 2010. Entre outras fontes de resíduos, os resíduos da construção e demolição estão sendo produzidos mais de 9 milhões de toneladas e a taxa de recuperação é de apenas 7%, entre outros materiais (STATISTIC CANADA, 2015). Embora a geração de resíduos de construção no Canadá seja muito menor do que a dos EUA, a taxa de reciclagem é bastante baixa, onde a maior parte do material acaba em aterros sanitários.

Além do mais, Yeheyis, Hewage e Alam (2013) apontaram que não há informações precisas disponíveis sobre o tipo e a composição desses resíduos sendo enviados para aterros que não são apenas perigosos para o meio ambiente, mas também podem ser uma ameaça potencial ao ecossistema terrestre e aquático. A maior parte da geração de resíduos na indústria da construção contém elementos perigosos, por exemplo, amianto, mercúrio, tinta à base de chumbo etc.

A presença ou inalação desses materiais pode causar problemas respiratórios e a exposição contínua pode levar ao câncer (USEPA, 2000). Mesmo que esses materiais perigosos sejam proibidos devido à sua associação com doenças graves, eles existem em edificações antigas, bem como naquelas que não seguiram as regulamentações no momento da construção. Assim, um sistema de processamento adequado precisa ser desenvolvido para o monitoramento contínuo dos resíduos da construção em todo o país.

Partindo para o Velho Continente, entre as nações europeias, a Áustria possui um amplo sistema de gestão de resíduos com 2.358 unidades administrativas (*CHANCELLERY FEDERAL AUSTRIA*, 2009) em todo o país. A gestão de resíduos é uma das principais prioridades na Áustria, a taxa de coleta e reciclagem também é uma das mais altas da Europa. A eficiência não é apenas a marca no campo da gestão de resíduos, mas seguir uma política rígida de manuseio de resíduos tem um papel importante. Mayr (2014) revela que a gestão de resíduos na Áustria contribuiu com 1.235 milhões de euros na economia do país e gerou 14.779 postos de trabalho. Complementando, Deloitte (2015a) mostra que cerca de 35 milhões de toneladas de resíduos da construção e demolição foram gerados na Áustria em 2013, no entanto, a maioria dos materiais (76,4%) foi derivada da escavação de solo e pedras.

Ainda segundo o autor, em termos de reciclagem desses resíduos, até 87% foram reciclados de 2004 a 2013. A geração total de resíduos perigosos em 2013 foi de 1,2 milhões de toneladas (*ENVIRONMENTAL AGENCY AUSTRIA*, 2016), enquanto o setor de Construção e Demolição – C&D detém apenas 3,5% desses resíduos que estão sendo tratados separadamente. Em junho de 2015, a portaria sobre materiais de construção reciclados também foi aprovada após vários anos de trabalho e está ativa desde 1º de janeiro de 2016 (*FEDERAL MINISTRY OF SUSTAINNABILITY AND TOURISM AUSTRIA*, 2018). Este regulamento estabelece os critérios gerais para a demolição de edifícios desde a inspeção preliminar até o manuseio de todos os tipos de resíduos produzidos durante este processo.

A Estônia, por outro lado, produz quase 2 milhões de toneladas de resíduos da construção muito menos que a Áustria, porém sua taxa de reciclagem foi de aproximadamente 95% no ano de 2013. Os resíduos sólidos da construção civil consistem em uma pequena fração

do total resíduos (8,8%) mostrando menor crescimento na indústria da construção (RÜÜTELMANN, 2015). A Estônia foi um dos cinco primeiros países da União Europeia em 2006 a atingir a meta de reciclagem de resíduos da construção entre Dinamarca, Alemanha, Irlanda e Holanda (CORONADO; DOSAL; VIGURI, 2011).

A produção de resíduos da construção e demolição na França atingiu aproximadamente 246 milhões de toneladas até 2012, sendo mais elevado na União Europeia (Akhtar; Samarth, 2018). Apesar de produzir uma enorme quantidade de resíduos da construção, a França está menos focada na reciclagem e sua taxa de reciclagem até 2011 foi de quase 45% (CALVO, VARELA-CANDAMIO; NOVO-CORTI, 2014) que é inferior à média europeia de 55% (DEL RIO MERINOG; RACIA; WEIS AZEVEDO, 2010).

Já na Alemanha, a quantidade de resíduos gerada é semelhante à França, no entanto, a reciclagem de resíduos e a taxa de recuperação são melhores. Por exemplo, a Alemanha produziu quase 200 milhões de toneladas de resíduos da construção, enquanto a taxa de recuperação é superior a 80% (LI; KÜHLEN; YANG, 2013; BRAVO; BRITO; PONTES, 2015). A eficiência no campo da gestão total de resíduos rende aproximadamente 40 bilhões de euros e quase 200.000 pessoas estão empregadas em toda a Alemanha no campo da indústria de gestão de resíduos (NELLES; GRÜNES; MORSCHECK, 2016).

Hendriks e Pietersen (2000) apontaram que a demanda por matérias-primas na Holanda era de cerca de 150 milhões de toneladas por ano. De acordo com o Eurostat (2012), a produção de resíduos da construção e demolição atingiu os 81 milhões de toneladas nos Países Baixos, enquanto os dados apresentados pela Deloitte (2014) à Comissão Europeia foram de cerca de 25 milhões de toneladas. Esta diferença deveu-se principalmente à maior parte dos resíduos ser na forma de despojos de dragagem.

Os resíduos da construção consistem em 40% da geração total de resíduos nos Países Baixos, mantendo as taxas de reciclagem em 80% e 10% utilizadas na recuperação de energia através da incineração (MULDERS, 2013). O Ministério da Habitação da Holanda (HOLANDA, 2010) informou que a reciclagem de concreto e tijolos para seu uso em diferentes aplicações tem o potencial de reduzir o impacto ambiental em 6%.

Já a Suécia produz baixa quantidade de resíduos da construção quase 8 milhões de toneladas anualmente e há uma diminuição gradual observada durante os anos anteriores (DELOITTE, 2015b; EUROSTAT, 2012), sendo que 10% desses resíduos consistem em resíduos perigosos (SUÉCIA, 2012). Embora a produção não seja enorme em comparação com outros países, a taxa de reciclagem da Suécia também não é alta (50%), mas a Agência Sueca

de Proteção Ambiental está comprometida em aumentar as taxas de reciclagem para 70% até 2020 (OSTLUND, 2011).

A Espanha tem produzido resíduos de construção em torno de 30 milhões de toneladas, o que representa aproximadamente um terço da produção total de resíduos sólidos em todo o país (RODRÍGUEZ; MEDINA; ALEGRE, 2015). Ainda segundo esses autores, o principal componente dos resíduos da construção na Espanha consiste em tijolos, telhas e outros tipos de cerâmica, que representam 54% do total de resíduos da construção, e o segundo maior contribuinte é o concreto (12%).

Já no Reino Unido, a produção foi cerca de 200 milhões de toneladas de resíduos em 2012, sendo que 81% são provenientes da Inglaterra. Quase 50% deste lixo é composto por resíduos da construção e 85% desses resíduos foram gerados apenas na Inglaterra (DEFRA, 2016). O Reino Unido já alcançou a meta estabelecida da UE, 70% de reciclagem de resíduos da construção não perigosos até 2020 e ultrapassou 86% em 2011 e 2012. Esta é uma melhoria significativa em comparação a 2000 e 2008, quando as taxas de reciclagem foram apenas 49% e 62% de resíduos, respectivamente (DEFRA, 2011; LAWSON; DOUGLAS; GARVIN, 2001).

Levando a discussão à Ásia, Akhtar e Samarth (2018) afirmam que a Índia tem gerado em média 530 milhões de toneladas de resíduos da construção por ano, tornando-se o segundo maior produtor do mundo. O fato surpreendente neste cenário é que os padrões indianos não permitem o uso de Agregado Reciclado – AR no concreto de acordo com o padrão IS 383 onde o uso de materiais de origem natural é incentivado (ÍNDIA, 2014). Há um foco limitado na Índia em relação à estimativa de resíduos da construção em todo o país, ignorando os enormes recursos que podem ser usados de outra forma. O padrão IS 456:2000 permite o uso de bricks sobre tijolos queimados e escória em concreto simples, a menos que isso afete a durabilidade e o desempenho de resistência. No entanto, não menciona especificamente sobre Agregado Reciclado produzido a partir de atividades de demolição. Por isso, é essencial que a Índia comece a considerar suas estratégias de gestão de resíduos, como a Europa e outros países desenvolvidos. A iniciativa do governo indiano é necessária e importante para incentivar o uso de AR e impedir o descarte de resíduos da construção em aterros sanitários.

Por outro lado, Lu (2014) revela que a China atualmente produz a maior quantidade de resíduos da construção no mundo, excedendo 1,13 bilhão de toneladas em 2014, sendo que a grande parte desse lixo vem na forma de solo e rochas escavadas. O rápido crescimento da infraestrutura em toda a China contribuiu para a produção de um enorme volume de resíduos da construção e demolição no país. Para Akhtar e Samarth (2018), a forma sincronizada e centralmente gerenciada do sistema de gestão de resíduos precisa ser desenvolvida, onde a faixa

completa dos resíduos da construção, da produção até o uso final, pode ser monitorada em cada cidade e província em todo o país, que é geograficamente diversa.

No Japão, a produção foi de aproximadamente 75 milhões de toneladas de resíduos das atividades de construção e demolição em 2011, porém apresentou uma tendência decrescente em comparação a 1996 e 2001, onde a produção de resíduos sólidos foi de 99 e 85 milhões de toneladas, respectivamente (NAKAJIMA; FUTAKI, 2002). O Governo Japonês estabeleceu a meta de atingir uma taxa de reciclagem de até 95% dos resíduos da construção.

Ainda segundo os autores, essas taxas até 2008 melhoraram notavelmente com uma média de mais de 90% em comparação com 57% em 1996 na categoria de resíduos de construção, blocos de concreto de asfalto. Essa mudança significativa ocorreu devido à aplicação da lei relacionada à reciclagem de material de construção em maio de 2002 para incentivar o uso de materiais reciclados na indústria da construção (GLOBAL ENVIRONMENT CENTER OSAKA JAPAN, 2012). Materiais considerados obrigatórios para reciclagem nesse regulamento incluem concreto de cimento, ferro, madeira e asfalto. A introdução deste regulamento contribuiu para a conscientização e importância da reciclagem no país, bem como reduziu a quantidade de resíduos direcionados para aterros sanitários.

Apesar de ter baixa população e área do que o Japão, Yang, Park e Seo (2015) apontam que o país vizinho Coreia do Sul produziu aproximadamente 68 milhões de toneladas de resíduos de C&D em 2011 com taxa de reciclagem de quase 98% e consistiu em quase 50% do total de resíduos. Concreto e asfalto foi a composição mais alta desse resíduo sendo 65% e 18,9%, respectivamente (SOMASUNDARAM *et al.*, 2014). Em contraste com o Japão, os resíduos da construção e demolição na Coreia do Sul aumentaram de 10 milhões de toneladas em 1996 para 68 milhões de toneladas em 2011, com a taxa de reciclagem aumentando de 58% para 98% e projeta-se que até 2020 isso poderia atingir 72 milhões de toneladas por ano com taxa de reciclagem semelhante (YANG *et al.*, 2015).

Em decorrência disso, o Ministério do Meio Ambiente da Coreia do Sul (CORÉIA DO SUL, 2013) está continuamente desenvolvendo políticas relativas à reciclagem de resíduos de construção e ao uso de Agregado Reciclado na indústria da construção, pois além de ser uma fonte de material alternativa para o país, também adicionou 2,1 bilhões de dólares na economia. Esses números são convincentes e fornecem uma ideia aproximada sobre o impacto positivo no plano da sustentabilidade.

No continente africano, destaca-se a África do Sul que gera mais de 100 milhões de toneladas de resíduos anualmente e cerca de 90% desse total são geralmente tratados pela técnica de aterro sanitário (VAN WYK, 2014). Os resíduos da construção e demolição se

aproximam de mais de 21 milhões de toneladas, consistindo em uma quantidade significativa de resíduos totais gerados no país.

A maior parte desses resíduos contém madeira e concreto, 27% e 23%, respectivamente. A reciclagem do material de resíduos da construção e demolição tem um enorme potencial na África do Sul. Por exemplo, apenas 30% da reciclagem de resíduos de concreto na cidade de Cape Town pode agregar aproximadamente 0,1 milhão de dólares na economia da cidade (GREENCAPE, 2015).

O autor ainda mostra que como a taxa e a capacidade de reciclagem, ambas são bastante baixas, a utilização de aterros sanitários continua sendo a principal forma de tratamento desses resíduos. Para isso, legislações estão sendo desenvolvidas e, atualmente, somente os resíduos não contaminados da construção e demolição podem ser descartados em aterros sanitários. No entanto, isso requer modificações adicionais e é necessário introduzir uma taxa especial para a reduzir os resíduos nesses locais e contribuir para o aumento da taxa de reciclagem.

Na Nigéria, a geração ultrapassa a quantidade de 15 milhões de toneladas de resíduos da construção e os resíduos de concreto são os principais contribuintes nessa área, o que geralmente requer separação, esmagamento e peneiramento (OTOKO, 2014). O Governo Nigeriano também tem uma estratégia de reciclagem e reutilização insuficiente para esses resíduos, o que levou ao despejo da maior parte dos resíduos em aterros sanitários.

Voltando para América, Favaretto, Hidalgo e Sampaio (2017) mostram que no Brasil, as principais atividades de produção de resíduos são as reformas e demolições, representando 60% da produção total de resíduos sólidos provenientes da construção civil. A escavação do solo, noutro giro, é um dos setores com menor contribuição neste cenário.

A produção estimada de resíduos da construção no Brasil é de mais de 70 milhões de toneladas por ano. O governo brasileiro implementou novas legislações relativas à reciclagem de resíduos, no entanto, a taxa de recuperação é mínima (CONTRERAS; TEIXEIRA; LUCAS, 2016). Corroborando, o IPEA (2010) divulgou um relatório de pesquisa sobre “Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos” revelando que o país perde R\$ 8 bilhões por ano quando deixa de reciclar todo resíduo reciclável que é encaminhado para aterros e lixões nas cidades brasileiras. Complementando, Manowong (2012) afirma que apesar das medidas governamentais, na maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, a gestão de resíduos sólidos da construção civil é insuficiente e inapropriada, mesmo sendo um ponto relevante no plano de gestão de projetos.

Na visão panorâmica, a geração de resíduos da construção e demolição excede 3 bilhões de toneladas em todo o mundo, o que, se gerenciado adequadamente, pode economizar a

enorme quantidade de energia e ajudar a melhorar a economia. O maior contribuinte neste cenário é a China, a Índia e os EUA, com uma produção coletiva de resíduos superior a 2 bilhões de toneladas. As principais porções de resíduos da construção em muitos países consistem em resíduos de concreto. Por exemplo, 67% do total desses resíduos são de concreto nos EUA, que é cerca de 350 milhões de toneladas. Vários países têm uma participação importante na forma de solos escavados, como Áustria e China, e alguns deles não os incluem na categoria de resíduos da construção e demolição.

Outrossim, as taxas de reciclagem variam de 7% a mais de 90%. Muitos países desenvolvidos e em desenvolvimento têm taxas de reciclagem muito baixas, como a maior parte dos resíduos da construção na Nova Zelândia e África do Sul, que acabam no aterro.

Dois dos maiores produtores desses resíduos sólidos, a China e a Índia, têm um enfoque limitado na área de coleta adequada de dados, monitoramento e reciclagem dos resíduos. A reciclagem dos resíduos sólidos não só ajuda a melhorar a conservação de energia nos países, mas também melhora sua economia. Nos EUA, os resíduos da construção contribuem com mais de 7 bilhões de dólares para a economia e 2,1 bilhões de dólares do setor de gestão de resíduos da Coreia do Sul.

Apesar das diferentes tratativas dada à geração de resíduos, existe a convergência de ideias entre as lideranças mundiais de que esse cenário precisa ser mudado e ações cabíveis estão sendo tomadas, uma delas é o documento adotado pela ONU intitulado como “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (2015), no qual os 17 objetivos são integrados e indivisíveis, contribuindo para os três pilares do desenvolvimento sustentável: economia, sociedade e meio ambiente. São como uma lista de tarefas a serem cumpridas pelos governos, a sociedade civil, o setor privado e todos cidadãos na jornada coletiva para um 2030 sustentável. Na Figura 1 são apresentadas, resumidamente, essas tarefas.

Figura 1: Ações para o desenvolvimento sustentável



Fonte: Plataforma Agenda 2030 (2015).

Diante do exposto, nota-se a preocupação global para mitigar os problemas causados pela geração de resíduos, revelando, então, a importância da reciclagem, reuso e descarte adequado dos resíduos, uma vez que seus benefícios impactam diretamente nos principais pilares da sustentabilidade: sociedade, economia e meio ambiente.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para a pesquisa foram adotadas as definições e classificações de resíduos da construção civil fundamentada sob a legislação brasileira. Dessa forma, para o planejamento, elaboração e execução de uma gestão de resíduos eficaz, primeiramente é preciso definir o conceito de resíduos sólidos, identificá-los, depois separá-los por categorias ou classes de modo que possam ser tratados adequadamente, e por último, reciclá-los, reutilizá-los e ou descartá-los.

Segundo Pichtel (2005), resíduo sólido pode ser definido como um material sólido com valores econômicos negativos, que tornam o descarte mais barato do que seu uso. Entretanto, essa definição entra em contradição com os parâmetros atuais que ressaltam o valor econômico dos resíduos, como observado na Lei Nacional nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS no Brasil e define resíduos sólidos como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 11).

Complementando essa definição, por intermédio do Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil – CONAMA, no uso das competências que lhe foram conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria nº 326, de 15 de dezembro de 1994, a Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, tendo a sua última alteração realizada pela Resolução nº 469/2015, foi elaborada e publicada para estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil no Brasil e define resíduos sólidos da construção civil como:

[...] são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2002, Artigo 2º, inciso I)

Ainda segundo a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, os resíduos da construção civil devem ser identificados e separados conforme apresentado no Quadro I. A classificação é dividida em quatro Classes: A, B, C e D.

Os de Classe A são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

1. de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
2. de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
3. de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

Quanto a forma de destinação desses resíduos, a legislação brasileira prevê que os de Classe A podem ser aproveitados no próprio canteiros de obras, mas se não for possível, devem ser encaminhados para usinas de reciclagem ou aterros específicos, que permitem sua reutilização ou reciclagem futura.

Para muitas regiões do Brasil, o volume produzido de resíduos sólidos da construção civil é muito maior do que a capacidade dos aterros sanitários e das áreas de transbordo e de

triagem. Além disso, as usinas de reciclagem também não conseguem suprir essa demanda de geração de resíduos.

Diante dessas dificuldades, De Abreu Evangelista, Costa e Zanta (2010) propõem uma solução alternativa sustentável para destinação final dos resíduos de Classe A. Essa solução consiste na utilização de um equipamento móvel de britagem, que após a separação adequada desses resíduos, de acordo com tamanho e volume, é capaz de produzir o próprio agregado de diversos tamanhos conforme ajuste do britador e necessidade da obra, reduzindo custos e mitigando os impactos ambientais.

Já os de Classe B são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros. Com a separação adequada, esses podem ser destinados às cooperativas de reciclagem ou áreas de transbordo e triagem, que são estabelecimentos privados destinados ao recebimento de resíduos da construção civil, para eventual transformação e posterior remoção e disposição.

Segundo Cho, Shin e Bae (2010), a viabilidade da produção de etanol a partir dos ácidos hidrolisados oriundos de resíduos de madeira de construção e demolição foi investigada e o resultado mostrou que esses resíduos compostos por madeira, madeira compensada, aglomerados e painéis de fibras de média densidade – MDF podem ser usados como matéria-prima para a produção de bioetanol ao invés de serem despejados em aterros sanitários.

Os de Classe C, por seu turno, são os que não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou reutilização, tais como os produtos oriundos do gesso. Esses resíduos são separados dos demais e enviados, geralmente, para aterros sanitários preparados para esse tipo de recebimento.

O consumo de gesso está crescendo no Brasil devido ao aumento de novas tecnologias de construção civil e às necessidades de entrega rápida de edificações. O material é usado em revestimentos de paredes, chapas, componentes pré-fabricados e blocos. Como consequência, a quantidade de resíduo proveniente do gesso aumentou da mesma forma, e a possibilidade de reciclagem é um problema que está crescendo. O processo de reciclagem precisa ser muito simples e fácil de ser feito para alcançar as pequenas empresas (CAMARINI; LIMA; PINHEIRO, 2014).

Diante deste cenário, Geraldo, Pinheiro e Silva (2017) mostram que a reciclabilidade do gesso tem um grande potencial para ser uma solução industrial de sucesso, permitindo a produção de novos produtos reutilizáveis, com menos impactos ambientais negativos, além de ser um processo economicamente viável. A reciclagem do resíduo de gesso ocorre por meio de

um processo de hidratação e não hidratação, mantendo as propriedades químicas e mecânicas do gesso e alterando apenas as características físicas, tais como densidade e tamanho.

Por último, os de Classe D são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (BRASIL, 2002). Esses resíduos são separados e destinados aos aterros industriais licenciados.

Ainda sobre os resíduos de Classe D, por meio de pesquisa qualitativa e investigativa realizada na Suíça, Hincapié, Caballero-Guzman e Hiltbrunner (2015) mostram que um setor onde o uso de nano materiais projetados deve fornecer funcionalidade nova ou melhorada é o setor de construção civil. E a principal fonte geradora desse tipo de material são os resíduos provenientes da tinta e que quando reciclados é possível realizar a liberação desses nano materiais, tais como nano-TiO₂, nano-SiO₂, nano-ZnO e nano-Ag, porém ainda é um processo caro e que novas tecnologias precisam ser desenvolvidas para ter um custo-benefício atrativo.

Quadro 1: Classes de Resíduos da Construção Civil

	CARACTERÍSTICA DO MATERIAL	EMPREENDIMENTO (S) QUALIFICADO (A) A RECEBER
CLASSE A	são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras	 Usina de Reciclagem de RCD ABNT 15114/2004  Aterro de Inertes ABNT 15113/2004  Área de Transbordo e Triagem – ATT ABNT 15112/2004
CLASSE B	são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, EMBALAGENS VAZIAS DE TINTAS IMOBILIÁRIAS e gesso; (Redação Resolução nº 469/15)	 Usina de Reciclagem de RCD ABNT 15114/2004  Área de Transbordo e Triagem – ATT ABNT 15112/2004  Aterro Sanitário ABNT 15849/2010
CLASSE C	são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnológicas ou aplicações economicamente viáveis que permitem a sua reciclagem ou recuperação; (redação dada pela Resolução nº 431/11).	 Aterro Sanitário ABNT 15849/2010  Aterro de Resíduos Não Perigosos ABNT 13896/1997
CLASSE D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetivos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (redação dada pela Resolução nº 431/11).	 Aterro de Resíduos Perigosos ABNT 10157/1987
 Observação: § 1º No âmbito dessa resolução consideram-se embalagens vazias de tintas imobiliárias, aquelas cujo recipiente apresenta apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulo de resíduo de tinta líquida.		

Fonte: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON, 2018.

Além da criação da PNRS no Brasil e das resoluções do CONAMA direcionadas para gestão de resíduos sólidos da construção civil, algumas normas e especificações técnicas foram elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT para melhor o controle e acompanhamento da geração de resíduos até o seu destino. São elas:

ABNT NBR 15112 - Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos.

ABNT NBR 15113 - Esta Norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes.

ABNT NBR 15114 - Esta Norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A.

ABNT NBR 15115 - Esta Norma estabelece os critérios para execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como camada de revestimento primário, com agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, denominado agregado reciclado, em obras de pavimentação.

ABNT NBR 15116 - Esta Norma estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

Apesar da importância de identificação e separação dos resíduos sólidos na fase da construção, essas etapas não são suficientes para garantir uma gestão de resíduos eficaz. Também é necessário identificar as principais atividades no canteiro de obra que geram o maior volume de resíduos para que possam ser mitigadas, gerando impactos positivos para os *stakeholder*.

2.3 MODELOS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Um dos problemas mais frequentes em projetos de construção civil é a gestão inadequada dos resíduos sólidos gerados no canteiro de obra. A taxa de desperdício ultrapassa o limite aceitável, provocando efeitos negativos sobre o lucro do projeto ou no retorno do investimento (MHASKE; DARADE; KHARE, 2017).

Ainda segundo esses autores, para reduzir os impactos ambientais gerados pelos resíduos da construção civil, é necessário compreender o processo de geração para posteriormente utilizar técnicas capazes de torna a gestão dos resíduos efetiva, tais como: plano de gerenciamento de resíduos, tecnologia *BIM* e 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar).

Primeiramente é necessário entender o seu conceito fundamental e de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil – CONAMA, por intermédio da Resolução nº307 (2002), gestão de resíduos da construção civil é definida como sendo um conjunto de ações voltadas para todas as etapas, desde a sua origem: identificação e separação, até a destinação final ambientalmente adequada conforme o plano de gerenciamento de resíduos sólidos exigido por legislação.

Essa destinação final dos resíduos de forma correta é fundamental para tornar as atividades da construção civil menos nocivas ao meio ambiente e mais sustentáveis à sociedade. Por isso, para Kucukvar, Egilmez e Tatari (2014), entre o processo de reciclagem, utilização de aterros sanitários e incineração que são estratégias de gestão de resíduos, a reciclagem é a melhor opção para minimizar os efeitos causados pela geração de resíduos quando os critérios de avaliação são a emissão de gases poluentes, o desperdício de água e a eficiência energética.

Outra forma de gerenciar resíduos, é mitigar os impactos negativos ainda na fase de projetos, ao invés de tomar ações e buscar soluções apenas para etapa final do processo de geração de resíduos durante a execução da obra. Para Lu *et al.* (2017), a aplicação da tecnologia *BIM* na gestão de resíduos, tendo como pré-requisitos principais um algoritmo computacional e a prontidão da informação, é capaz de manipular as informações de modo a facilitar a melhor tomada de decisão para a gestão de resíduos ainda na fase de projetos. A aplicação do *BIM* como um ambiente computacional, virtual e menos caro, permite que os projetistas ponderem entre diferentes tipos de projetos e avaliem diferentes cenários de construção visando minimizar a geração de resíduos.

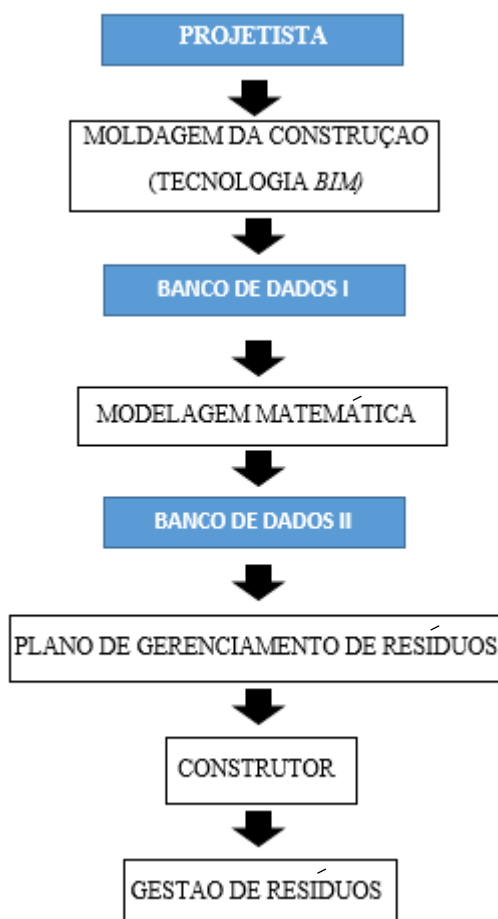
Corroborando Olugbenga *et al.* (2018) mostram que a necessidade de usar essa tecnologia de modelagem para minimização de resíduos de construção e demolição é bem documentada, porém a maioria das ferramentas de gerenciamento de resíduos da construção existentes ainda não tem a funcionalidade *BIM*.

Outro recurso importante é a modelagem matemática que pode ser aplicada à gestão de resíduos sólidos, Cheng e Ma (2013) propõem um sistema baseado no *BIM* capaz de prever o quantitativo de resíduos que serão gerados na construção, permitindo que os empreiteiros identifiquem processos críticos de geração de resíduos e planejem estratégias de controle de

resíduos. Esse sistema pode extrair informações de volume e material, além de considerar a reciclagem e reutilização desses resíduos.

Em resumo, a sistemática apresentada pelo Figura 2, integra a tecnologia *BIM* e um modelo matemático para otimização da gestão de resíduos.

Figura 2: Estrutura para otimização da gestão de resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor (2018) a partir de Li *et al* (2016).

Nesse diapasão, Li e Zhang (2013) sugerem um sistema de estimativa de resíduos de construção baseado na web, na qual uma estrutura matemática integra módulos de entrada de dados on-line e módulos analíticos on-line para a quantificação de diferentes tipos de resíduos gerados no processo de construção no nível do projeto, facilitando a acessibilidade, a interface, a conectividade e o compartilhamento de informações dos usuários.

Para mais, Li *et al.* (2016) apresenta um modelo matemático de estimativa de quantidade de resíduos da construção civil de modo que possa prever o quantitativo de vários tipos de resíduos gerados a partir de projetos executivos, rastreando suas origens e dando suporte aos construtores para melhorar sua gestão de resíduos no canteiro de obra.

Ainda segundo autores, esse modelo não é capaz apenas de quantificar, mas também de identificar a atividade que gera o resíduo. A metodologia usada, aplica o princípio do balanço de massa e análise de fluxo de material para identificar o processo de geração de resíduos por diferentes tipos de materiais. Além disso, o modelo utiliza taxa de conversão para calcular o peso e o volume dos resíduos auxiliando na sua logística. Dessa forma, a estimativa mostra o nível de desperdício em cada etapa da construção, permitindo um melhor controle da geração de resíduos.

Assim, tomando como partida as informações geradas pela tecnologia *BIM*, essas são reorganizadas dentro de uma Estrutura Analítica de Projeto – EAP, de forma que diferentes processos da construção possam ser representados.

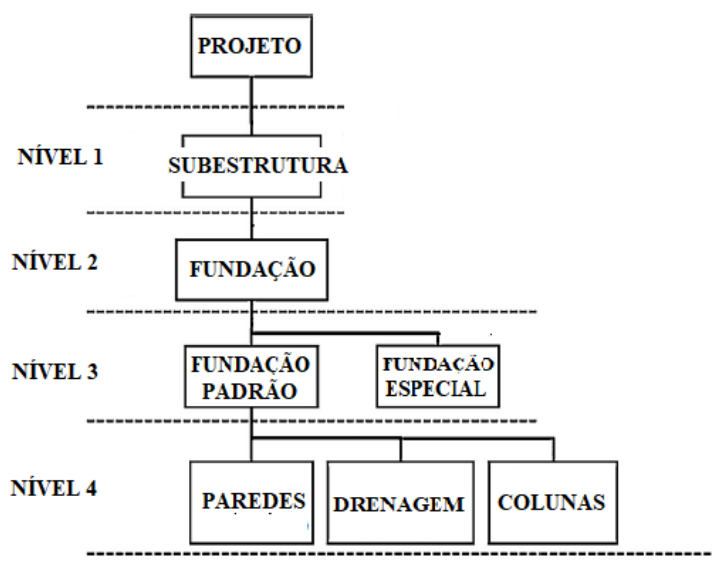
Essa estrutura organizacional, exemplificada na Figura 3, é dividida em quatro níveis: o primeiro nível é classificado por Sistemas, o segundo é designado por Componentes, o terceiro é representado por Elementos e no quarto nível encontram-se os Subelementos. Essa divisão por níveis facilita a identificação da quantidade de material necessária para cada atividade e etapa de execução da obra.

A representação desses níveis estabelecidos pela EAP é mostrada a seguir:

- W_s , sendo $s = 1, 2, \dots, S$, e S representa a quantidade total de Sistemas do projeto.
- W_c^s , sendo $c = 1, 2, \dots, C_s$, e C_s representa o número total de Componentes no Sistema s do projeto.
- W_e^{sc} , sendo $e = 1, 2, \dots, E_{sc}$, e E_{sc} representa o número total de Elementos do Componente c no Sistema s do projeto.
- W_d^{sce} , sendo $d = 1, 2, \dots, D_{sce}$, e D_{sce} representa o número total de Subelementos do Elemento e do Componente c no Sistema s do projeto.

Então a construção da EAP é expressa como $W = \{W_1, \dots, W_s, \dots, W_S\}$, onde $W_s = \{W_1^s, \dots, W_c^s, \dots, W_{C_s}^s\}$, $W_s^c = \{W_1^{sc}, \dots, W_e^{sc}, \dots, W_{E_{sc}}^{sc}\}$ e $W_e^{sc} = \{W_1^{sce}, \dots, W_d^{sce}, \dots, W_{D_{sce}}^{sce}\}$.

Figura 3: Estrutura EAP para diferentes processos da construção



Fonte: Adaptado de Li *et al.* (2016).

Além da EAP, esse modelo aplica o Princípio de Conservação da Massa e a Análise de Fluxo de Materiais para investigar o processo de geração de resíduos para diferentes tipos de materiais.

Segundo Fox, Mcdonald e Pritchard (2016), o primeiro princípio físico o qual é aplicado a relação entre as formulações de sistema e de volume de controle é o Princípio de Conservação de Massa: a massa do sistema permanece constante. A partir desse princípio, Himmelblau (1996) o aplica dentro do processo de construção, ou seja, os materiais que entram num Subelemento, devem sair ou se acumular no Subelemento.

Essas entradas e saídas de materiais no processo de construção, representam o fluxo de material de um projeto da construção civil, podendo ser analisado globalmente ou por diferentes tipos de materiais.

O fluxo global de material tem como entradas os materiais da construção juntamente com os materiais de embalagem. Já as saídas incluem os elementos de construção formados e os resíduos de construção gerados. Completando esse fluxo, existem os materiais extraídos que compõem a entrega dos elementos de construção e parte dos descartados como resíduos. Aplicando o princípio da conservação de massa, a soma dos materiais da construção, materiais de embalagem e materiais extraídos é igual aos elementos de construção e resíduos gerados. O fluxo desses quatro tipos de materiais é resumido da seguinte forma:

1. Materiais de Construção (M): referem-se aqueles que são usados para formar os elementos de construção alvo. A maior parte do material de construção é utilizado para formar o elemento de construção alvo e apenas uma pequena porção é descartada como resíduo de construção.
2. Materiais de Embalagem (P): são aqueles que embalam os materiais de construção. Não formam os elementos de construção de destino. São geralmente classificados como resíduos.
3. Materiais Extraídos (E): referem-se principalmente ao solo escavado no processo de construção. Esses materiais se transformam em resíduos, a menos que sejam utilizados na formação de outros elementos de construção ou em aterros no próprio canteiro de obras.
4. Elementos de Construção Alvo (T): são os elementos projetados para construção. A entrega de um elemento de construção pode usar materiais de construção, materiais de embalagem e materiais extraídos. Em alguns casos, parte ou totalidade desses elementos podem se tornar resíduos devido à baixa qualidade de construção ou alterações de projetos.

Para a quantificação e separação desses materiais por atividades que integram o processo executivo da construção civil é adotado a metodologia de trabalho da tecnologia *BIM*, que por meio de parametrização e interoperabilidade consegue ler e integrar os metadados do software de projetos, atualizar automaticamente os bancos de dados de custo, definir as etapas de obra ligadas a disciplinas (multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e colaboração) e utilizar dados geométricos para validação e visualização. Dessa forma, o *BIM* é capaz de coletar e fazer a leitura de todos os projetos e especificações, medir as dimensões de cada Subelemento, calcular as quantidades de materiais de construção necessárias ou materiais extraídos, precificar materiais com base em cotações de fornecedores ou em tabelas padronizadas e por último, resumir as quantidades calculadas para cada etapa do processo construtivo.

Esse banco de dados gerados pelo *BIM* inclui informações como unidades de medida, quantidade de materiais, custos e alocação de mão de obra e maquinário para cada Subelemento. Essas informações são muito úteis para o planejamento e controle de projetos e, conforme Li *et*

al. (2016), podem ser usadas para conduzir a análise de fluxo de material e monitorar a geração de resíduos de construção no processo de construção.

Agora, supõe-se que, no total, existem I tipos de Materiais de Construção, G tipos de Materiais de Embalagem, J tipos de Materiais Extraídos e K tipos de Elementos de Construção Alvo. Então, as quantidades de cada um dos quatro tipos de materiais podem ser determinadas com base no procedimento acima mencionado.

Os materiais requeridos para o Subelemento W_d^{sce} são expressos como:

$$Q_{W_d^{sce}}^{XU} = [Q_{1W_d^{sce}}^{XU}, ..., Q_{yW_d^{sce}}^{XU}, ..., Q_{YW_d^{sce}}^{XU}] \quad (1)$$

Onde, $Q_{W_d^{sce}}^{XU}$ representa o Vetor Quantidade de um determinado tipo de material; e $Q_{yW_d^{sce}}^{XU}$ representa a quantidade do y-ésima material na categoria X no Subelemento W_d^{sce} , sendo X o tipo de material (“M”, “P”, “E” e “T”) e U indicando a unidade de medida, podendo ser “W” se o material for medido em peso ou “V” se for medido em volume. A relação entre Y e X pode ser denotada como:

$$Y = \begin{cases} I, & \text{if } X = M \\ G, & \text{if } X = P \\ J, & \text{if } X = E \\ K, & \text{if } X = T \end{cases} \quad (2)$$

Quando esses materiais são quantificados, para cada tipo de material existe uma unidade de medida. Por exemplo, o concreto é medido em m^3 , a madeira em m^2 , ferragem em kg e as embalagens em unidades. Dessa forma, faz-se necessário a utilização de taxas de conversão para transformar várias unidades de medida em uma única medida. Nesse projeto de pesquisa será mantido a linha de trabalho conforme Li *et al.* (2016), onde o peso é a unidade de medida única. Assim o vetor peso de um determinado tipo de material para o Subelemento W_d^{sce} é expresso como:

$$Q_{W_d^{sce}}^{XW} = [Q_{1W_d^{sce}}^{XW}, ..., Q_{yW_d^{sce}}^{XW}, ..., Q_{YW_d^{sce}}^{XW}] \quad (3)$$

Dessa forma, $Q_{yW_d^{sce}}^{XW}$ é calculado por meio da multiplicação da quantidade de material na sua unidade pela taxa de conversão correspondente.

$$Q_{yW_d^{sce}}^{XW} = Q_{yW_d^{sce}}^{XU} \cdot C_y^{XUW}, X \in \{M, P, E, T\} \quad (4)$$

Conforme discutido anteriormente, os resíduos são provenientes de quatro origens: Materiais de Construção, Materiais de Embalagem, Materiais Extraídos e Elementos de Construção Alvo. Essa geração de resíduos baseia-se também no Princípio da Conservação de Massa.

Para os Materiais de Construção, a maioria deles é consumido na entrega de determinados Elementos de Construção e apenas uma pequena parcela se torna desperdício devido ao manuseio inadequado e sobras. Já o Material de Embalagem e os Extraídos, a maioria é descartado como resíduo de construção. E os Elementos de Construção Alvo se tornam resíduos quando não são mais necessários ao projeto.

A quantidade de resíduos gerados de um determinado material de um Subelemento pode ser medida como uma porcentagem da quantidade necessária para construir os Elementos de Construção. Essa porcentagem é referida como o Nível de Desperdício em relação a um determinado material de um Subelemento específico. Dessa forma, a quantidade desses resíduos gerados por um determinado material é calculada multiplicando-se o a quantidade total de Material da Construção exigido pelo nível de desperdício correspondente.

$$R_{yW_d^{sce}}^{XW} = Q_{yW_d^{sce}}^{XW} \times L_{yW_d^{sce}}^X, \quad y = 1, 2, \dots, Y \quad (5)$$

Onde, $R_{yW_d^{sce}}^{XW}$ é a quantidade de resíduos medida em peso do y-ésimo material na categoria de material X do Subelemento W_d^{sce} e $L_{yW_d^{sce}}^X$ é o Nível de Desperdício do y-ésimo material na categoria de material X do Subelemento W_d^{sce} .

Aplicando o Princípio de Conservação de Massa, temos as seguintes formulações para geração de resíduos em cada nível da EAP:

Nível 4: Total de Resíduos Gerados pelos Subelementos

$$R_{W_d^{sce}}^{AW} = \sum_{i=1}^I R_{iW_d^{sce}}^{MW} + \sum_{g=1}^G R_{gW_d^{sce}}^{PW} + \sum_{j=1}^J R_{jW_d^{sce}}^{EW} + \sum_{k=1}^K R_{kW_d^{sce}}^{TW} \quad (6)$$

Nível 3: Total de Resíduos Gerados pelos Elementos

$$R_{W_e^{sc}}^{AW} = \sum_{i=1}^I R_{iW_e^{sc}}^{MW} + \sum_{g=1}^G R_{gW_e^{sc}}^{PW} + \sum_{j=1}^J R_{jW_e^{sc}}^{EW} + \sum_{k=1}^K R_{kW_e^{sc}}^{TW} \quad (7)$$

Nível 2: Total de Resíduos Gerados pelos Componentes

$$R_{W_c}^{AW} = \sum_{i=1}^I R_{iW_c}^{MW} + \sum_{g=1}^G R_{gW_c}^{PW} + \sum_{j=1}^J R_{jW_c}^{EW} + \sum_{k=1}^K R_{kW_c}^{TW} \quad (8)$$

Nível 1: Total de Resíduos Gerados pelos Sistemas

$$R_{W_s}^{AW} = \sum_{i=1}^I R_{iW_s}^{MW} + \sum_{g=1}^G R_{gW_s}^{PW} + \sum_{j=1}^J R_{jW_s}^{EW} + \sum_{k=1}^K R_{kW_s}^{TW} \quad (9)$$

Com essas formulações, Li *et al.* (2016) mostram que os resíduos gerados num determinado nível será sempre a soma dos resíduos gerados pelo nível inferior sucessivo. Portanto, a quantidade de resíduos gerados num determinado projeto pode ser expressa da seguinte forma:

$$R_W^{AW} = \sum_{i=1}^I R_{iW}^{MW} + \sum_{g=1}^G R_{gW}^{PW} + \sum_{j=1}^J R_{jW}^{EW} + \sum_{k=1}^K R_{kW}^{TW} \quad (10)$$

Apesar da diversidade de modelos e gestões de resíduos da construção civil, não é suficiente, dominar as técnicas capazes de implementá-los adequadamente e ou por meio de avanços tecnológicos desenvolver métodos sofisticados para prever e mitigar os impactos da geração de resíduos da construção civil, se essas ações não vierem acompanhadas de políticas públicas que demonstrem uma efetiva preocupação com a geração de resíduos e que norteiem os envolvidos rumo à sustentabilidade.

2.4 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

De acordo com o *Cambridge Dictionary* (2017, p. 150), o termo revolução industrial é inicialmente definido como: “[...] o período durante o qual o trabalho começou a ser feito mais por máquinas nas fábricas do que pela mão em casa”. Os avanços em ciência e tecnologia têm continuamente apoiado o desenvolvimento da industrialização em todo o mundo e ajudado a trazer significados mais específicos e explícitos para este termo (BELVEDERE; GRANDO; BIELLI, 2013).

Ao longo da história mundial, a indústria passou por diversas transformações e a primeira ocorreu na Europa no final do século XVIII, e foi intitulada como a Primeira Revolução Industrial. Entre 1760 a 1860, a Revolução Industrial ficou limitada, primeiramente,

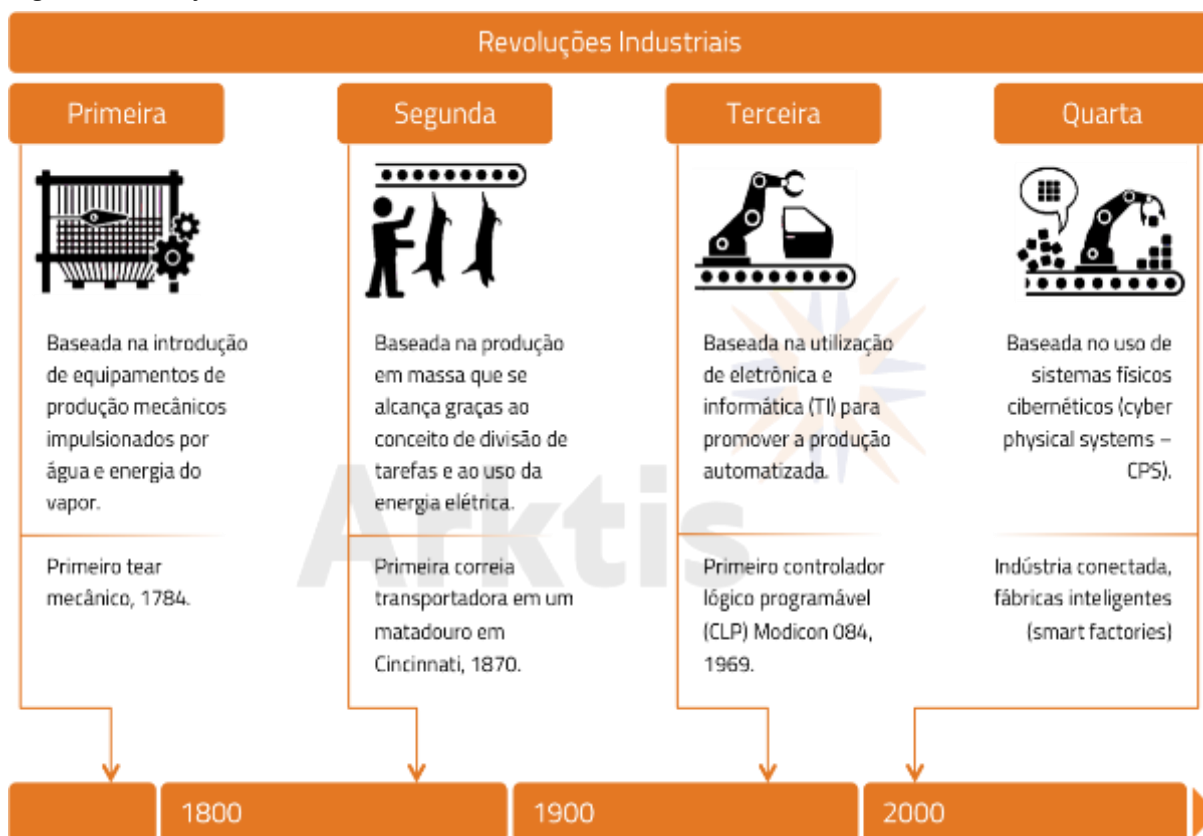
à Inglaterra, surgindo as indústrias de tecidos de algodão, com o uso do tear mecânico. Nessa época o aprimoramento das máquinas a vapor e a sua utilização como fonte de energia para mecanizar a produção nas fábricas contribuíram para a continuação da revolução, dessa forma o trabalho artesanal começou a ser substituído pelo assalariado e pelas máquinas (MATHIAS, 2001).

Mais tarde, em meados do século XIX, ocorreu a segunda grande mudança, conhecida como Segunda Revolução Industrial, que foi a aplicação de energia elétrica nos processos produtivos industriais, permitindo a produção em grandes escalas por meio de linhas de montagem. A industrialização se espalhou pela Europa, EUA e Japão, e para fomentar o aprimoramento dos métodos de produção, havia incentivos para pesquisas proporcionando resultados significativos como a descoberta e o aproveitamento de novas fontes de energia - o petróleo (no motor a combustão), a água (nas usinas hidrelétrica), o urânio (para a energia nuclear), revolucionando ainda mais a produção industrial (CHANDLER, 2009).

Já na década de 70, surgiu a Terceira Revolução Industrial, que por intermédio de sistemas eletrônicos e desenvolvimento da tecnologia da informação, estabeleceu a produção automatizada. Este processo teve a liderança dos Estados Unidos da América, que se tornou a grande potência econômica deste período. Mas houve também o surgimento de novas potências industriais e econômicas como, por exemplo, Alemanha e Japão, e mais tarde a China. A principal característica dessa revolução foi o uso de tecnologias no processo de produção, visando diminuir os custos e o tempo de produção. Além disso, houve um aumento da consciência ambiental, a partir da década de 1980, por grande parte das indústrias, que passaram a buscar processos produtivos sem ou com baixo impacto ambiental (RIFKIN, 2011).

Nos últimos anos, de acordo com a evolução apresentada na Figura 4, deu-se início a uma nova fase, a Quarta Revolução Industrial. O Fórum Econômico Mundial, realizado em Davos, na Suíça, em janeiro de 2016, reuniu líderes das áreas de ciência e tecnologia, negócios, saúde, educação, governo e outros campos, bem como representantes da mídia. Um tema chave desse fórum foi o que veio a ser conhecido como a "quarta revolução industrial". Após esse encontro, muitas informações fragmentas surgiram a respeito dessa nova revolução, mas nenhuma delas foram eficazes no que diz respeito a comunicar o que esta revolução é e como isso pode significar para nossas vidas, comunidades, governos e nossos locais de trabalho no próximo e distante futuro.

Figura 4: Revoluções Industriais



Fonte: UGULINO (2017).

Para Coelho (2016), esta revolução provocará mudanças significativas, não apenas na indústria, mas também na sociedade, na economia, nos valores, na comunicação, nas escolhas de produtos e serviços, entre outras. O avanço tecnológico vem ocorrendo a diferentes velocidades, aumentando cada vez mais a distância entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento, entre indústria ultrapassada e atual, é preciso entender as oportunidades e os riscos de forma a criar vantagem competitiva.

Segundo Lasi, Kemper e Fettke (2014), a digitalização avançada dentro das fábricas, a combinação de tecnologias da internet e tecnologias orientadas para o futuro no campo de objetos "inteligentes" (máquinas e produtos) resultará em uma nova mudança de paradigma fundamental na produção industrial. A quarta revolução industrial trará uma produção com sistemas de fabricação modulares e eficientes e caracterizará cenários nos quais os produtos controlarão seu próprio processo de fabricação. Isto supostamente realizará a fabricação de produtos individuais em um tamanho de lote de um, mantendo as condições econômicas de produção em massa.

Complementando, Rübmman, Lorenz e Gerbert. (2015) mostram que o mundo entrou no meio de uma quarta onda de avanço tecnológico: o surgimento da nova tecnologia industrial

digital, uma transformação que é alimentada por princípios tecnológicos fundamentais. Nesta transformação, sensores, máquinas, peças de trabalho e sistemas de Tecnologia da Informação – TI serão conectados ao longo da cadeia de valor além de uma única empresa. Esses sistemas conectados poderão interagir uns com os outros usando protocolos padrão baseados na Internet e analisar dados para prever falhas, configurar-se e adaptar-se às mudanças. A quarta revolução possibilitará coletar e analisar dados entre máquinas, permitindo processos mais rápidos, mais flexíveis e mais eficientes para produzir produtos de alta qualidade a custo reduzido. Isso, por sua vez, aumentará a produtividade da manufatura, mudará a economia, fomentará o crescimento industrial e modificará o perfil da força de trabalho - em última análise, mudará a competitividade das empresas e dos países.

Já para Frederick (2016), robôs, inteligência artificial, computação baseada em nuvem, *big data* e uma combinação de outras tecnologias estão se fundindo gradualmente para criar uma realidade que tem o potencial de revolucionar o modo de vida das pessoas.

Para Gorecky, Schmitt e Loskyll (2014), destacam-se principalmente as mudanças nas tarefas e demandas para o ser humano na fábrica. Como a entidade mais flexível em sistemas de produção ciber-físicos, os trabalhadores serão confrontados com uma grande variedade de trabalhos, desde a especificação e monitoramento até a verificação das estratégias de produção. Por meio do suporte tecnológico, é garantido que os trabalhadores possam realizar todo o seu potencial e adotar o papel de tomadores de decisões estratégicas e solucionadores de problemas flexíveis. O uso de tecnologias de interação e metáforas estabelecidas no mercado de bens de consumo parece ser promissor. Este trabalho demonstra soluções para a assistência tecnológica de trabalhadores, que implementam a representação de um mundo cyber-físico e, nesse caso, interações na forma de interfaces de usuário inteligentes. Além de meios tecnológicos, existe a necessidade de estratégias de qualificação adequadas, que criarão o entendimento interdisciplinar necessário para quarta revolução.

Em adição, Benesová e Tupa (2017) mostram que na quarta revolução algumas profissões serão substituídas. As tecnologias emergentes terão um efeito enorme na educação das pessoas. Somente funcionários qualificados e altamente qualificados poderão controlar essas tecnologias. O papel do fator humano será necessário para o futuro. As habilidades e qualificações da força de trabalho se tornarão a chave para o sucesso de uma fábrica altamente inovadora. Por esse motivo, as empresas devem se concentrar no desenvolvimento de mão de obra qualificada. Para Armstrong (2014), a gestão de recursos humanos não será focada apenas na seleção, no recrutamento e na demissão de funcionários, mas também no desenvolvimento de recursos humanos, ou seja, educação, aprendizagem e treinamento de funcionários. De

acordo com Hecklau, Galeitzke e Flachs (2016), é possível agregar e categorizar competências em quatro grupos principais - competências técnicas, metodológicas, sociais e pessoais. Os requisitos para as qualificações e habilidades dos funcionários serão maiores do que no presente, porque as empresas usarão novas tecnologias e mídias inteligentes. Por essa razão, o sistema educacional será alterado de Educação 3.0 para Educação 4.0.

Corroborando, Liao *et al.* (2018) mostram que os países desenvolvidos estão avançando na corrida tecnológica e de inovação, por exemplo, o governo norte-americano foi a primeira potência industrializada a adotar políticas públicas para investir em novas tecnologias e metodologias de processos industriais. Para isso, o Conselho de Ciência e Tecnologia Americano elaborou um plano chamado “*Advanced Manufacturing Partnership*” cuja a intenção era criar um ambiente propício para inovação proporcionado pela parceria entre governo federal, indústria e universidade.

Na União Europeia não está sendo diferente, países membros estão elaborando planos e estratégias para quarta revolução industrial, também conhecida como a Indústria 4.0, cujo o termo, em 2013, na feira de Hannover, foi apresentado pela primeira vez por meio de um relatório coordenado por Henning Kagermann na qual o objetivo principal era as recomendações para implementação estratégica da Indústria 4.0 ao governo da Alemanha, afim de garantir, num futuro próximo, a competitividade das indústrias alemãs no mercado mundial. A base desse relatório era mostrar a possibilidade de criação de redes inteligentes ao longo de todo o processo produtivo por intermédio da interligação entre máquinas e sistemas digitais, permitindo controle da produção de forma autônoma, ou seja, as máquinas serão capazes de programar manutenções, prever falhas e proceder mudanças nos processos produtivos.

Na Ásia, segundo Lin, Shyu e Ding (2017), essa tendência atingiu o Japão e o “*Industry Revitalization Plan*” foi apresentado com o foco no desenvolvimento de tecnologias robóticas para aumentar a eficiência da produção e o valor agregado, reduzindo assim os custos de fabricação para impulsionar a transformação do setor. Após o 12º Plano Quinquenal, que tem como alvo sete indústrias estratégicas, as autoridades chinesas elaboraram o *white paper* “*China Manufacturing 2025*” para desenvolver equipamento de fabricação inteligente para se tornar um centro de inovação global. “*Manufacturing Innovation 3.0*” é o projeto que o governo coreano elaborou para implementar a planta inteligente através da integração de Tecnologia da Informação – TI, software e Internet das Coisas etc.

Já no Brasil são poucos setores competitivos em escala global, nos processos integrados que garantem a produção customizada e produtos inovadores da revolução 4.0. O Brasil precisa ainda andar muito nesses dois sentidos (BRITO, 2017). Algumas indústrias brasileiras saíram

na frente, com projetos que podem ser considerados 4.0, como é o caso das empresas: Ambev (Multinacional de bebidas), que em 2015, adotou um sistema de automação para melhorar o controle do processo de resfriamento da cerveja e reduzir as variações de temperatura, com consequente redução no custo de energia e Volkswagen Brasil, onde todos os projetos são criados a partir de um modelo digital. Os produtos são simulados em ambiente 3D, o que acelera o processo, garante flexibilidade, otimiza o tempo de produção e ainda abre postos de trabalho altamente qualificados (ESTÚDIO ABC, 2016).

Diante deste cenário, o Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços – MDIC (2017) instituiu o Grupo de Trabalho para a Indústria 4.0 – GTI 4.0, com o objetivo de elaborar uma proposta de agenda nacional para o tema. O GTI 4.0 possui mais de 50 instituições representativas (governo, empresas, sociedade civil organizada, etc), nas quais contribuíram e debateram sobre diferentes perspectivas e ações para a Indústria 4.0 no Brasil. Temas prioritários como aumento da competitividade das empresas brasileiras, mudanças na estrutura das cadeias produtivas, um novo mercado de trabalho, fábricas do futuro, massificação do uso de tecnologias digitais, *startups*, *test beds*, dentre outros foram amplamente debatidos e aprofundados neste GTI 4.0. A partir das experiências do GTI 4.0 a aliança entre associações empresariais, confederações, federações de indústria e sindicatos foi o primeiro passo para trabalho com um tema tão transversal e impactante.

Levando a quarta revolução industrial para o plano da sustentabilidade, Garbie (2016) mostra que as principais vantagens da indústria 4.0 incluem as características mais importantes das indústrias 1.0, 2.0 e 3.0, e incorporam noções de como tornar as características das revoluções industriais anteriores mais sustentáveis. Além disso, outros temas e tópicos são incorporados na indústria 4.0, como globalização e questões internacionais, questões emergentes, sociedade, bem-estar social e impactos ambientais. A indústria 4.0 é considerada uma revolução industrial ampla porque abrange todas as questões na vida das pessoas a partir de questões econômicas e incorporando questões sociais e ambientais.

Assim como ocorreu nas fases anteriores da revolução industrial, a implementação da Indústria 4.0 na produção de um produto ou execução de um serviço poderá ser um fator de sucesso para as empresas manterem-se competitivas no mercado mundial. Mas, para isso ocorrer, Gabriel e Pessl (2016) afirmam que as empresas devem considerar os impactos sociais, econômicos e ambientais.

2.5 TECNOLOGIA BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

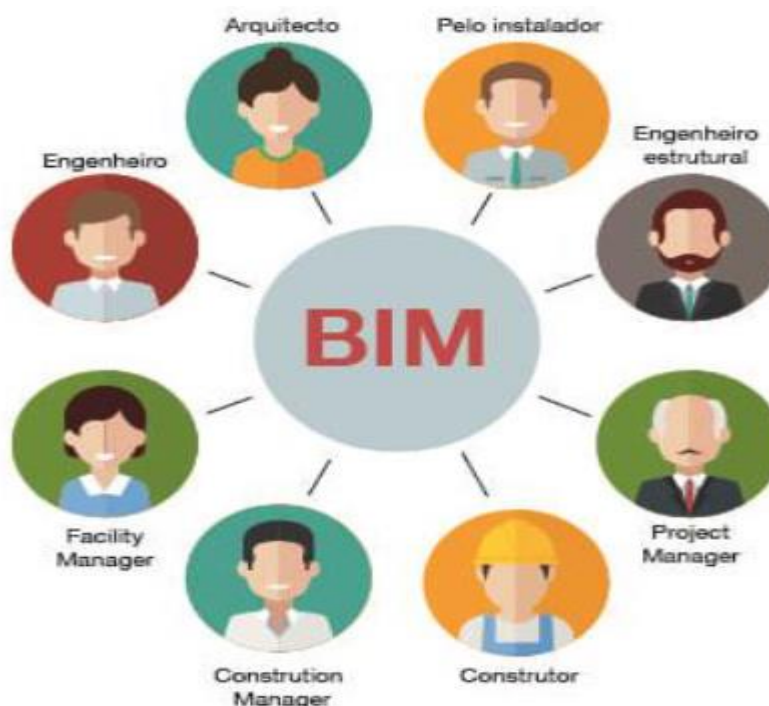
De acordo com o estudo desenvolvido pela Price Waterhouse Coppers Global (2016), a ausência de cultura digital e de treinamentos específicos foi identificada como o maior desafio enfrentado pelas empresas de engenharia e construção em todo o mundo na implantação dos conceitos da indústria 4.0.

Apesar das dificuldades, o setor da construção civil tem trabalhado para consolidar a Indústria 4.0, não só com a adoção dos seus princípios básicos, mas com a criação de novas tecnologias específicas para as demandas da área da construção civil.

Uma das principais tecnologias desenvolvidas para o setor da Construção Civil é o *Building Information Modeling - BIM* (ou Modelagem de Informações da Construção), que pode ser definido como uma ferramenta capaz de elaborar todos os projetos de maneira integrada, contemplando todas as informações que afetam o ciclo da obra, como ilustrado na Figura 5 (CAVALCANTI; SOUZA; SODRÉ, 2018).

Complementando, Pratt (2004) mostra que essas informações podem ser geométricas, ou seja, relacionadas ao modelo construtivo, e não-geométricas que incluem especificação de material, cronograma e custo do projeto executivo.

Figura 5: Integração entre Projetos



Fonte: Biblus (2018).

Corroborando, Ribeiro (2017) mostra que essa integração de informações ainda na fase de projetos permite alocação adequada de mão-de-obra e maior assertividade no quantitativo e escolha do material para cada etapa da execução. Além disso, o tratamento prévio desses dados, auxilia na tomada de decisão, garantindo um melhor desempenho no processo construtivo e diminuindo desperdícios.

No Brasil, Cunha (2012) mostra que o setor da construção civil, pela capacidade de gerar efeitos na produção, na renda e no emprego, é considerado um setor chave, pois o alto nível de encadeamento com outros setores torna a atividade fundamental para o desenvolvimento econômico brasileiro.

Ainda segundo o autor, o estudo de correlação mostra que a variação crescente do Produto Interno Bruto – PIB brasileiro está altamente associada à variação crescente do PIB do setor da construção civil.

Devido a essa importância econômica e social desse setor no Brasil, o governo brasileiro está criando políticas de inserção da construção civil na Indústria 4.0, e uma delas é a Estratégia *BIM-BR* (BRASIL, 2018a), que é um plano de disseminação do *BIM* e que tem em seu documento os seguintes resultados esperados (BRASIL, 2018b):

- Garantir ganhos de produtividade ao setor de construção civil;
- Melhorar a qualidade nas obras públicas;
- Aumentar a assertividade no planejamento de execução de obras proporcionando maior confiabilidade de cronogramas e orçamentos;
- Contribuir com ganhos em sustentabilidade por meio da redução de resíduos sólidos da construção civil;
- Contribuir com a melhoria da transparência nos processos licitatórios;
- Elevar o nível de qualificação profissional na atividade produtiva;

A Estratégia *BIM-BR* foi regulamentada pela Decreto 9.377, de 17 de maio de 2018, que instituiu o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling – CE-*BIM* (BRASIL, 2018c).

Um dos resultados esperados pelo governo está voltado para sustentabilidade, na qual por intermédio do *BIM* é possível reduzir a geração de resíduos sólidos da construção civil e destiná-los de forma adequada. Dessa forma, a Indústria 4.0 pode contribuir significativamente para desenvolver uma gestão de resíduos sólidos da construção civil mais eficiente e eficaz.

Corroborando com a ideia, o Plano de Estratégia 2025 do governo Britânico para construção civil mostra que o *BIM* será uma ferramenta de grande potencial para reduzir a geração de resíduos ainda na etapa de elaboração de projetos (HM GOVERNMENT, 2013).

Dessa forma, a partir das ferramentas da Indústria 4.0 será possível desenvolver modelos de gestão de resíduos da construção civil de forma mais eficiente e integrada, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

3 PERCURSO METODOLÓGICO

Este capítulo detalha o percurso metodológico da pesquisa.

Inicialmente, serão apresentadas as considerações metodológicas que nortearam a escolha da metodologia utilizada, os métodos de pesquisa e o detalhamento dos procedimentos que serão aplicados para a operacionalização da pesquisa.

3.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver um plano de gestão de resíduos sólidos na construção de residências por meio de um modelo matemático de estimativa aplicando a tecnologia *BIM*. Pelas características da pesquisa, foi adotada a estratégia de pesquisa quantitativa.

Para Creswell (2010), o referencial teórico é de suma importância para a estratégia de pesquisa quantitativa, na qual inclui uma quantidade substancial de literatura no começo de um estudo para dar direção às questões ou hipóteses de pesquisa. Ainda segundo autor, as variáveis precisam ser especificadas em um experimento para que fique claro quais grupos estão recebendo o tratamento experimental e quais resultados estão sendo medidos.

Complementando, Sordi (2017) mostra que esse tipo de método é bastante objetivo pois operacionaliza a construção do conhecimento a partir da lógica, trabalha com fatos, emprega técnicas estatísticas-probabilística e desenvolve o conhecimento por acumulação, ou seja, a pesquisa é fundamentada em teorias já existentes, para averiguar a partir de dados de campos (fatos) as hipóteses de interesse da pesquisa.

É importante também ressaltar sobre o propósito da pesquisa, na qual foi trabalhado de forma descritiva, uma vez que o campo de estudo sobre a temática do projeto já vem sendo explorada pela comunidade científica. Dessa forma, a pesquisa trouxe mais informações acerca de geração e gestão de resíduos sólidos da construção civil e da ferramenta *BIM*. Além disso, foi apresentado como essas variáveis descritivas pudessem se relacionar de forma que a pesquisa alcançasse o resultado esperado que foi o desenvolvimento do plano de gerenciamento dos RCC's.

Dentro dessa abordagem foi realizado um estudo de caso, que segundo Dyniewicz (2009) o seu desenvolvimento pode ser dividido em três etapas: plano inicial, onde define-se do que se quer e onde se quer chegar; coleta de dados, cujas as informações são coletadas

sistematicamente de forma mais adequada possível; e análise de informações, na qual realiza uma pré-análise do material recolhido e completa o que for necessário com novas simulações ou outras fontes.

Justificando a escolha do método quantitativo com estudo de caso único para a pesquisa, deve-se compreender que a engenharia é uma ciência exata, pois ao calcular uma máquina, um edifício, ou até mesmo planejar processos, utiliza-se a linguagem numérica para definir o que deve ou não deve ser feito.

Para se alcançar o objetivo geral da pesquisa a partir de um estudo de caso único, foi necessário quantificar o material utilizado para realizar a construção de uma residência e por intermédio de uma modelagem matemática, foi possível desenvolver um plano otimizado de gestão de resíduos sólidos no canteiro de obra, ainda na fase de elaboração e integração de projetos (LI *et al.*, 2016; LI; ZHANG;2013; MHASKE *et al.*, 2017; LU *et al.*, 2017; CHENG; MA, 2017).

Em adição, foi adotado um procedimento documental, que para Severino (2010), essa técnica é capaz de reunir, classificar e distribuir as informações geradas pelo levantamento de dados que ainda não receberam um tratamento analítico.

3.2 TIPO DE PESQUISA

O processo metodológico adotado para a pesquisa foi de natureza aplicada, que de acordo com Bardin (2011), tem como motivação a necessidade de produzir conhecimento para aplicação de seus resultados, ou seja, gerar conhecimento para a aplicação prática e dirigida à solução de problemas que contenham objetivos anteriormente definidos.

Corroborando, Brasileiro (2013) salienta que pesquisas aplicadas têm o objetivo de utilizar de toda informação disponível para a criação de novas tecnologias e métodos, transformando a sociedade atual em que vivemos. Esse tipo de pesquisa possui resultados mais palpáveis, muitas vezes percebidos pela população também.

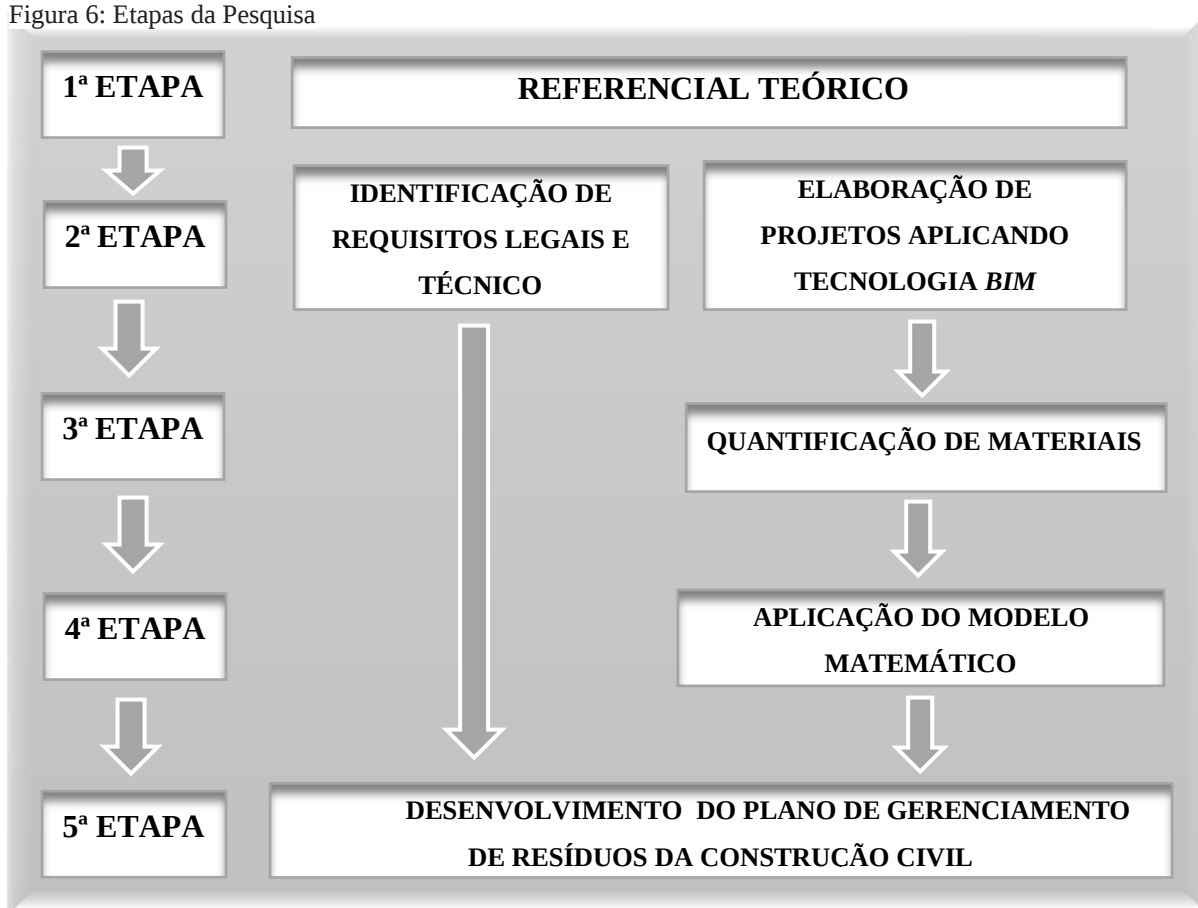
Seguindo a linha de raciocínio dos autores citados, o problema que foi resolvido pela pesquisa é apresentado por Marzouk e Azab (2015), na qual eles apontam que a construção civil é um dos setores que mais gera resíduos sólidos. Essa grande produção de resíduos é proveniente da construção de novas estruturas, reformas, manutenções, obras de demolição e projetos de desenvolvimento de infraestrutura que podem ser prejudiciais ao meio ambiente e causar impactos sociais e econômicos se não forem gerenciados de maneira adequada.

3.3 OPERACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA

Considerando a estratégia de pesquisa adotada, a sequência de etapas definidas a seguir permitiu operacionalizar o desenvolvimento da pesquisa para se alcançar o resultado esperado, o plano de gerenciamento de resíduos da construção civil por meio de modelagem matemática aplicando a tecnologia *BIM*.

As etapas para operacionalização da pesquisa são apresentadas na Figura 6.

Figura 6: Etapas da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Na primeira etapa foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a geração de resíduos sólidos, apresentando um panorama geral da insustentabilidade dos atuais padrões de produção direcionado para a indústria da construção civil. Em adição, foi abordada uma discussão de alternativas para solucionar o problema da geração de resíduos sólidos provenientes da elevada demanda de reformas e novas construções por todo o mundo.

Ainda na pesquisa bibliográfica, foram definidos e classificados os resíduos da construção civil conforme legislação brasileira. Também se tratou sobre a modelagem matemática e a sua contribuição para ciência aplicada, direcionando o estudo para área de

gestão de resíduos sólidos, por meio de exemplos encontrados na literatura científica. Complementando, a pesquisa explanou sobre a quarta revolução industrial, e por último, foi feita uma abordagem de como a tecnologia *BIM* pode agregar valor para o setor da construção civil e trazer melhorias para o gerenciamento de resíduos, priorizando os impactos causados no plano de sustentabilidade.

Na segunda etapa, a pesquisa foi dividida em duas partes, a primeira tomou como referências a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS no Brasil, as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e as normas e especificações técnicas para melhorar o controle e acompanhamento da geração de resíduos até o seu destino final, permitindo, então, a identificação dos requisitos legais e técnicos para a elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil.

Já na segunda parte, foi definido o estudo de caso único, onde foram elaborados o projeto arquitetônico e os complementares (estrutural, elétrico e hidrossanitário) a partir do *software Autodesk Revit 2019* e *software Eberick 2019*, respectivamente, e que desenvolvem projetos utilizando a tecnologia *Building Information Modeling – BIM*.

Detalhando esse processo, primeiramente deve-se compreender que os Programas *Computer-Aided Design – CAD* tradicionais criam desenhos bidimensionais utilizando entidades geométricas como linhas, retângulos e círculos. Já a modelagem em *BIM* difere de desenhos *CAD* na medida em que, ao utilizá-lo, o usuário elabora um projeto usando componentes ao invés de apenas linhas. O modelo contém propriedades pré-definidas, ou propriedades definidas pelo usuário, o que permite rastrear e apurar quantidades de materiais e qualquer outra informação adicional do modelo, contribuindo para o levantamento do escopo do projeto (AUTODESK, 2005).

Na terceira etapa, após o término do processo de modelagem, os quantitativos foram extraídos a partir dos próprios *softwares*. Porém a fim de facilitar o manuseio dos dados, julgou-se melhor levá-los para um *software* de tabela eletrônica, no caso foi escolhido o *Microsoft Excel*.

Vale ressaltar que na aplicação da tecnologia *BIM*, as informações são compartilhadas naturalmente, por meio de um formato de dados padrão, denominado *Industry Foundation Classes – IFC*, que é um formato específico de dados, que permite o intercâmbio de um modelo *BIM*, sem perda ou distorção de dados ou informação.

Existem hoje, mais de 100 softwares que podem ler, escrever e trocar informações utilizando o padrão *IFC*. Para garantir a exatidão na importação e exportação dos dados por

cada um destes *softwares*, a *Building Smart International* definiu um processo de certificação que garante a conformidade com as normas.

Na quarta etapa, foi utilizado um modelo matemático, cuja metodologia aplicou o princípio do balanço de massa e análise de fluxo de material para identificar o processo de geração de resíduos por diferentes tipos de materiais. Além disso, o modelo utilizou taxa de conversão para calcular o peso e o volume dos resíduos auxiliando na sua logística. Dessa forma, a estimativa mostrou o nível de desperdício em cada fase da construção, permitindo um melhor controle da geração de resíduos.

Na quinta etapa, a partir dos critérios definidos pela legislação brasileira quanto à separação de resíduos sólidos por classe e quanto à sua destinação final ambientalmente adequada considerando também a viabilidade econômica, foi desenvolvido um plano de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil.

Esse plano foi elaborado na fase de projetos com o objetivo de ser aplicado durante a execução da obra. Para auxiliar no seu desenvolvimento, esses projetos foram modelados utilizando o *BIM*, pois, por meio dessa tecnologia e do *software Tekla BIM Sight*, houve a integração e a compatibilização entre os projetos arquitetônico, elétrico, estrutural e hidrossanitário.

Essa integração permitiu simular o processo construtivo da edificação contemplando todos os projetos, dessa forma foi possível evitar erros de projetos antes da execução, gerando benefícios no cumprimento dos prazos estipulados no cronograma da obra, otimização de recursos e processos, além da oportunidade de testar soluções previamente.

Os erros de projetos sendo resolvidos na fase de projetos, faz com que os erros durante a execução também diminuam, evitando desfazer trabalhos já executados, reduzindo então a geração de resíduos não planejada.

Para estabelecer as diretrizes do plano, foi necessário quantificar os tipos de resíduos gerados durante as etapas da construção. E para isso, foi utilizado a modelagem matemática capaz de estimar esse quantitativo.

Dessa forma, o plano de gerenciamento contemplou os tipos de resíduos gerados, os quantitativos e identificou fase da obra que eles são produzidos. Com isso, o plano conseguiu definir quais das três as ações: reciclar, reutilizar e descartar, foi a mais adequada como destinação final, considerando os impactos socioeconômicos e ambientais.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentadas as etapas que estruturaram a operacionalização da pesquisa: elaboração dos projetos construtivos utilizando tecnologia *BIM*, quantificação dos materiais, aplicação do modelo matemático para estimar a geração de resíduos, identificação dos requisitos legais e técnicos e desenvolvimento do plano de gerenciamento de resíduo sólidos na construção civil.

Todas essas etapas foram desenvolvidas em cima do estudo de caso único: construção das Casas Geminadas localizadas no Loteamento Tropical na Rua das Avestruzes, Quadra 640 e Lote 071, na Cidade de Porto Velho-RO.

A área total construída foi de 149m² em um terreno de 300m² de forma retangular com dimensões de 12x25m e as residências possuem dois pavimentos.

Para elaboração dos projetos foi definido que a construção é de concreto armado, com vedações em alvenaria convencional e sua fundação foi feita em sapatas de concreto armado.

4.1 ELABORAÇÃO DOS PROJETOS APLICANDO TECNOLOGIA *BIM*.

Para elaboração do projeto arquitetônico utilizou-se o *software Autodesk Revit 2019* e para os projetos estrutural, elétrico e hidrossanitário das Casas Geminadas optou-se pelo *software Eberick 2019*. Ambos os *softwares* possuem certificação da *Building Smart International* garantindo a conformidade com as normas estabelecidas, ou seja, as informações são compartilhadas por meio de um formato de dados padrão, denominado *Industry Foundation Classes – IFC*, que é um formato específico de dados, que permite o intercâmbio de um modelo *BIM*, sem perda ou distorção de dados ou informação, possibilitando a compatibilização dos projetos.

Inicialmente foi elaborado o pré-projeto, como mostra a Figura 7, porém, conforme a Lei Complementar nº 097 de 29 de dezembro de 1999 da Legislação Municipal de Porto Velho sobre uso e ocupação do solo, a edificação deve ser construída a partir de um recuo de 5 metros da rua. Dessa forma, houve a necessidade de modificar o *layout* das casas para atender a legislação local e a partir dessa alteração o projeto arquitetônico foi modelado.

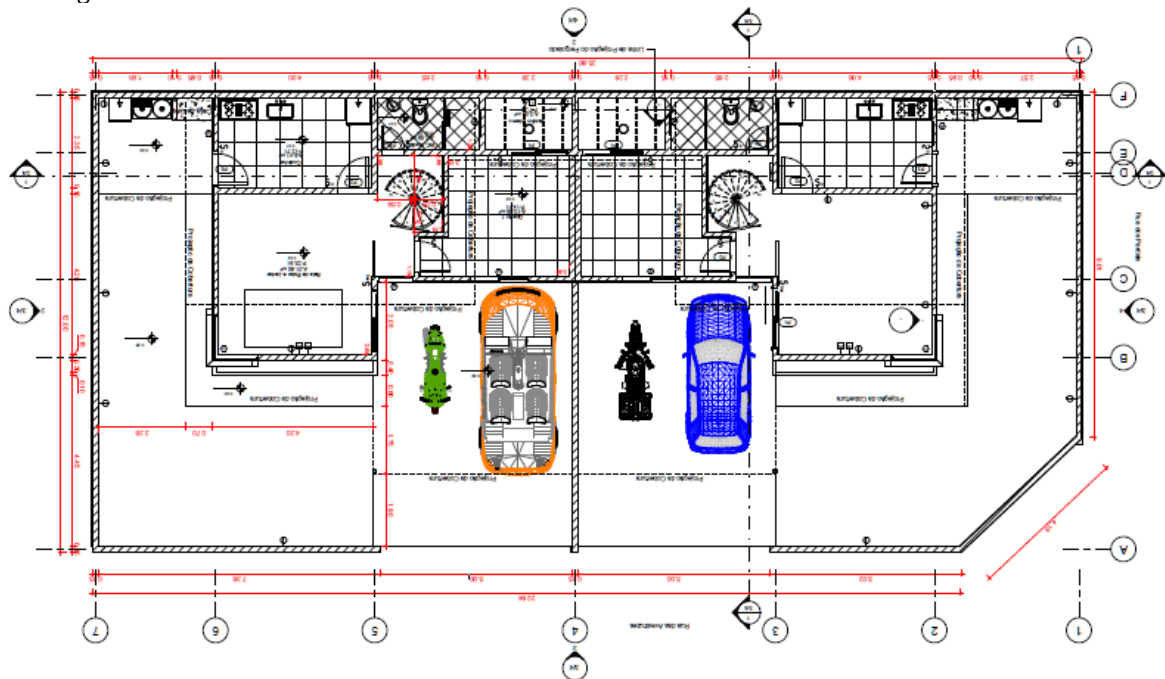
A Figura 8, mostra a planta baixa das Casas Geminadas, na qual cada casa foi projetada para ter no pavimento inferior a cozinha, sala de estar, garagem, área de serviço, jardim interno, banheiro social e um quarto. No pré-projeto, havia também duas opções de *layout* e por redução de custos optou-se por construir apenas uma suíte no pavimento superior.

Figura 7: Pré-projeto das Casas Geminadas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Figura 7: Planta Baixa das Casas Geminadas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Diferentemente dos projetos desenvolvidos em *Computer Aided Design - CAD*, cuja tecnologia é baseada apenas em documentos, ou seja, representações em plantas, cortes, vistas ou, no melhor dos casos, em desenhos de perspectivas e detalhes, que não permite a correta

visualização e a perfeita compreensão do que está sendo projetado. A tecnologia *BIM*, trabalha com modelagem 3D, possibilitando a visualização exata do que está sendo projetado, por mais complexa que seja a construção, além de oferecer funcionalidades para a detecção automática de interferências geoespaciais entre objetos. A Figura 9 apresenta a imagem renderizada das Casas Geminadas.

Figura 9: Visualização Renderizada das Casas Geminadas.



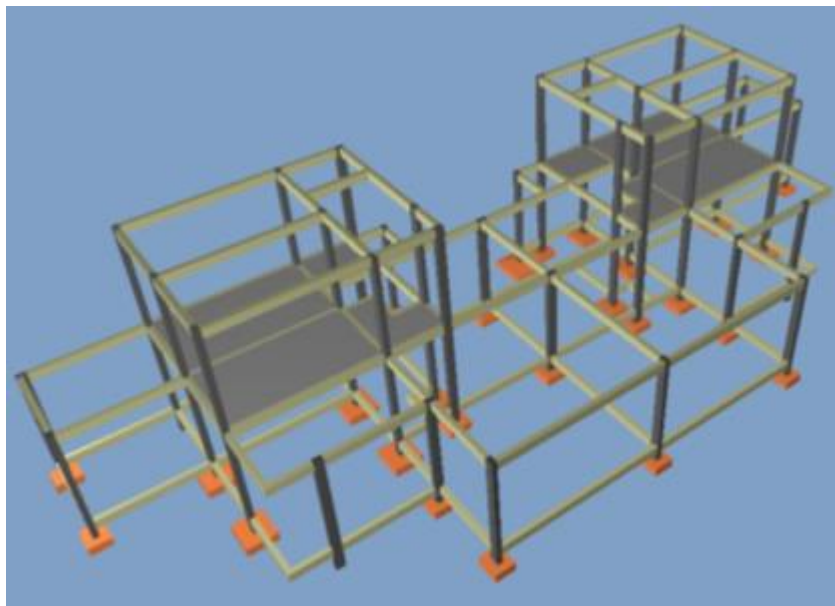
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Dessa forma, somente a correta e inequívoca visualização do que está sendo projetado garante o entendimento e a eficácia no processo de comunicação e alinhamento entre todos os envolvidos na construção de um empreendimento (incorporadores, projetistas, especificadores, orçamentistas, compradores, construtores etc.), inclusive nas suas fases mais iniciais. Em outras palavras, mesmo aqueles que não são familiarizados com os termos técnicos da construção civil (proprietários e investidores, por exemplo) conseguem entender perfeitamente o projeto. Tudo isso se traduz em menor desgaste e em menor quantidade de problemas durante a fase de execução.

Além disso, as soluções *BIM* trabalham como gestores de bancos de dados, de forma que qualquer alteração ou revisão realizada em qualquer parte de um modelo é automaticamente considerada em todas as demais formas de visualização da correspondente massa de dados e informações, sejam tabelas, relatórios ou desenhos (documentos), gerados a partir do modelo. Assim, os erros de inconsistências de projetos são reduzidos praticamente à zero.

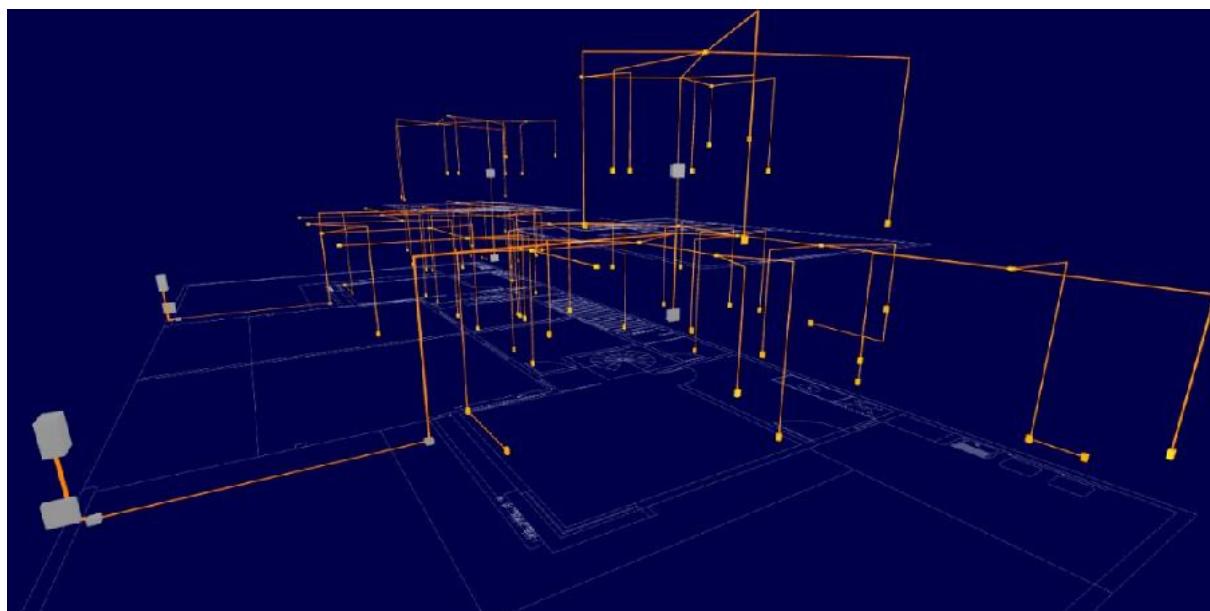
Uma vez modelado a arquitetura no *software Autodesk Revit 2019*, em um outro *software*, *Eberick 2019*, partiu-se para a modelagem do projeto estrutural, elétrico e hidrossanitário como apresentados nas Figuras 10, 11 e 12 respectivamente.

Figura 10: Projeto Estrutural.



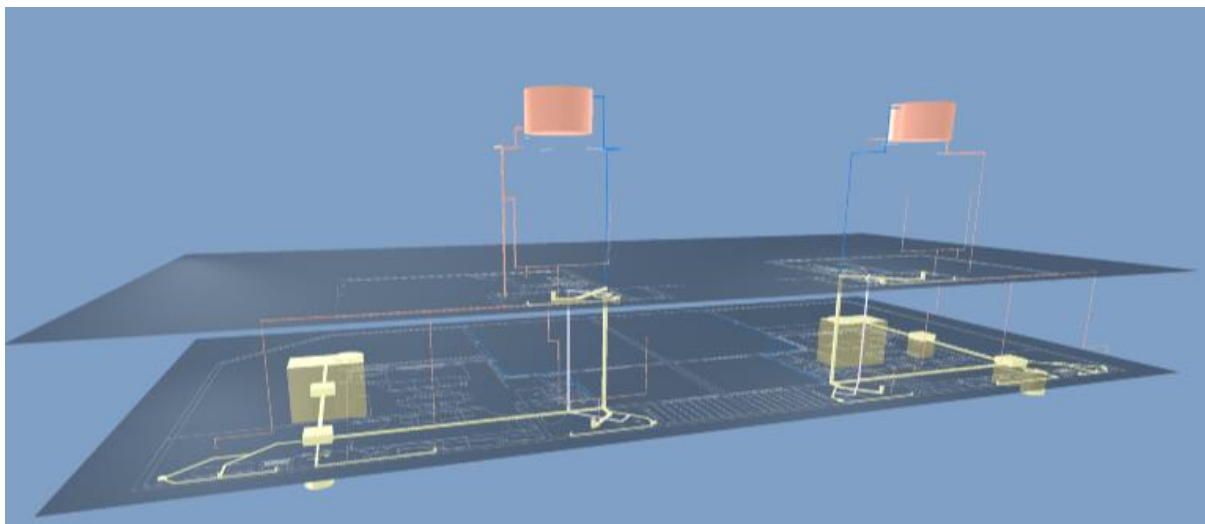
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Figura 11: Projeto Elétrico.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Figura 12: Projeto Hidrossanitário.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Com todos os projetos modelados em *software BIM*, a próxima etapa foi a compatibilização dos projetos para detectar os conflitos.

Minimizar esses conflitos e problemas específicos da fase de construção, suas incertezas e riscos que poderão ser analisados e contornados previamente usando o *BIM* é algo que reflete maior aderência da execução da obra ao orçamento e ao que foi planejado, e no cumprimento de prazos definidos.

O procedimento adotado explorou a interoperabilidade proposta pelo *BIM*, gerando um arquivo *IFC* de cada um dos projetos, a partir dos *softwares* utilizados. Esses arquivos *IFC* foram importados em outro *software* gratuito focado na visualização e checagem de conflitos em modelos *BIM*, o *Tekla BIM Sight*, para então realizar-se a compatibilização.

Para facilitar a análise dos conflitos, optou-se por analisar as modelagens duas a duas, gerando assim seis checagens da seguinte forma: (1) arquitetônico – estrutural, (2) arquitetônico – elétrico, (3) arquitetônico – hidrossanitário, (4) hidrossanitário – estrutural, (5) elétrico – estrutural e (6) hidrossanitário – elétrico.

O *software* detectou todos os conflitos de elementos que estavam ocupando a mesma posição espacial, como por exemplo, conflito de uma tubulação dentro de uma parede ou de uma tubulação dentro da laje.

Porém, sabe-se que algumas interferências de fato irão ocorrer na prática e foram então toleradas nessa análise, como por exemplo, o caso da tubulação que passa pela alvenaria, na prática é feito um rasgo na alvenaria para a passagem dos tubos, porém modelar esse rasgo seria muito trabalhoso e pouco efetivo, por isso conflitos como esses foram ignorados na análise.

O Quadro 2 a seguir mostra o número de conflitos gerados em cada checagem antes de efetuar as correções (etapa 1) e depois das correções de projeto serem realizadas (etapa 2).

Quadro 2 – Número de conflitos antes e após realizar as correções.

Checagem	Etapa 1	Etapa 2
(1) Arquitetônico - Estrutural	218	200
(2) Arquitetônico – Elétrico	343	321
(3) Arquitetônico – Hidrossanitário	145	123
(4) Hidrossanitário – Estrutural	267	226
(5) Elétrico – Estrutural	301	292
(6) Hidrossanitário – Elétrico	150	111

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

4.2 QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Após elaboração dos projetos e sanadas as interferências geoespaciais, a próxima etapa cumprida foi a quantificação dos materiais ou objetos.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2016), a extração automática de todas as quantidades de serviços e componentes dos modelos *BIM* é uma das funcionalidades mais utilizadas por aqueles que começam a utilizar a plataforma. Ela garante consistência, precisão e agilidade de acesso às informações das quantidades, que poderão ser divididas e organizadas (ou agrupadas) de acordo com as fases definidas no planejamento e na programação de execução dos serviços.

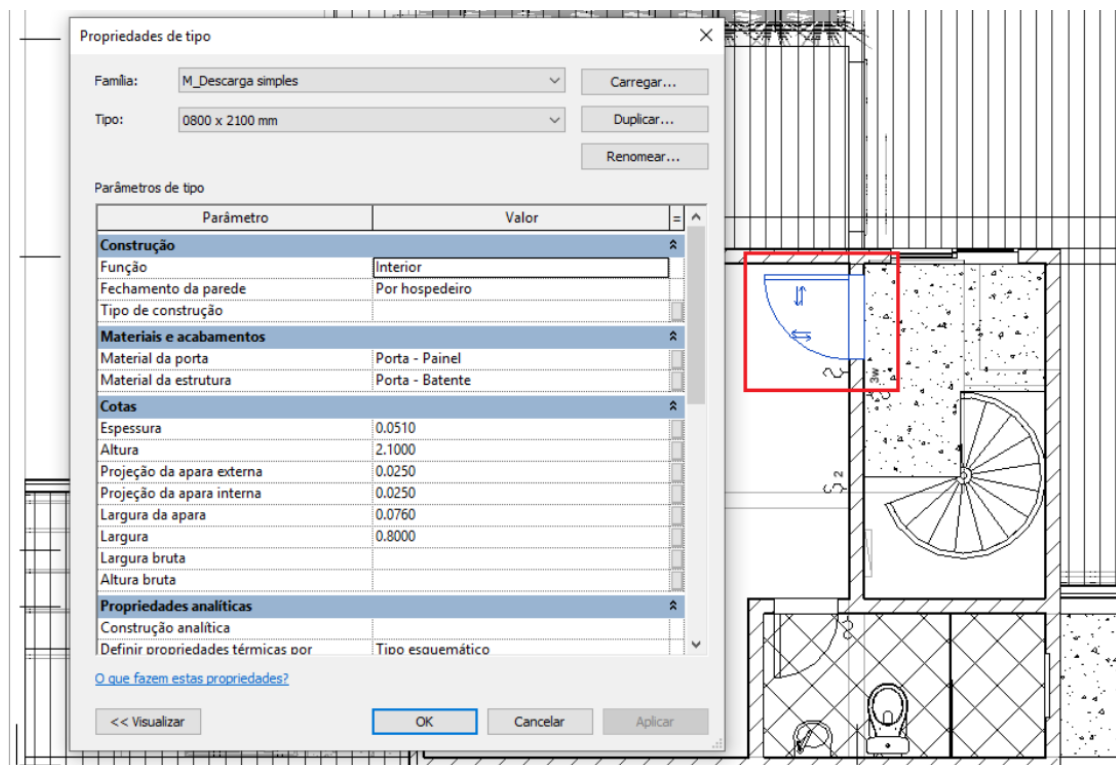
No *BIM* os objetos são paramétricos e inteligentes, e isso significa que esses objetos já possuem informações sobre si próprios, sobre o seu relacionamento com outros objetos, e com o seu entorno ou ambiente no qual está inserido.

Assim, por exemplo, um objeto *BIM* que corresponda a uma janela ‘sabe’ que precisa ser ‘hospedado’ numa parede e que esta deverá ter uma determinada espessura, por exemplo: 15cm. Caso um projetista resolva mudar essa espessura para 20cm, o objeto janela *BIM* consegue ‘perceber’, ‘interpretar’ e ‘reagir’ à essa mudança e, automaticamente, ajustar algumas das suas partes componentes para se adequar à nova situação. São reações automáticas que contribuem para a garantia da consistência e da integridade das soluções projetadas, e também de toda a documentação do projeto (desenhos, detalhes, tabelas), diferentemente do que acontece nos processos baseados em desenhos CAD. Neste último, a integridade da

documentação depende exclusivamente da atenção humana, que precisa replicar mudanças em diversos documentos: plantas, cortes e detalhes.

Exemplificando, a Figura 13 mostra a parametrização do objeto Porta no *software Autodesk Revit 2019*, na qual o projetista consegue alterar as propriedades do objeto em análise, desde a forma de construção, tipo de material e acabamento até o dimensionamento.

Figura 13: Parametrização do objeto Porta no *software Autodesk Revit 2019*.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Finalizada a parametrização dos objetos em cada modelagem, o passo seguinte foi a extração da lista de materiais.

Dentro dos próprios *softwares* foi possível fazer o agrupamento conforme as três principais etapas da construção: fundação, alvenaria e acabamento. Porém a fim de facilitar o manuseio dos dados, julgou-se melhor levá-los para um *software* de tabela eletrônica, no caso foi escolhido o *Microsoft Excel*.

Entretanto, o *Revit* e o *Eberick* exportam suas tabelas em formato .txt, logo os arquivos foram importados e tratados no *software Microsoft Excel*, por meio do recurso importação de dados. Esse procedimento foi adotado para os quatros projetos: arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário.

Para atender o modelo matemático de estimativa de resíduos sólidos da construção civil proposto por Li *et al.* (2016), a tabela de quantitativo de material foi reorganizada conforme o *UNIFORMAT II*, que é um sistema de classificação padrão das informações da construção, onde elementos comuns da construção são definidos com base em suas funções, independentemente de suas especificações de design, materiais utilizados e método de construção aplicados (Charette e Marshall, 1999).

De acordo com o *Construction Specification Institute* (2016), o *UNIFORMAT II* é um sistema de classificação desenvolvido pelas instituições americana *Construction Specification Institute – CSI* e a canadense *Construction Specification Canada – CSC*. Foi concebido para responder à crescente necessidade da indústria da construção de um sistema de classificação que servisse de referência para a descrição, análise econômica e gestão dos empreendimentos e respectivos canteiros de obra. Abrange todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento, desde a concepção, passando pelo planejamento, construção, operação/manutenção e terminando na fase de demolição.

Um projeto de construção civil é classificado em quatro níveis no *UNIFORMAT II*, a saber, grupos de elementos principais (Nível 1, denominado SISTEMA), elementos de grupo (Nível 2, denominado COMPONENTE), elemento individual (Nível 3, denominado ELEMENTO) e, por último, o Nível 4, denominado SUBELEMENTO (Zhang, 2006).

Diante do exposto, a Tabela 1 apresenta a lista de quantitativo de materiais extraída dos *softwares* de modelagem sendo organizada e dividida por níveis conforme o sistema *UNIFORMAT II*.

Além de atender esse sistema de classificação das informações da construção, a lista de materiais foi gerada para subsidiar o desenvolvimento do plano de gestão de resíduos sólidos da construção das residências geminadas, dessa forma, alguns materiais foram excluídos propositalmente, uma vez que não geram resíduos, e outros agrupados, como por exemplo, os diversos tamanhos e diâmetros de tubos de PVC (Nível 4 – Subelementos), que foram agrupados num único item “TUBOS PVC” quando cada Nível 3 (Elementos) exigia esse tipo de material na sua subdivisão.

Os agrupamentos ocorreram, pois quando se trata de contabilizar o quantitativo de resíduos gerados, o tamanho e geometria dos materiais são irrelevantes, levando em consideração apenas o tipo de material que foi utilizado para fabricá-los e o peso.

Tabela 1: Quantitativo de Materiais das Casas Geminadas: UNIFORMAT II

NÍVEL 1 (SISTEMAS)	NÍVEL 2 (COMPONENTES)	NÍVEL 3 (ELEMENTOS)	NÍVEL 4 (SUBELEMENTOS)	QUANTITATIVO
INFRAESTRUTURA	FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO PADRÃO	AÇO CA 50	147,1 KG
			SACO DE CIMENTO	74 SACOS
			CIMENTO	3.700 KG
			AREIA	5,58 M ³
			BRITA	8,19 M ³
			SOLO EXTRAÍDO	45,44 M ³
			PREGO	1 KG
			TÁBUA DE MADEIRA	22,9 M ²
DIVISÃO	SUPERESTRUTURA	CONSTRUÇÃO DO PISO	SACO DE CIMENTO	72 SACOS
			CIMENTO	3.600 KG
			AREIA	9,49 M ³
			BRITA	13,45 M ³
		CONSTRUÇÃO DO TELHADO	MADEIRAMENTO	879M
			PREGO	2 KG
		FECHAMENTO EXTERNO	TIJOLO CERÂMICO	5.800 UNIDADES
			SACO DE CIMENTO	106 SACOS
			CIMENTO	5.300 KG
			AREIA	11,92 M ³
			BRITA	12,18 M ³
			SACO DE CAL	4 SACOS
			CAL	80 KG
			AÇO CA50	2.079,9 KG
			LATA DE TINTA	3 GALÕES
			TINTA EXTERNA	54 L
	ESTRUTURA DA COBERTURA	COBERTURAS FECHADAS	TELHA DE FIBROCIMENTO	478 UNIDADES
			PERGOLADO DE MADEIRA	2,16 M ²
		COBERTURAS ABERTAS	TIJOLO CEÂMICO	3.400 UNIDADES
			SACO DE CIMENTO	31 SACOS
			CIMENTO	1.550 KG
			SACO DE CAL	43 SACOS
INTERIORES	CONSTRUÇÃO INTERNA	DIVISÓRIAS	CAL	860 KG
			AREIA	9,52 M ³
			LATA DE TINTA	10 GALÕES
			TINTA INTERNA	180 L
	ACABAMENTO INTERNO	ACABAMENTO PAREDE	LATA DE MASSA	6 GALÕES
			MASSA CORRIDA	108 L
		ACABAMENTO PISO	REVESTIMENTO CERÂMICO	146,53 M ²

SERVIÇOS	ACABAMENTO DO TETO	LÂMINAS DE FORRO PVC	115 UNIDADES
		(6M)	(690 M)
		RODAFORRO	17 UNIDADES
		METALOM (6M)	50 UNIDADES
		PARAFUSO	3.220 UNIDADES
	HIDRAÚLICA	DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	TUBOS PVC 99,29 M
			SOLO EXTRAÍDO 1 M ³
		SISTEMA DE ESGOTO	TUBOS PVC 53,08 M
			SOLO EXTRAÍDO 0,5 M ³
		SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL	CANALIZAÇÃO 30 M
			VERTICAL – TUBOS PVC CALHA DE AÇO 90 M
			GALVANIZADO (6M)
	ELÉTRICA		CABO DE COBRE 1702,9 M
			ELETRODUTO PVC 324,2 M
		ILUMINAÇÃO E FIAÇÃO	FLEXIVEL CORRUGADO ELETRODUTO PVC 122M
			RÍGIDO
			ELETRODUTO FLEXÍVEL – TIPO SEALTUBO 3M

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

4.3 APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DE ESTIMATIVA DE RESÍDUOS

Nessa etapa, aplicou-se o modelo matemático proposto por Li *et al.* (2016) que foi apresentado no Referencial Teórico na seção sobre modelos de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil.

Seguindo a estrutura para otimização da gestão de resíduos mostrada na Figura 2, o Banco de Dados I gerado pela modelagem da construção utilizando a tecnologia *BIM*, foi exposto na Tabela 1 e organizado conforme UNIFORMAT II, onde cada tipo de material foi quantificado com sua respectiva unidade de medida. Dessa forma, fez-se necessário a utilização de taxas de conversão para transformar as várias unidades de medida em uma única medida. Nesse projeto de pesquisa foi mantido a linha de trabalho conforme Li *et al.* (2016), onde a massa medida em quilograma (kg) foi adotada como unidade de medida única. A Tabela 2 apresenta a lista de materiais utilizada nos projetos das Casas Geminadas e a taxa de conversão para cada material.

Tabela 2: Taxa de conversão dos Materiais das Casas Geminadas

TIPOS DE MATERIAL	UNIDADE	TAXA DE CONVERSÃO (KG)
AÇO CA 50	KG	1,0
SACO DE CIMENTO	UNIDADE	0,314
CIMENTO	KG	1,0
AREIA	M ³	1.500
BRITA	M ³	1.400
SOLO EXTRAÍDO	M ³	1.800
TÁBUA DE MADEIRA	M ³	23,4
MADEIRAMENTO	M	1,2
PREGO	KG	1,0
TIJOLO CERÂMICO	UNIDADE	1,9
SACO DE CAL	UNIDADE	0,115
CAL	KG	1700
LATA DE TINTA	UNIDADE	1,0
LATA DE MASSA CORRIDA	UNIDADE	1,0
TINTA	L	1.360
MASSA CORRIDA	L	1.600
PERGOLADO	M ²	80,0
REVESTIMENTO CERÂMICO	M ²	12,5
LÂMINAS DE FORRO PVC (6M)	UNIDADE	1,89
RODAFORRO (6M)	UNIDADE	0,315
METALOM (6M)	UNIDADE	4,20
PARAFUSO	UNIDADE	0,01
TUBO PVC ÁGUA	M	0,25
TUBO PVC ESGOTO	M	0,50
TUBO PVC FLUVIAL	M	1,13
CALHA GALVANIZADA	M	4,58
CABO DE COBRE	M	0,036
ELETRODUTO FLEXÍVEL	M	0,099
ELETRODUTO PVC	M	0,350
SEALTUBO	M	0,613

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

A Tabela 3 mostra a Lista de Materiais apresentada na Tabela 1 convertida para quilograma (kg) após aplicar as taxas de conversão da Tabela 2.

Tabela 3: Quantitativo de Materiais das Casas Geminadas em Quilograma (KG).

NÍVEL 1 (SISTEMAS)	NÍVEL 2 (COMPONENTES)	NÍVEL 3 (ELEMENTOS)	NÍVEL 4 (SUBELEMENTOS)	QUANTITATIVO
INFRAESTRUTURA	FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO PADRÃO	AÇO CA 50	147,1 KG
			SACO DE CIMENTO	23,24 KG
			CIMENTO	3.700 KG
			AREIA	8.370 KG
			BRITA	11.466 KG
			SOLO EXTRAÍDO	81.792 KG
			PREGO	1 KG
			TÁBUA DE MADEIRA	535,86 KG
DIVISÃO	SUPERESTRUTURA	CONSTRUÇÃO DO PISO	SACO DE CIMENTO	22,61 KG
			CIMENTO	3.600 KG
			AREIA	14.235 KG
			BRITA	18.830 KG
		CONSTRUÇÃO DO TELHADO	MADEIRAMENTO	1.054,80 KG
			PREGO	2 KG
		FECHAMENTO EXTERNO	TIJOLO CERÂMICO	11.020 KG
			SACO DE CIMENTO	33,28 KG
			CIMENTO	5.300 KG
			AREIA	17.880 KG
			BRITA	17.052 KG
			SACO DE CAL	0,46 KG
			CAL	80 KG
			AÇO CA50	2.079,9 KG
			LATA DE TINTA	3 KG
			TINTA EXTERNA	73,44 KG
	ESTRUTURA DA COBERTURA	COBERTURAS FECHADAS	TEHA DE FIBROCIMENTO	10.946,20 KG
		COBERTURAS ABERTAS	PERGOLADO DE MADEIRA	172,8 KG
INTERIORES	CONSTRUÇÃO INTERNA	DIVISÓRIAS	TIJOLO CERÂMICO	6.460 KG
			SACO DE CIMENTO	9,734 KG
			CIMENTO	1.550 KG
			SACO DE CAL	4,94 KG
			CAL	860 KG
			AREIA	14.280 KG
	ACABAMENTO INTERNO	ACABAMENTO PAREDE	LATA DE TINTA	10 KG
			TINTA	244,80 KG
			LATA DE MASSA CORRIDA	6 KG
			MASSA CORRIDA	172, 8 KG

SERVIÇOS	HIDRAÚLICA	ACABAMENTO	REVESTIMENTO	1.831,63 KG
		PISO	CERÂMICO	
			LÂMINAS DE FORRO PVC	217,35 KG
			(6M)	
		ACABAMENTO	RODAFORRO	5,36 KG
		DO TETO	METALOM (6M)	210 KG
			PARAFUSO	3,22 KG
		DISTRIBUIÇÃO	TUBOS PVC	25,04 KG
		DE ÁGUA	SOLO EXTRAÍDO	1.800 KG
		SISTEMA DE	TUBOS PVC	26,47 KG
		ESGOTO	SOLO EXTRAÍDO	900 KG
		SISTEMA DE	CANALIZAÇÃO	26,40 KG
		DRENAGEM	VERTICAL – TUBOS PVC	
		PLUVIAL	CALHA DE AÇO	412,02 KG
			GALVANIZADO (6M)	
	ELÉTRICA	ILUMINAÇÃO E FIAÇÃO	CABO DE COBRE	61,4 KG
			ELETRODUTO PVC	32,01 KG
			FLEXIVEL CORRUGADO	
			ELETRODUTO PVC	42,68 KG
			RÍGIDO	
			ELETRODUTO FLEXÍVEL	1,84 KG
			– TIPO SEALTUBO	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Para os Materiais de Construção, a maioria deles é consumido na entrega de determinados Elementos de Construção e apenas uma pequena parcela se torna desperdício devido ao manuseio inadequado e sobras. Já o Material de Embalagem e os Extraídos, a maioria é descartado como resíduo de construção. E os Elementos de Construção Alvo se tornam resíduos quando não são mais necessários ao projeto.

A quantidade de resíduos gerados de um determinado material de um Subelemento pode ser medida como uma porcentagem da quantidade necessária para construir os Elementos de Construção. A Tabela 4 mostra essa porcentagem que é referida como o Nível de Desperdício em relação a um determinado material de um Subelemento específico. O Nível de Desperdício para cada material foi proposto por Li *et al.* (2016).

Tabela 4: Percentual de Nível de Desperdício para cada Material.

NÍVEL 1 (SISTEMAS)	NÍVEL 2 (COMPONENTES)	NÍVEL 3 (ELEMENTOS)	NÍVEL 4 (SUBELEMENTOS)	NÍVEL DE DESPERDÍCIO
INFRAESTRUTURA	FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO PADRÃO	AÇO CA 50	2,0%
			SACO DE CIMENTO	100,0%
			CIMENTO	2,0%
			AREIA	3,0%
			BRITA	1,5%
			SOLO EXTRAÍDO	100,0%
			PREGO	80,0%
DIVISÃO	FECHAMENTO EXTERNO	PAREDES EXTERNAS	TÁBUA DE MADEIRA	33,0%
			SACO DE CIMENTO	100,0%
			CONSTRUÇÃO DO PISO	2,0%
			CIMENTO	2,0%
			AREIA	3,0%
			BRITA	1,5%
			CONSTRUÇÃO DO TELHADO	2,0%
			MADEIRAMENTO	2,0%
			PREGO	1,0%
			TIJOLO CERÂMICO	5,0%
INTERIORES	CONSTRUÇÃO INTERNA	DIVISÓRIAS	SACO DE CIMENTO	100,0%
			CIMENTO	2,0%
			SACO DE CAL	100,0%
			CAL	5,0%
			AREIA	2,0%
			LATA DE TINTA	100,0% (5,0%)
			TINTA INTERNA	5,0%
			LATA DE MASSA CORRIDA	100,0%
			TEHA DE FIBROCIMENTO	5,0%
			PERGOLADO DE MADEIRA	2,0%
DIVISÃO	FECHAMENTO EXTERNO	PAREDES EXTERNAS	TIJOLO CERÂMICO	5,0%
			SACO DE CIMENTO	100,0%
			CIMENTO	3,0 %
			AREIA	2,0%
			BRITA	2,0%
			SACO DE CAL	100,0%
			CAL	5,0 %
			AÇO CA50	5,0%
			LATA DE TINTA	100,0%
			TINTA EXTERNA	5,0%
INTERIORES	ACABAMENTO INTERNO	ACABAMENTO PAREDE	CONSTRUÇÃO DO PISO	2,0%
			CIMENTO	2,0%
			AREIA	3,0%
			BRITA	1,5%
			CONSTRUÇÃO DO TELHADO	2,0%
			MADEIRAMENTO	2,0%
			PREGO	1,0%
			TIJOLO CERÂMICO	5,0%
			SACO DE CIMENTO	100,0%
			CIMENTO	2,0%

SERVIÇOS			MASSA CORRIDA	5,0%
			ACABAMENTO PISO	REVESTIMENTO CERÂMICO
				2,0%
			LÂMINAS DE FORRO PVC	
				5,0%
			ACABAMENTO DO TETO	(6M)
				RODAFORRO
				5,0%
				METALOM (6M)
				5,0%
				PARAFUSO
				1,0%
	HIDRAÚLICA	DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	TUBOS PVC	5,0%
			SOLO EXTRAÍDO	100,0%
		SISTEMA DE ESGOTO	TUBOS PVC	5,0%
			SOLO EXTRAÍDO	100,0%
		SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL	CANALIZAÇÃO VERTICAL – TUBOS PVC	1,0%
			CALHA DE AÇO GALVANIZADO (6M)	1,0%
	ELÉTRICA	ILUMINAÇÃO E FIAÇÃO	CABO DE COBRE	2,0%
			ELETRODUTO PVC FLEXIVEL CORRUGADO	2,0%
			ELETRODUTO PVC RÍGIDO	2,0%
			ELETRODUTO FLEXÍVEL – TIPO SEALTUBO	1,5%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Na sequência, a quantidade desses resíduos gerados por um determinado material é calculada multiplicando-se o a quantidade total de Material da Construção exigido pelo nível de desperdício correspondente.

Como visto anteriormente, a Tabela 4 apresentou o Nível de Desperdício em porcentagem de cada material que compõe o projeto das Casas Geminadas e agora a Tabela 5 apresenta o quantitativo, em quilograma, dos resíduos gerados por esses materiais.

Tabela 5: Quantitativo de Resíduos Gerados para cada Material.

NÍVEL 1 (SISTEMAS)	NÍVEL 2 (COMPONENTES)	NÍVEL 3 (ELEMENTOS)	NÍVEL 4 (SUBELEMENTOS)	QUANTITATIVO DE RESÍDUOS
INFRAESTRUTURA	FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO PADRÃO	AÇO CA 50	2,94 KG
			SACO DE CIMENTO	23,24 KG
			CIMENTO	74,00 KG
			AREIA	251,10 KG
			BRITA	171,99 KG
			SOLO EXTRAÍDO	81.792,00 KG
			PREGO	0,80 KG
DIVISÃO	SUPERESTRUTURA	CONSTRUÇÃO DO PISO	TÁBUA DE MADEIRA	176,83 KG
			SACO DE CIMENTO	22,61 KG
			CIMENTO	72,00 KG
			AREIA	427,05 KG
			BRITA	282,45 KG
		CONSTRUÇÃO DO TELHADO	MADEIRAMENTO	21,07 KG
			PREGO	0,02 KG
	FECHAMENTO EXTERNO	PAREDES EXTERNAS	TIJOLO CERÂMICO	551,00 KG
			SACO DE CIMENTO	33,28 KG
			CIMENTO	159,00 KG
			AREIA	357,60 KG
			BRITA	341,04 KG
			SACO DE CAL	0,46 KG
			CAL	4,00 KG
			AÇO CA50	103, 99 KG
INTERIORES	CONSTRUÇÃO INTERNA	DIVISÓRIAS	LATA DE TINTA	3,00 KG
			TINTA EXTERNA	3,67 KG
			TEHA DE FIBROCIMENTO	547,31 KG
			PERGOLADO DE MADEIRA	3,46 KG
			TIJOLO CERÂMICO	323,00 KG
	ACABAMENTO INTERNO	ACABAMENTO PAREDE	SACO DE CIMENTO	9,73 KG
			CIMENTO	31,00 KG
			SACO DE CAL	4,95 KG
			CAL	43,00 KG
			AREIA	285,60 KG
			LATA DE TINTA	10,00 KG
			TINTA INTERNA	12,24 KG
			LATA DE MASSA CORRIDA	6,00KG
			MASSA CORRIDA	8,64 KG

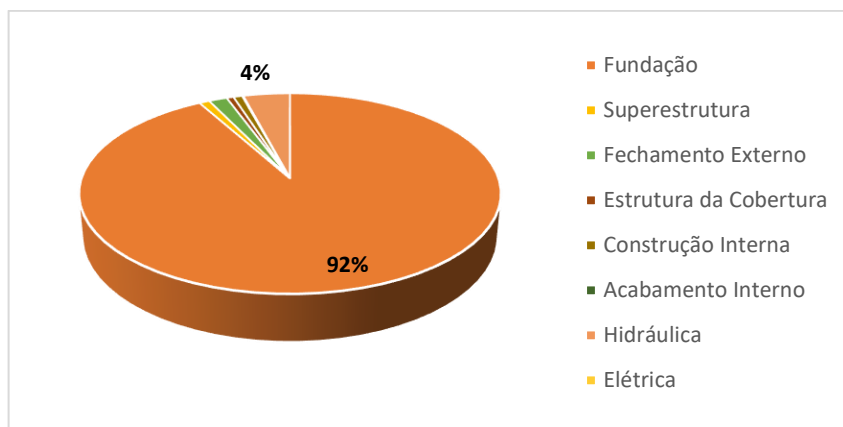
SERVIÇOS	HIDRAÚLICA	ACABAMENTO	REVESTIMENTO	36,63 KG
		PISO	CERÂMICO I	
			LÂMINAS DE FORRO PVC	
			(6M)	10,87 KG
		ACABAMENTO	RODAFORRO	0,27 KG
		DO TETO	METALOM (6M)	10,5 KG
			PARAFUSO	0,03 KG
		DISTRIBUIÇÃO	TUBOS PVC	1,25 KG
		DE ÁGUA	SOLO EXTRAÍDO	1.800,00 KG
		SISTEMA DE	TUBOS PVC	1,32 KG
		ESGOTO	SOLO EXTRAÍDO	1900,00 KG
		SISTEMA DE	CANALIZAÇÃO	0,26 KG
		DRENAGEM	VERTICAL – TUBOS PVC	
		PLUVIAL	CALHA DE AÇO	4,12 KG
			GALVANIZADO (6M)	
ELÉTRICA	ILUMINAÇÃO E FIAÇÃO	CABO DE COBRE	1,23 KG	
		ELETRODUTO PVC	0,64 KG	
		FLEXIVEL CORRUGADO		
		ELETRODUTO PVC	0,85 KG	
		RÍGIDO		
		ELETRODUTO FLEXÍVEL – TIPO SEALTUBO	0,028 KG	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Os dados apresentados na Tabela 5, mostram que o modelo de Li *et al.* (2016) foi capaz de quantificar os resíduos e identificar as atividades geradoras. Dessa forma, a estimativa mostra o nível de desperdício em cada etapa da construção, permitindo um melhor controle da geração de resíduos e subsidiando o plano de gerenciamento de resíduos para construção das Casas Geminadas.

Em adição, a Figura 14 mostra que a Etapa Fundação gerou 92% do total de resíduos gerados na construção das Casas Geminadas, seguida da Etapa Hidráulica com 4%. Essa discrepância ocorreu devido ao Subelemento Solo Extraído possuir o maior peso entre todos os resíduos gerados.

Figura 14: Geração de Resíduos por Etapa de Construção das Casas Geminadas



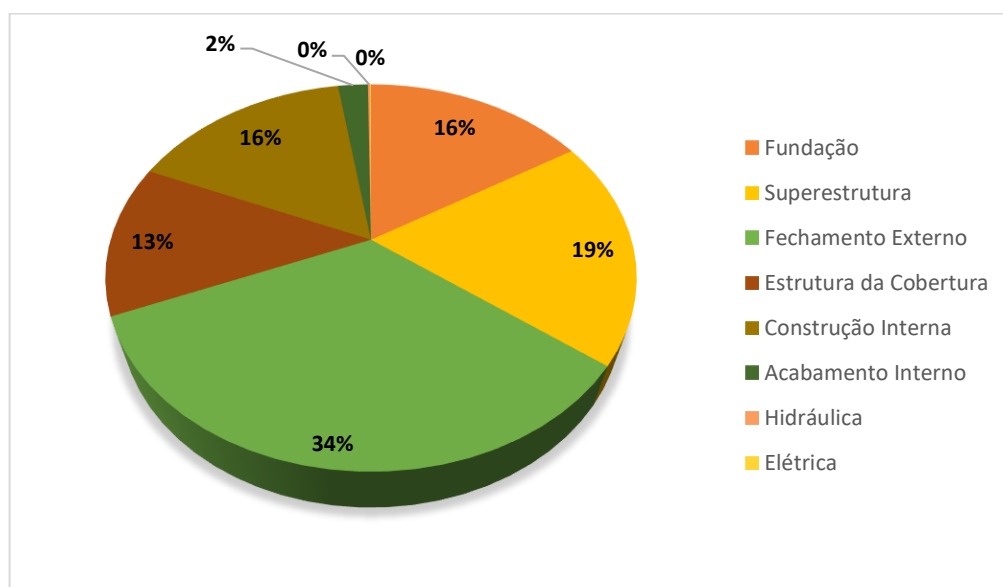
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Apesar da legislação brasileira considerar o solo extraído como resíduo da construção, na análise de dados da Figura 15, optou-se por excluí-lo da lista de resíduos gerados. O resultado indicou que a Etapa Fechamento Externo foi a maior geradora de resíduos com 34%, seguida pela Etapa Superestrutura com 19% e logo depois a Etapa Fundação e Construção Interna, ambas com 16%.

Com essa análise é possível identificar onde realmente ocorreu a maior geração de resíduos sólidos, uma vez que o solo extraído não é desperdício de material e nem retrabalho, é apenas uma atividade inerente ao processo construtivo que não pode ser evitada.

Por outro lado, a identificação e a contabilização do solo extraído são importantes para o planejamento logístico devido ao seu grande volume e espaço ocupado no canteiro de obras.

Figura 15: Geração de Resíduos por Etapa de Construção das Casas Geminadas – Exclusão do Solo Extraído



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS E TÉCNICOS PARA GESTÃO DE RESÍDUOS

Para o desenvolvimento do plano de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil das Casas Geminadas foram adotados os requisitos legais e técnicos fundamentados sob a Lei Federal nº 12.305, de 02 agosto de 2010, atualizada em 18 de maio de 2012, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS e alterou a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

Segundo o inciso III, do artigo 20 da PNRS, as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, estão sujeitas à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

Em adição, o artigo 21 desta mesma lei especifica o conteúdo mínimo que deve ser apresentado no plano de gerenciamento de resíduos sólidos e este atenderá ao disposto no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do respectivo município, sem prejuízo das normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA.

As Casas Geminadas serão construídas no município de Porto Velho, localizado no estado de Rondônia, porém o Município ainda não possui o plano de gerenciamento e o Estado apresentou recentemente o seu plano que entrará em vigor apenas em 2020.

Ainda sobre o artigo 21, o parágrafo segundo do inciso IX revela que a inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não isenta a elaboração, a implementação ou a operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos sólidos. Corroborando, o artigo 24 afirma que o plano é parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento, portanto, para as a construção das Casas Geminadas, o plano obrigatoriamente tem que ser elaborado. Diante disso, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, criado em agosto de 2012, previsto na Lei da PNRS, foi adotado como referência para esta pesquisa.

Apesar, do artigo 22 da Lei Federal nº 12.305 contemplar o controle da disposição final ambientalmente adequado no plano de gerenciamento de resíduos, a cidade de Porto Velho ainda não possui infraestrutura para atender as exigências estabelecidas pela legislação brasileira, uma vez que possui apenas um “lixão” onde todos os resíduos da cidade, perigosos e não-perigosos, são despejados diariamente. Para reverter essa situação, o secretário interino da Secretária do Meio Ambiente – SEMA, Yaylley Coelho, divulgou no final de 2018 que o estudo para implementação do novo aterro sanitário definitivo está sendo realizado por meio de

uma parceria público privada – PPP, mas ainda deve demorar cerca de 24 meses para ser finalizado.

A destinação final ambientalmente inadequada dos resíduos sólidos ocasionada pela falta de infraestrutura da cidade, proporcionou para a elaboração do plano, a busca por alternativas para amenizar os impactos gerados, como parcerias com empresas privadas locais especializadas em coleta seletiva e reciclagem de resíduos da construção civil e a cooperativa de catadores de lixo de Porto Velho.

Complementando a Política Nacional de Resíduos, por intermédio do Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil – CONAMA, no uso das competências que lhe foram conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria nº 326, de 15 de dezembro de 1994, a Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, tendo a sua última alteração realizada pela Resolução nº 469/2015, foi elaborada e publicada para estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil no Brasil.

Dessa forma a plano de gerenciamento de resíduos sólidos da construção das Casas Geminadas foi norteado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos para atendimento aos quesitos legais e a Resolução CONAMA nº 307 foi a referência para os critérios técnicos, principalmente quanto a classificação dos resíduos da construção civil, exemplificada no Referencial Teórico desta pesquisa.

4.5 PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O objetivo do plano é estabelecer as diretrizes e práticas para o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados no canteiro de obra de uma construção residencial, envolvendo a prática da coleta seletiva por meio da segregação dos resíduos, conscientização dos integrantes e incremento da reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos sólidos.

Além disso, o gerenciamento de resíduos irá assegurar o atendimento dos requisitos legais e de boas práticas ambientais locais, garantirá a prevenção da poluição associada ao aspecto ambiental significativo da geração de resíduos sólidos, prevenirá riscos ambientais e de responsabilidade civil decorrentes do tratamento e disposição final desses resíduos, reduzirá custo de obra, oportunizará a ampliação do mercado local no âmbito da reciclagem e implantará o conceito de “Coleta Seletiva de Resíduos” e “Manejo de Resíduos Sólidos” no canteiro de obras.

4.5.1 RESPONSABILIDADES

Para garantir a implementação correta do plano é necessário definir a responsabilidade de cada integrante da equipe dentro do canteiro de obra.

- Gestor de Obra:
 - ✓ Assegurar os recursos humanos, financeiros e materiais necessários para implementar esta sistemática.
 - ✓ Apoiar e atuar como facilitador desta sistemática em sua área de competência, por meio da exigência do atendimento aos requisitos legais locais aplicáveis para contratação de serviços de transporte, tratamento e disposição final de resíduos sólidos.
- Equipe Dirigente:
 - ✓ Apoiar e atuar como facilitadores desta sistemática, conhecendo, cumprindo e fazendo cumprir as legislações pertinentes locais relativas a transporte, armazenamento temporário, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. Essa equipe pode ser composta pelo Engenheiro de Campo e por Estagiários de Engenharia.
 - ✓ Definir conjuntamente com o Mestre de Obra e Líderes de cada processo/atividade os locais de armazenamento interno e temporário de resíduos sólidos para posterior encaminhamento das alternativas de gerenciamento tais como: reciclagem, recuperação, reutilização, tratamento ou disposição final adequada, que atendam aos requisitos legais.
 - ✓ Desenvolver e selecionar alternativas para o gerenciamento de resíduos sólidos com abrangência para todas as etapas do manejo sustentado;
 - ✓ Disponibilizar nas frentes de serviço os kits de Coleta Seletiva adequados para cada tipo de resíduos gerados no local;
 - ✓ Realizar a coleta e destinação final de acordo com classe de cada resíduos;
 - ✓ Desenvolver e apoiar os mestres de obras na definição de opções de não geração, redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos sólidos;

- ✓ Realizar treinamentos com o objetivo de conscientização e reciclagem dos integrantes;
- ✓ Inspecionar e aplicar o **Controle de Resíduos Sólidos** semanalmente nos locais de armazenamento temporário de resíduos sólidos.
- Mestre de Obras e Líderes:
 - ✓ Assegurar a seleção primária e a disposição nos locais definidos e identificados (recipientes de coleta seletiva) de todos os resíduos gerados pelos Processos/Atividades sob sua responsabilidade, inclusive nas Frentes de Serviço;
 - ✓ Garantir a limpeza, coleta, identificação, logística e disposição dos resíduos sólidos nas áreas de armazenamento temporário;
 - ✓ Manter suas áreas de trabalho limpas e organizadas;
 - ✓ Garantir que seus liderados sejam competentes na aplicação deste procedimento.
- Integrantes:
 - ✓ Realizar a seleção primária dos resíduos sólidos para a coleta e armazenamento temporário nos locais definidos e identificados.
 - ✓ Atuar como multiplicadores do processo de Coleta Seletiva de Resíduos.

4.5.2 PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O processo de Gerenciamento de Resíduos Sólidos é o instrumento pelo qual o Gestor da Obra, administra todas as correntes de resíduos sólidos geradas, assegurando o atendimento da legislação local aplicável, bem como, a prevenção dos aspectos ambientais significativos associados. Esse processo de gerenciamento de resíduos sólidos deve ser conduzido com base no manejo de resíduos e estruturado nas seguintes etapas:

- Identificação / Classificação dos Resíduos Sólidos;
- Acondicionamento / Segregação;
- Coleta;
- Armazenamento Temporário;
- Disposição Final / Tratamento.

4.5.2.1 IDENTIFICAÇÃO / CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A identificação dos resíduos gerados na obra será registrada na planilha denominada **Controle de Resíduos Sólidos**, na qual é composto pelos seguintes campos:

- Classificação;
- Tipo de Resíduo;
- Etapa da Obra (Nível 2 – Componentes);
- Origem (Nível 3 – Elementos);
- Quantidade Gerada (kg) Semanal;
- Forma de Acondicionamento;
- Tipo de Tratamento Recomendado (Reuso, Reciclagem ou Descarte);
- Disposição final.

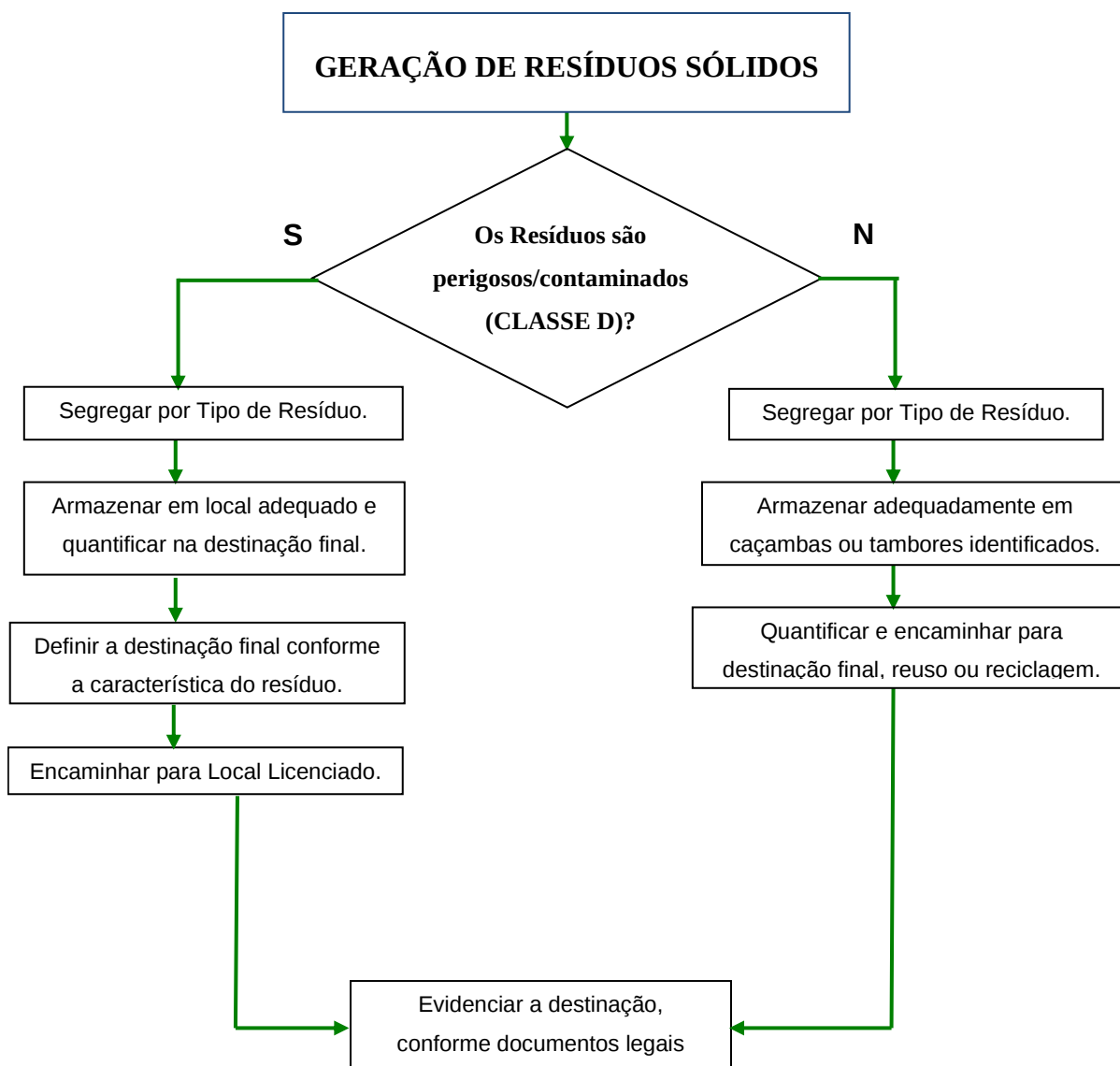
Todos os tipos de resíduos sólidos gerados no canteiro, independentemente de suas reutilizações, reprocessamento, recuperação ou reciclagem serão incluídos no Controle de Resíduos Sólidos.

O objetivo desse controle é manter a organização e a limpeza do canteiro de obra, além de otimizar a logística do fluxo de resíduos sólidos. Outra contribuição fundamental é o registro de informações, na qual servirá como base para projetos semelhantes, ajudando a determinar os níveis adequados de desperdício, tornando o modelo matemático adotado mais eficaz.

O controle de gerenciamento será atualizado semanalmente, sob responsabilidade do Engenheiro de Campo, com apoio do mestre de obras. Essa atualização levará em conta alterações nas quantidades e nos tipos de resíduos sólidos gerados, requisitos e alterações na legislação pertinente, bem como, riscos empresariais e custos envolvidos.

Quanto a classificação dos resíduos sólidos, esta obedecerá ao enquadramento em uma das Classes: A, B, C e D conforme Resolução CONAMA nº 307. A classificação é decisiva para a definição dos métodos de armazenamento temporário, do tratamento e da disposição final dos resíduos sólidos como consta no Fluxograma do Processo de Gerenciamento de Resíduos Sólidos apresentado na Figura 16.

Figura 16: Fluxograma do Processo de Gerenciamento de Resíduos Sólidos



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

4.5.2.2 ACONDICIONAMENTO / SEGREGAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos produzidos no Canteiro serão acondicionados de forma segura e protegidos contra os riscos durante o manuseio e transporte, em alternativas tais como: tambores, caçambas, lixeiras, granel, bombonas entre outras formas conforme a necessidade específica e, como mecanismo de prevenção de vazamentos, derramamentos ou infiltração de água.

Os recipientes empregados para esse acondicionamento de resíduos devem ser de material compatível com os resíduos a serem recebidos e estar em perfeito estado de conservação.

Os resíduos sólidos Classe B serão enquadrados dentro da sistemática de Coleta Seletiva e acondicionados em recipientes com cores definidas, conforme mostra o Quadro 3. Apesar do resíduo orgânico não ser identificado no processo construtivo, ele se faz presente durante as refeições dos integrantes, pois a maioria das vezes são realizadas no próprio canteiro de obras, por isso da sua inclusão na Coleta Seletiva.

Quadro 3: Sistemática de Cores para Coleta Seletiva – Resíduos Classe B

COR DO RECIPIENTE	TIPO DE RESÍDUO
AZUL	PAPEL
VERDE	VIDRO
AMARELO	METAL
VERMELHO	PLÁSTICO
MARRON	ORGÂNICO
PRETO	MADEIRA

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Os de Classe A serão acondicionados em caçambas por gerarem um volume maior do que os outros tipos de resíduos e dispostos de forma a prevenir o acúmulo de água que possa servir como meio para proliferação de vetores potenciais de doenças tais como: dengue, febre amarela e malária;

Os principais resíduos Classe D são as latas de tintas, de massa corrida e de solventes. Para acondicioná-los e segregá-los de forma adequada é necessário cumprir as seguintes etapas:

- i. Use sempre toda a tinta e massa corrida da lata e nunca lave a embalagem. Deixe os restos secarem por pelo menos 24 horas, pois, o conteúdo seco não atrapalha o processo de reciclagem;
- ii. Pequenas sobras de tinta líquida na lata podem ser retiradas com pincel ou espátula e passadas em jornal. Depois que essa tinta estiver seca, o jornal onde foi aplicada pode ser descartado no lixo comum. Outra opção é derramar as tintas em areia (de preferência “areia de gato”), mas nunca no solo. Depois que a água ou o solvente evaporar e a tinta secar, descarte a areia no lixo comum;
- iii. Para tintas à base de água, lave as ferramentas com água e em seguida com água e sabão. Se no local há esgoto tratado, descarte a água da lavagem em ralos,

tanques ou vasos sanitários. Não a descarte em bueiros, bocas-de-lobo e muito menos no solo;

- iv. Para tintas à base de solvente, lave as ferramentas com o mesmo solvente utilizado na diluição da tinta aplicada. Despeje os resíduos dessa lavagem e do solvente em “areia de gato”, mas nunca no solo. Depois que o solvente evaporar, descarte a areia no lixo comum;
- v. Segregar as latas em área exclusiva e de forma a prevenir o acúmulo de água para posteriormente encaminhá-las para a reciclagem por meio de coleta seletiva, cooperativas de catadores ou sucateiros legalizados.

Os Integrantes envolvidos no manuseio dos resíduos sólidos, especialmente aqueles perigosos (Classe D) devem portar os seguintes Equipamentos de Proteção Individual – EPI: luvas de borracha, bota de segurança, óculos de proteção contra respingos e, quando for o caso, proteção respiratória.

Os recipientes de acondicionamento de resíduos sólidos, como meio de conscientização e comunicação, serão identificados, por meio do emprego de Rótulos / Etiquetas contendo informações como o nome do Resíduo Sólido e sua Classe.

Com o mesmo objetivo de conscientização e de controle de custos, os resíduos sólidos serão acondicionados de forma segregada, não sendo permitida a mistura de resíduos de classes diferentes como, por exemplo, misturar resíduos Classe D com os de Classe B. Em casos dessas ocorrências involuntárias, os resíduos misturados devem ser tratados como Classe D.

4.5.2.3 COLETA

A coleta de resíduos no canteiro de obras será dividida em três tipos:

- I. Seletiva;
- II. Diferenciada;
- III. Especial.

I. COLETA SELETIVA

O processo de Coleta Seletiva trata de resíduos sólidos enquadrados na Categoria B sendo, de maneira geral, compostos por: resíduos de comida, de metais ferrosos e não ferrosos não contaminados, plástico, papel, madeira, borracha.

O processo de Coleta Seletiva será conduzido com base nas seguintes etapas:

- a. Acondicionamento dos resíduos por meio da disponibilização dos recipientes nas frentes de serviço de forma a atender as necessidades nos pontos de geração;
- b. Conscientização dos integrantes para o processo de Coleta Seletiva;
- c. Definição de locais para reciclagem, reutilização ou recuperação;

Com base nas informações geradas pelo modelo matemático de estimativa de resíduos é realizado a identificação e o dimensionamento dos recipientes destinados a atender a Coleta Seletiva de Resíduos nas frentes de serviço.

O processo de Coleta Seletiva empregará recipientes, tambores e caçambas, identificados por cores específicas para acondicionamento de cada tipo de resíduo.

A definição das cores dos recipientes deve obedecer aos requisitos legais apresentados na legislação brasileira por meio da Resolução CONAMA nº 275 / 2001.

O sucesso de iniciativas de Coleta Seletiva está diretamente associado ao nível de conscientização e motivação dos Integrantes, Subcontratados e Prestadores de Serviço envolvidos. Assim, o Gestor da Obra apoiará a implantação da Coleta Seletiva em ações de conscientização e motivação sobre:

- a. Os aspectos ambientais significativos associados à geração de resíduos sólidos, como resultado de desperdícios dos Processos e Atividades;
- b. As cores dos recipientes adequados para cada tipo de resíduo;
- c. Etiquetas nos recipientes que contenham informações sobre a separação dos resíduos;
- d. Os benefícios da Coleta Seletiva como os ganhos ambientais, econômicos e sociais.

Essas ações podem ser conduzidas através de mecanismos tais como: palestras, campanhas etc. A etapa de definição de locais para reciclagem, reutilização e recuperação do processo de Coleta Seletiva será desenvolvida sob responsabilidade do Engenheiro de Campo, por intermédio da seleção de alternativas para envio de resíduos sólidos para reciclagem, reutilização ou recuperação. A seleção dessas alternativas pode considerar, entre outras, os seguintes requisitos:

- i. Privilegiar opções locais;
- ii. Parcerias com o próprio cliente, quando aplicável;
- iii. Parcerias com fornecedores de insumos, matérias-primas ou serviços geradores de
- iv. resíduos sólidos;

- v. Parcerias com instituições / empresas dedicadas à coleta seletiva.

II. COLETA DIFERENCIADA

A coleta diferenciada é aquela em que deverão ser empregados meios diferentes da coleta seletiva, devido às características físicas do resíduo como volume e peso. Compreende os resíduos Classe A, por exemplo os serviços de coleta de restos de concreto, escavação de solo etc.

III. COLETA ESPECIAL

A coleta especial se aplica aos resíduos perigosos (Classe D). A coleta destes resíduos não pode ser efetuada em conjunto com os demais e deve segregá-los em área exclusiva de forma a prevenir o acúmulo de água para posteriormente encaminhá-las para a reciclagem por meio de cooperativas de catadores ou sucateiros legalizados.

4.5.2.4 ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO

Todos os resíduos recolhidos no Canteiro de Obras, frentes de trabalho e áreas administrativas serão encaminhados para a área de armazenamento temporário de resíduos definidas para posterior tratamento ou para destinação final.

Nesta etapa de armazenamento temporário de resíduos sólidos são considerados os critérios de seleção da área associados a layout, acessibilidade, quantidades a serem armazenadas e distância das frentes de trabalho, além dos quesitos relacionados a segregação e compatibilidade entre os resíduos a serem armazenados.

4.5.2.4 DISPOSIÇÃO FINAL / TRATAMENTO

A etapa de definição dos métodos, alternativas de tratamento, disposição final de resíduos sólidos é conduzida sob aprovação do Órgão Ambiental Estadual através do licenciamento, prevenindo-se assim, potenciais riscos empresariais. Como parte do processo de implantação da prevenção da poluição e da melhoria contínua, o Gestor de Obra juntamente com o Engenheiro de Campo define a hierarquização das técnicas associadas à recuperação,

reutilização, reaproveitamento ou reciclagem, desde que técnica seja economicamente viável, em relação às alternativas de tratamento e de destinação final no solo (aterro sanitário).

Dentro do conjunto de alternativas técnicas disponíveis para tratamento e disposição final de resíduos sólidos, a equipe dirigente analisará e selecionará as recomendações consideradas mais apropriadas para as diversas fases da obra, levando-se em consideração os seguintes parâmetros:

- i. Requisitos legais e técnicos aplicáveis localmente;
- ii. Classe do resíduo sólido;
- iii. Volume envolvido;
- iv. Geração contínua ou não;
- v. Riscos de responsabilidade civil associados;
- vi. Custos envolvidos.

4.5.3 MONITORAMENTO E ANÁLISE CRÍTICA

Como verificação da eficácia do gerenciamento de resíduos sólidos, o Engenheiro de Campo realizará um monitoramento do processo, sob responsabilidade do Gestor da Obra, por meio da mensuração periódica das quantidades de resíduos sólidos gerados e suas formas de tratamento e disposição final, além das inspeções de campo e nas áreas de armazenamento temporário, tendo como referência o modelo de Controle de Resíduos Sólidos.

O resultado consolidado dessas mensurações será tratado como dados de entrada do modelo matemático de estimativa de resíduos sólidos da construção civil, a fim de gerar de forma mais assertiva a estimativa dos Níveis de Desperdício, tornando o processo como um todo mais eficaz.

5 CONCLUSÕES

A estimativa precisa de resíduos sólidos de diferentes tipos de projetos de construção é um pré-requisito para o seu gerenciamento eficaz. A pesquisa teve como objetivo principal desenvolver um plano de gestão de resíduos sólidos na construção de residências aplicando um modelo matemático que estima o quantitativo de resíduos de construção para projetos modelados em *BIM*, incorporando taxas de conversão de unidade de medida e níveis de desperdício de diferentes materiais. Esse modelo de estimativa permitiu a identificação das classes de resíduos de construção, determinando os tipos mais significativos de fluxos de resíduos e o rastreio das origens desses resíduos.

A utilização do *BIM* como um ambiente computacional, virtual e menos caro, permitiu a ponderação entre os projetos arquitetônico e complementares de forma que fosse possível avaliar os diferentes cenários de construção visando minimizar a geração de resíduos.

Ainda sobre o *BIM*, este foi capaz de estocar e operar diversos tipos de informações sobre os projetos num único banco de dados, de tal forma que essa integração de informações, ainda na fase de projetos, permitisse a maior assertividade no quantitativo e escolha do material para cada etapa da execução, auxiliando na tomada de decisão, garantindo um melhor desempenho no processo construtivo e diminuindo desperdícios.

Em adição, este plano de gerenciamento foi elaborado sob os requisitos técnicos e legais definidos pela legislação brasileira e a partir dos dados obtidos pelo modelo matemático foi possível elaborar o plano de gerenciamento de resíduos ainda na fase de projetos capaz de otimizar o processo construtivo da edificação, pois por meio da gestão de resíduos, o engenheiro responsável pela execução da obra, previamente, identificará o quantitativo e os tipos de resíduos gerados em cada uma das fases da construção, possibilitando o planejamento adequado das atividades, como por exemplo, a logística dos resíduos, identificando quais serão descartados, reciclados e reutilizados.

Ainda sobre o plano de gestão, existe a seção de monitoramento e análise crítica, na qual, os resultados consolidados na etapa de execução da obra serão tratados como dados de entrada do modelo matemático de estimativa de resíduos sólidos da construção civil, a fim de gerar de forma mais assertiva a estimativa dos níveis de desperdício, tornando o processo como um todo mais eficaz para as próximas obras

Dessa forma, as construtoras podem identificar qual processo de construção requer mais atenção e adotar tecnologias e métodos de construção adequados para melhorar seu desempenho no gerenciamento de resíduos de construção.

Além disso, vale ressaltar que a tecnologia *BIM* e o modelo matemático utilizados podem ser aplicados para qualquer tipo de construção e não apenas para residências. Havendo, então, a necessidade de ajustar apenas o plano de gerenciamento conforme a obra. Ou seja, a construtora poderá implementar esse plano de gerenciamento em todos os seus canteiros.

Quanto as limitações do trabalho, o projeto das Casas Geminadas não foi executado devido ao atraso na regularização do terreno, com isso a pesquisa se restringiu apenas ao campo teórico, impossibilitando a validação da eficácia do modelo de estimativa, principalmente nos dados referentes ao Nível de Desperdício de cada material no processo construtivo das residências.

Já no do plano de gerenciamento de resíduos, houve uma limitação quanto a elaboração da proposta para destinação final dada os resíduos sólidos que serão descartados, uma vez que a cidade de Porto Velho, onde serão construídas as Casas Geminadas, não possui aterro sanitário, tendo disponível apenas um “lixão” na qual os resíduos não são tratados adequadamente, além disso o estado de Rondônia conseguiu apresentar apenas esse ano o Plano de Gerenciamento de Resíduos Estadual e que ainda entrará em vigor.

Para as pesquisas futuras, recomenda-se a aplicação do modelo estimativa em conjunto com o plano de gerenciamento de resíduos na execução da construção de uma residência, a fim de torná-los assertivos e condizentes com a realidade do canteiro de obras.

6 CONTRIBUIÇÕES

Nessa seção serão apresentadas as contribuições da pesquisa para o meio acadêmico, além de identificar os seus benefícios no âmbito econômico e social.

6.1 ACADÊMICAS

Com o plano de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil proposto, pretende-se incentivar o desenvolvimento de novas pesquisas nessa área de atuação, como o estudo de novas tecnologias e métodos de construção adequados para melhorar o desempenho no gerenciamento de resíduos da construção, já que o modelo de estimativa é capaz de identificar a quantidade, o tipo e qual etapa da obra o resíduo foi gerado.

6.2 ECONÔMICAS

Sobre os aspectos econômicos, os benefícios resultarão das ações que serão propostas no plano de gerenciamento de resíduos da construção civil: reciclagem, reuso e descarte. A reciclagem fomentará a economia do país por meio das usinas de reciclagem que irão agregar valor ao material reciclado. Já o reuso de materiais, reduzirá o custo de energia para produção de novos materiais além de trazer economia no custo da obra. E por último, com a separação adequada de resíduos, a quantidade de aterros sanitários diminuirá proporcionando a redução nos custos para mantê-los ativos.

6.3 SOCIAIS

As vantagens sociais podem ser evidenciadas a partir da definição de desenvolvimento sustentável apresentada no relatório da ONU (1987) intitulado “Nosso Futuro Comum” que diz que o desenvolvimento deve satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades. Seguindo essa linha de raciocínio, o plano de gerenciamento contribuirá para preservação do meio ambiente, além de geração de empregos pois ações que serão estabelecidas nesse plano como a reciclagem, oportunizará a ampliação de mercado ainda pouco explorado fomentando a economia local, nacional e até mesmo mundial.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. Abrelpe, 2011. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018.

AKHTAR, Ali; SARMAH, Ajit. **Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective**. Journal of Cleaner Production, v. 186, p. 262-281, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.085>>. Acesso em: 23 dez. 2018

AMARAL, L. M. **O conceito de reindustrialização, Indústria 4.0 e a Política industrial para o século XXI–O caso Português**. CIP–Confederação Empresarial de Portugal, Leiria, 2016.

ANTHONY, J.. **Recycling Plant Will Take Waste of Industry**. Waikato Times, 2015.

Armstrong M., Taylor S. **Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice**. 13th ed. London: Kogan Page; 2014. ISBN: 978 0 7494 6964 1

AUSTRÁLIA, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. **Construction and Demolition Waste Guide – Recycling and Re-use across the Supply Chain**, 2012. Disponível em: <<http://www.environment.gov.au/system/files/resources/b0ac5ce4-4253-4d2b-b001-0becf84b52b8/files/case-studies.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

AUSTRIA, Environmental Agency. **Management of Hazardous Waste in Austria**, 2016. Disponível em: <http://www.twinning-israel.info/resources/Hazardous%20Waste%20Management%20Austria_Karigl_9.11.2016.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2018.

AUSTRIA, Federal Chancellery. **Administration in Austria**, 2009. Disponível em: <https://www.advantageaustria.org/ie/oesterreich-in-ireland/news/local/Waste-Management-the-Austrian-Way_ASC2009.en.html>. Acesso em: 16 nov. 2018

AUSTRIA. Federal Ministry of Sustainability and Tourism. **Recycled Construction Materials Ordinance**, atualizado em: 25.04.2018. Disponível em: <https://www.google.com/search?ei=BwrBXNrBIe6n5OUPtYS8gAM&q=https%3A%2F%2Fwww.bmlfuw.gv.at%2Fen%2Fgreentec%2FRecycled-Construction-MaterialsOrdinance.html+%26amp;q=https%3A%2F%2Fwww.bmlfuw.gv.at%2Fen%2Fgreentec%2FRecycled-Construction-MaterialsOrdinance.html+%26amp;gs_l=psy-ab.3...58625.58625..88971...0.0..0.220.220.2-1.....0....2j1..gws-wiz.FeM5wVT-Fa0>. Acessado em: 9 nov. 2018.

AUTODESK. **Parametric building modeling: BIM's foundation**. 2005. Disponível em: <http://images.autodesk.com/adsk/files/Revit_BIM_Parametric_Building_Modeling_Jun05.pdf>..

Bardin, L.; **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BELVEDERE, Valeria; GRANDO, Alberto; BIELLI, Paola. **A quantitative investigation of the role of information and communication technologies in the implementation of a product-service system**. International Journal of Production Research, v. 51, n. 2, p. 410-426, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2011.648278>>. Acesso em: 24 dez. 2018.

BENESOVÁ, Andrea; TUPA, Jirí. **Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0**. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.

BIBLUS. IFC e BIM: **IFC, o que é e para que serve? Qual é a ligação com o BIM?**

BibLus, 2018. Disponível em: <<http://biblus.accasoftware.com/ptb/ifc-o-que-e-e-para-que-serve-qual-e-a-ligacao-com-o-bim/>>. Acesso em: 3 out. 2018.

BRASIL, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Estratégia nacional de disseminação do BIM - Estratégia BIM BR**. 2018a. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/ce-bim>>. Acesso em: 4 out. 2018

BRASIL, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **BIM BR Construção inteligente**. 2018b. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITARIO/sdci/CGMO/Livreto_Estrat%C3%A9gia_BIM_BR_vers%C3%A3o_site_MDIC.pdf>. Acesso em: 4 out. 2018.

BRASIL, Decreto n. 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui **a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling**. 2018c. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9377.htm>. Acesso em: 4 out. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 4 out. 2018.

BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 307: diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília, de 5 de julho de 2002; Publicada no DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 23 out. 2018.

BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 275: Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental**. Brasília, de 19 de dezembro de 1997; Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 23 out. 2019.

BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Normas publicadas. Disponível em:< <http://www.abnt.org.br/normalizacao/lista-de-publicacoes/abnt>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

BRASILEIRO, Ada Magaly Matias. **Manual de Produção de Textos Acadêmicos e Científicos**. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2013.

BRAVO, Miguel; BRITO, Jorge de; PONTES, Jorge; EVANGELISTA, Luís. **Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants**. Journal of Cleaner Production. 99, 59e74. Available online 11 March 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.012>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

BRITO, Alexandra Antonia Freitas de Brito. **A Quarta Revolução Industrial e as Perspectivas para o Brasil**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 07. Ano 02, Vol. 02. Pp 91-96, outubro de 2017. ISSN:2448-0959

CALVO, Nuria; VARELA-CANDAMIO, Laura; NOVO-CORTI, Isabel. **A dynamic model for construction and demolition (C&D) waste management in Spain: Driving policies based on economic incentives and tax penalties**. Sustainability, v. 6, n. 1, p. 416-435, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su6010416>>. Acesso em 24 dez. 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Fundamentos BIM – Parte 1**; Brasília, 2016. Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras. Disponível em: <<https://www.cbic.org.br>>. Acesso em 24 out. 2019.

CAMARINI, Gladis; DOS SANTOS LIMA, Karla Danielle; PINHEIRO, Sayonara MM. **Investigation on gypsum plaster waste recycling: an eco-friendly material**. Green Materials, v. 3, n. 4, p. 104-112, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1680/jgrma.15.00016>>. Acesso em: 23 set. 2018.

CAMBRIDGE DICTIONARY. **Definition of ‘the Industrial Revolution’ from the Cambridge Business English Dictionary**. Cambridge University Press, 2017. Disponível em: < <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/industrial-revolution> >. Acesso em: 20 abr. 2018

CAVALCANTI, Vladyr Y. S. L.; SOUZA, George H.; SODRÉ, Marcelle A. C.; ABREU, Márcia S. D.; MACIEL, Tuanny S.; SILVA, José M. A.; **Indústria 4.0: Desafios E Perspectivas Na Construção Civil**. Revista Campo do Saber – ISSN 2447 – 5017, Volume 4 - Número 4 - ago/set de 2018.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br>> Acesso em: 23 abr. 2019.

COELHO, Pedro M. N.; **Rumo à Indústria 4.0**. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Porto, 2016.

CHANDLER, Alfred Dupont; HIKINO, Takashi; CHANDLER, Alfred D. **Scale and scope: The dynamics of industrial capitalism**. Harvard University Press, 2009.

CHARETTE, R.P.; MARSHALL, H.E.; **UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis**. 1999. Disponível em: <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build99/art080.html>.

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

CHICA-OSORIO, Lina María; BELTRÁN-MONTOYA, Juan Manuel. **Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso**. DYNA, v. 85, n. 206, p. 338-347, 2018. Disponível em: <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/68824>>. Acesso em 24 nov. 2018.

CHO, Dae Haeng ; SHIN, Soo-Jeong; BAE, Yangwon; PARK, Chulhwan; KIM, Yong Hwan. **Ethanol production from acid hydrolysates based on the construction and demolition wood waste using *Pichia stipitis***. Bioresource Technology 102. ELSEVIER, 2010.

CONTRERAS, M.; TEIXEIRA, S.R.; LUCAS, M.C.; LIMA, L.C.N.; CARDOSO, D.S.L.; da SILVA, G.A.C.; GREGÓRIO, G.C.; DE SOUZA, A.E.; DOS SANTOS, A.; **Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study)**. Construction and Building Materials, v. 123, p. 594-600, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.044>>. Acesso em: 25 nov. 2018

COREIA DO SUL (SOUTH KOREA), Ministry Of Environment. **Recycling Policy**, 2013. Disponível em: <<http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId¼143>>. Acesso em: 30>out. 2016.

CORONADO, Maria; DOSAL, Elena; COZ, Alberto; VIGURI, Javier. **Estimation of construction and demolition waste (C&DW) generation and multicriteria analysis of C&DW management alternatives: a case study in Spain**. Waste and Biomass Valorization, v. 2, n. 2, p. 209-225, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12649-011-9064-8>>. Acesso em: 31 out. 2018.

CORREIA, Antônio Brochado; DEUS, Pedro. **Indústria 4.0: construir a empresa digital**. PwC “Global Industry 4.0” 1.ed. em Portugal, Setembro de 2016.

CRESWELL, John W.. **Projeto de Pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CUNHA, Gabriel de Castro. **A importância do setor de construção civil para o desenvolvimento da economia brasileira e as alternativas complementares para o funding do crédito imobiliário no Brasil**. Monografia de Bacharelado. Curso de Economia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

DAHLBO, Helena; BACHÉR, Jhon; LÄHTINEN, Katja; JOUTTIJÄRVI, Timo; SUOHEIMO, Pirke; MATTILA, Tuomas; SIRONEN, Susanna; MYLLYMAA, Tuuli; SARAMÄKI, Kaarina. **Construction and demolition waste management—a holistic evaluation of environmental performance**. Journal of Cleaner Production, v. 107, p. 333-341, 2015.

DE ABREU EVANGELISTA, Patricia Pereira; COSTA, Dayana Bastos; ZANTA, Viviana Maria. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras**. Ambiente Construído, v. 10, n. 3, p. 23-40, 2010.

DEFRA- DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS. **Waste Data Overview**, United Kingdom, June 2011. Disponível em: <<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130123162956/http://www.defra.gov.uk/statistics/files/20110617-waste-data-overview.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2018.

DEL RÍO MERINO, Mercedes; IZQUIERDO GRACIA, Pilar; WEIS AZEVEDO, Isabel. **Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered**. Waste management & research, v. 28, n. 2, p. 118-129, 2010.

DELOITTE. **Construction and Demolition Waste Management in Netherlands**. Reino Unido: Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014. Disponível em : <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_TheNetherlands_Factsheet_Final.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2018.

DELOITTE, 2015a. **Construction and Demolition Waste Management in Austria** Reino Unido: Deloitte Touche Tohmatsu Limited.

DELOITTE, 2015b. **Construction and Demolition Waste Management in Sweden**. V.2. Reino Unido: Deloitte Touche Tohmatsu Limited, Setembro, 2015. Disponível em:<http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Sweden_Factsheet_Final.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2018.

DYNIIEWICZ, Ana Maria. **Metodologia da Pesquisa**. 2. Ed. São Caetano do Sul, SP: Difusão Editora, 2009.

ENDEAVOR. **Indústria 4.0: as oportunidades de negócio de uma revolução que está em curso**. Endeavor Brasil, 2017. Disponível em: < <https://endeavor.org.br/tecnologia/industria-4-0-oportunidades-de-negocio-de-uma-revolucao-que-esta-em-curso/>>. Acesso em: 4 out. 2018.

ESTÚDIO ABC, Simens. **Como será o profissional da indústria 4.0?** Publicado em 3 jun 2016.

EUROPEAN COMMISSION. **Protocolo de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição da UE**. União Europeia, Setembro 2016. Disponível em: < <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/pt/renditions/native>>. Acesso em: 5 out. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Resource Efficient Use of Mixed Waste**. União Europeia, 2015. Disponível em: < <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/78e42e6c-d8a6-11e7-a506-01aa75ed71a1/language-en>>. Acesso em: 5 out. 2018.

EUROSTAT. **Generation of Waste**, 2012. Disponível em: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset%40env_wasgen&lang%40en>. Acessado em: 14 set. 2016.

FARRELLY, Trisia; TUCKER, Corrina. **Action research and residential waste minimization in Palmerston North, New Zealand**. Resources, Conservation and Recycling, v. 91, p. 11-26, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.003>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

FAVARETTO, Patrícia; HIDALGO, G., SAMPAIO, C., SILVA, R., LERMEN, R.; Characterization and use of construction and demolition waste from south of Brazil in the production of foamed concrete blocks. **Applied Sciences**, v. 7, n. 10, p. 1090, 2017. Disponível em <<https://doi.org/10.3390/app7101090>>. Acesso em: 1 jan. 2018.

FREDERICK, Donna Ellen. **Libraries, data and the fourth industrial revolution (Data Deluge Column)**. Library Hi Tech News, 2016. Vol. 33 Issue: 5, pp.9-12. Disponível em <<https://doi.org/10.1108/LHTN-05-2016-0025>>

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J.; LEYLEGIAN, John C.; **Introduction to Fluid mechanics**. Editora LTC, 8 ed., 2016.

GABRIEL, Magdalena; PESSL, Ernst. **Industry 4.0 And Sustainability Impacts: Critical Discussion Of Sustainability Aspects With A Special Focus On Future Of Work And Ecological Consequences**. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering. Vol. 14 Issue 2, p131-136. 6p, 2016.

GARBIE, Ibrahim. **Sustainability in Manufacturing Enterprises: concepts, analyses and assessments for industry 4.0**. Green Energy and Technology, ed. Springer, 2016.

GERALDO, Rodrigo H.; PINHEIRO, Sayonara M.M.; SILVA, Jefferson S.; ANDRADE, Heloysa M.C.; DWECK, Jo; GONÇALVES, Jardel P.; CAMARINI, Gladis. **Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution**. Journal of cleaner production, v. 164, p. 288-300, 2017.

GLOBAL ENVIRONMENT CENTER OSAKA JAPAN. **Laws and Support Systems for Promoting Waste Recycling in Japan**. 2012 Disponível: <<http://nett21.gec.jp/ECotowns/LawSupportSystems.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

GORECKY, D.; SCHMITT, M.; LOSKYLL, M.; ZÜHLKE, D.; **Human-machine-interaction in the industry 4.0 Era. 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**, Porto Alegre, 2014, pp. 289-294. doi: 10.1109/INDIN.2014.6945523

GREENCAPE. **Waste Economy: Market Intelligence Report 2016, Cape Town, South Africa**, 2015. Disponível <<https://greencape.co.za/assets/GreenCape-Waste-MIR-2016.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2018

HECKLAU, F.; GALEITZKE, M.; FLACHS, S.; KOHL, H. **Holistic Approach for Human Resource Management in Industry 4.0**. Procedia CIRP 2016; 54: 1–6. DOI:10.1016/j.procir.2016.05.102

HENDRIKS, C. F.; PIETERSEN, H. S. **Sustainable Raw Materials-Construction and Demolition Waste-State-of-the-Art Report of RILEM TC 165-SRM**. 2000. Disponível em: <<http://www.environment.gov.au/protection/national-waste-policy/publications/construction-and-demolition-waste-statusreport>>. Acesso em: 24 jan. 2018.

HIMMELBLAU, D.M.. **Basic Principle and Calculation in Chemical Engineering**. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, United States, 1996.

HINCAPIÉ, Ingrid; CABALLERO-GUZMAN, Alejandro; HILTBRUNNER, David; NOWACK, Bernd. **Use of engineered nanomaterials in the construction industry with specific emphasis on paints and their flows in construction and demolition waste in Switzerland.** Waste management, v. 43, p. 398-406, 2015.

HM GOVERNMENT. **Collection Industrial strategy: government and industry in partnership.** London, UK. Publicado em 6 ago 2013; atualizado em 23 abril. 2014. Disponível em: < <https://www.gov.uk/government/collections/industrial-strategy-government-and-industry-in-partnership>>. Acesso em: 10 out. 2018.

HOLANDA (NETHERLANDS). Ministry Of Housing, Spatial Planning and the Environment. **Getting Ahead with a Successful Chain Approach,** 2010. Disponível em: <<http://www.oecd.org/env/waste/46352717.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

HYDER CONSULTING ENCYCLE & SUSTAINABLE RESOURCE SOLUTIONS, 2011. **Construction and demolition waste status report.** Manag. Constr. Demolition Waste Aust. <http://www.environment.gov.au/protection/national-waste-policy/publications/construction-and-demolition-waste-statusreport>.

ÍNDIA, Centre For Science And Environment India. **Construction and Demolition Waste,** 2014. Disponível em: <<http://www.cseindia.org/userfiles/Constructionand-demolition-waste.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: < <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000105.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos** Relatório de Pesquisa, Brasília, 2010. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (DIRUR). Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=8858>. Acessado em: 30 abr. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil.** Relatório de Pesquisa, 2012. Este relatório de pesquisa foi produzido no âmbito dos estudos que subsidiaram a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, coordenados no Ipea por José Aroudo Mota e Albino Rodrigues Alvarez. Disponível em: <http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf>. Acessado em: 24 ago. 2018.

INTERREG EUROPE PROGRAMME MANUAL. **Construction e Demolition Waste.** Policy Learning Platform, 2017. Disponível em: <<https://www.interregeurope.eu/policylearning/news/1770/construction-and-demolition-waste>>. Acessado em: 01 set. 2018.

KUCUKVAR, Murat; EGILMEZ, Gokhan; TATARI, Omer. **Evaluating environmental impacts of alternative construction waste management approaches using supply-chain-linked life-cycle analysis**. *Waste Management & Research*, v. 32, n. 6, p. 500-508, 2014.

LAWSON, Nigel; DOUGLAS, I.; GARVIN, S.; MCGRATH, C.; MANNING, D.; VETTERLEIN, J.; Recycling **construction and demolition wastes—a UK perspective**. *Environmental Management and Health*, v. 12, n. 2, p. 146-157, 2001.

LASI, Heiner; KEMPER, Hans-Georg; FETTKE, Peter; FELD, Thomas; HOFFMANN, Michael. **Industry 4.0**. University of Stuttgart, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. Disponível em: <<http://www.wirtschaftsinformatik.de/10.1007/s11576-014-0424-4>>

LI, Mei; KÜHLEN, Anna; YANG, Jay; SCHULTMANN, Frank. **Improvement of the statutory framework for construction and demolition waste management exemplified in Germany and Australia**. In: *Urban Environment*. Springer, Dordrecht, 2013. p. 15-25.

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, 2016.

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

LIAO, Yongxin; LOURES, Eduardo Rocha; DESCHAMPS, Fernando; BREZINSKI, Guilherme; VENÂNCIO, André. **The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison**. *Production*, v. 28, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132018000100401&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 25 dez. 2018

LIN, Kuan Chung; SHYU, Joseph Z.; DING, Kun. **A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition**. *Sustainability* 2017, 9, 786; doi:10.3390/su9050786. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/journal/sustainability>>

LIU, Z.; OSMANI, M; DEMIAN, P.; BALDWIN, A.. **A BIM-aided construction waste minimisation framework**. *Automation in Construction*, Volume 59, p. 1-23, 2015.

LU, Weisheng. **Estimating the amount of building-related construction and demolition waste in China**. In: *Proceedings of the 18th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. p. 539-548.

LU, Weisheng; WEBSTER, Chris; CHEN, Ke; ZHANG, Xiaoling; CHEN, Xi. **Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 68, p. 587-595, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.029>>. Acesso em: 1 jan. 2018

MANOWONG, Ektewan. **Investigating factors influencing construction waste management efforts in developing countries: an experience from Thailand**. *Waste Management & Research*, v. 30, n. 1, p. 56-71, 2012.

MARZOUK, Mohamed; AZAB, Shimaa. **Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics**. Resources, conservation and recycling, v. 82, p. 41-49, 2014.

MATHIAS, Peter. **The First Industrial Nation: An Economic History of Britain 1700 – 1914**. Routledge Taylor & Francis Group. Edição 2001.

MAYR, Johann. **Waste management in rural areas in Austria**. In: **Taking Waste Management into the Future**, 2014. Brussels. Disponível em: <<https://www.municipalwasteeurope.eu/sites/default/files/Organising%20integrated%20waste%20management%20-%20Austria.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

MHASKE, Monika; DARADE, Milind; KHARE, Pranay. **Construction waste minimization**. International Research Journal of Engineering and Technology, p. 2395–56, 2017.

MDIC. **Agenda Brasileira para Indústria 4.0**. JUN. 2017. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/component/content/article?id=2713>> Acesso em 13 abr. 2017.

MONIER, Véronique; HESTIN, Mathieu; TRARIEUX, Manuel; MIMID, Sihame; DOMRÖSE, Lena; VAN ACOLEYEN, Mike; HJERP, Peter; MUDGAL, Shailendra. **Study on the Management of Construction and Demolition Waste in the EU**. Contract 07.0307/2009/540863/SER/G2, Final report for the European Commission (DG Environment), 2011. Disponível em: <http://www.btbab.com/wp-content/uploads/documentos/legislacion/UE-BIO_Construction_and_demolition_waste_final_report_09022011.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2017

MULDERS, Lisanne. **High quality recycling of construction and demolition waste in the Netherlands**. 2013. Dissertação de Mestrado. Utrecht University. Disponível em: <<https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/279530>>. Acesso em: 15 jan. 2016

NAKAJIMA, Shiro; FUTAKI, Mikio. **National R&D project to promote recycle and reuse of timber constructions in Japan—the second year’s results**. In: CIB/TG39 Deconstruction Meeting. Karlsruhe. Germany. CDROM. 2002.

NELLES, Michael; GRÜNES, J.; MORSCHECK, G. **Waste management in Germany—development to a sustainable circular economy?**. Procedia Environmental Sciences, v. 35, p. 6-14, 2016.

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. **Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry**. Computers in Industry, v. 83, p. 121-139, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável**. New York, 2015. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio), última edição em 25 de setembro de 2015. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org>>.

OLUGBENGA, Akinade; LUKUMON, Oyedele; SAHEED, Ajayi; MUHAMMAD, Bilal; HAFIZ, Alaka; HAKEEM, Owolabi; OMOLOLA, Arawomo. **Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment.** Elsevier. Journal of Cleaner Production 375-385, 2018.

OTOKO, George R. **Review of the use of construction and demolition waste in concrete.** International Journal of Engineering and Technology Research, v. 2, n. 4, p. 1-8, 2014.

PALMA, J. M. B.; BUENO, U. S.; STOROLLI, W. G.; SCHIAVUZZO, P. L.; CESAR, F. I. G.; MAKIYA, I. K. **Os princípios da Indústria 4.0 e os impactos na sustentabilidade da cadeia de valor empresarial.** 6th International Workshop – Advances in Cleaner Production – São Paulo/Brasil, 2017.

PLATAFORMA AGENDA 2030. **Agenda 2030.** Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.agenda2030.com.br>> Acesso em: 03 mai. 2019.

PRATT, Michael. **Extension of ISO 10303, the STEP standard, for the exchange of procedural shape models.** IEEE Proc Shape Model Appl 2004:317–26.

PICHTEL, J. **Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial.** Boca Raton: Taylor & Francis, 2005.

PWC GLOBAL (PricewaterhouseCoopers). **Indústria 4.0: Digitização como vantagem competitiva no Brasil,** 2016. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwc-industry-4-survey-16.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2017.

RIFKIN, J.; **The Third Industrial Revolution;** How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World, St Martin's Press, New York, NY, 2011.

RIBEIRO, Joaquim Meireles. **O conceito da indústria 4.0 na confecção: análise e implementação.** (Dissertação de mestrado), Universidade do Minho, 2017. In: Repositório. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/49413>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

RODRÍGUEZ, G; MEDINA, C.; ALEGRE, F.J.; ASENSIO, E.; DE SÁNCHEZ ROJAS, M.I.. **Assessment of Construction and Demolition Waste plant management in Spain: in pursuit of sustainability and eco-efficiency.** Journal of Cleaner Production, v. 90, p. 16-24, 2015.

ROMÁN, José. **Industria 4.0: la transformación digital de la industria.** Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática (CODII). 2018.

RÜßMANN, Michael; LORENZ, Markus; GERBERT, Philipp; WALDNER, Manuela; JUSTUS, Jan; ENGEL, Pascal; HARNISCH, Michael. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.** The Boston Consulting Group, 2015.

RÜÜTELMANN, M., 2015. **C&D Waste Treatment in Estonia Estonian Recycling Cluster** - Driving Force for Recycling.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2010.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SINDUSCON-MG. **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil**. Belo Horizonte. Sinduscon-MG, p. 38p., 2005. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Cartilha+de+gerenciamento+de+res?duos+s?lidos+para+a+constru??o+civil#0>>. Acesso em: 8 fev. 2016

SOMASUNDARAM, Swarnalatha; JEON, T.-W.; KANG, Y.-Y.; KIM, W.-I.; JEONG, S.-K.; KIM, Y.-J.; YEON, J.-M.; SHIN, S.K.; Characterization of wastes from construction and demolition sector. *Environmental monitoring and assessment*, v. 187, n. 1, p. 4200, 2015.

SORDI, José Osvaldo de. **Desenvolvimento de Projeto de Pesquisa**. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

SOUZA, Fabiana Frigo; JÚNIOR, Paulo Roberto Batista; FERREIRA, Denize Demarche Minatti; FERREIRA, Luiz Felipe. **Gestão de resíduos sólidos na construção civil: uma análise do relatório GRI de empresas listadas na BM&FBOVESPA**. Navus-Revista de Gestão e Tecnologia, v.5, n.4, p.78-95, 2015. Disponível em: <<http://navus.sc.senac.br/index.php/navus/article/view/251>>.

STATISTIC CANADA, 2015. **Table 153-0041-Disposal of Waste, by Source, Canada, Provinces and Territories, Every 2 Years (Tonnes)**. CANSIM (database). Disponível em: <<http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang¼eng&retrLang¼eng&id¼1530041&pattern¼1530041..1530045&tabMode¼dataTable&srchLan¼-1&p1¼-1&p2¼-1>>. Acessado em: 9 jul. 2016

STOCK, Tim; SELIGER, Günther. **Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0**. *Procedia Cirp*, v. 40, p. 536-541, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>>. Acesso em: 18 ago. 2017

SUÉCIA, Swedish Environmental Protection Agency. **From Waste Management to Resource Efficiency: Sweden's Waste Plan 2012e2017**. CM Gruppen AB, Bromma 2012. Disponível em: < <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6560-7.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019

THE CONSTRUCTION SPECIFICATIONS INSTITUTE, 2016. **MasterFormat: Introduction & Guides**. Disponível em: <http://www.masterformat.com/about/applications_guide/> Acesso em: 21 de out. de 2019

TOKGÖZ, Nuray. **Use of TBM excavated materials as rock filling material in an abandoned quarry pit designed for water storage**. *Engineering geology*, v. 153, p. 152-162, 2013.

TOWNSEND, Timothy; WILSON, Christina; BECK, Blaine. **The benefits of construction and demolition materials recycling in the United States**. University of Florida: Gainesville, FL, USA, 2014.

UGULINO, Janilson Maciel. **A Quarta Revolução Industrial: o que significa, como responder a ela.** 2017. Disponível em: <https://www.engenheirocriativo.com.br/artigo/a-quarta-revolucao-industrial-o-que-significa-como-responder-a-ela>.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA, 2000. **Asbestos [WWW Document]**. In: Technol. Transf. Netw. - Air Toxics Web Site. <https://www3.epa.gov/airtoxics/hlthef/asbestos.html>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2012.** In: National Service Center for Environmental Publications (NSCEP), 2014. Disponível em: <
[UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA., 2015. EPA. **Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures.** 2013 186. <https://doi.org/EPA530-R-15-002>.](https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100MUY0.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2011+Thru+2015&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C11thru15%5CTxt%5C00000016%5CP100MUY0.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL> . Acesso em: 9 jan. 2019</p>
</div>
<div data-bbox=)

VAN WYK, Llewellyn V. **Towards net-zero construction and demolition waste.** In: Green Building Handbook, South Africa, pp. 132e141, Cape Town, South Africa, 2014. Disponível em: < <http://www.alive2green.com/greenbuilding/handbook/volume6/files/assets/basic-html/page132.html> >. Acesso em: 25 jan. 2018.

YANG, W.-S., Park, J.-K., Park, S.-W., Seo, Y.-C., **Past, present and future of waste management in Korea.** Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 17, n. 2, p. 207-217, 2015.

YEHEYIS, Muluken; HEWAGE, Kasun; ALAM, Shahria; ESKICIOGLU, Cigdem; SADIQ, Rehan. **An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability.** Clean Technologies and Environmental Policy, v. 15, n. 1, p. 81-91, 2013.