



Brisa do Mar Oliveira do Nascimento

Modelo para Estimativa de Geração  
de Resíduos de Construção Civil em  
Obras Verticais Novas Através de  
Regressão Linear Múltipla

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Dissertação Orientada pelo Prof. Dr. André Augusto  
Azevedo Montenegro Duarte

Belém – Pará – Brasil

2018

Universidade Federal do Pará  
Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



## **Brisa do Mar Oliveira do Nascimento**

Modelo para Estimativa de Geração de Resíduos de Construção Civil em Obras Verticais Novas Através de Regressão Linear Múltipla

### **Dissertação de Mestrado**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte

Coorientador: Prof. Luiz Maurício Furtado Maués

Belém  
Maio de 2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo  
com ISBD**

---

Nascimento, Brisa do Mar Oliveira do

Modelo para estimativa de geração de resíduos de construção civil em obras verticais novas através de regressão linear múltipla /Brisa do Mar Oliveira do Nascimento.- 2018.

Orientador: André Augusto Azevedo Montenegro Duarte

Coorientador: Luiz Maurício Furtado Maués

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2018

1. Resíduos como material de construção- Pará 2. Gestão integrada de resíduos sólidos 3. Construção civil 4. Análise de regressão I. Título

CDD 22.ed.363.7285098115

---

Elaborado por Maria Ivone Maia da Costa – CRB2- 768

Universidade Federal do Pará  
Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**Brisa do Mar Oliveira do Nascimento**

**Modelo para Estimativa de Geração de Resíduos de Construção  
Civil em Obras Verticais Novas Através de Regressão Linear  
Múltipla**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

**Prof. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte**  
Orientador  
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

**Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués**  
Coorientador - Examinador Externo  
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

**Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço**  
Examinador Interno  
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

**Prof. Dr. Renato Martins das Neves**  
Examinador Externo  
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Andrea Parisi Kern**  
Examinadora Externa  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS



## MODELO PARA ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM OBRAS VERTICAIS NOVAS ATRAVÉS DA REGRESSÃO MÚLTIPLA

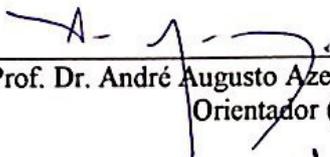
AUTORA:

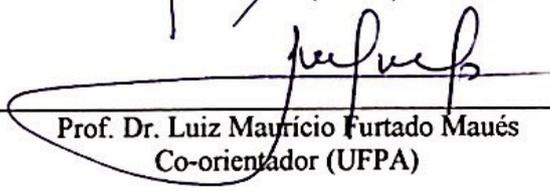
**BRISA DO MAR OLIVEIRA DO NASCIMENTO**

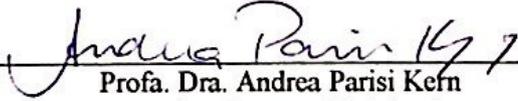
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA  
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 24 / 05 / 2018.

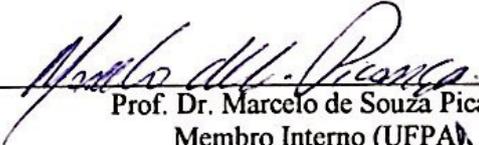
BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte  
Orientador (UFPA)

  
Prof. Dr. Luiz Mauricio Furtado Maués  
Co-orientador (UFPA)

  
Profa. Dra. Andrea Parisi Kern  
Membro Externo (Unisinos)

  
Prof. Dr. Renato Martins das Neves  
Membro Externo (UFPA)

  
Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço  
Membro Interno (UFPA)

Visto:

  
Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dedico este trabalho a minha família,  
Em especial aos meus pais e irmã.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelo mérito de poder concluir mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais Gilmar Sena e Elizete Oliveira pelo carinho, dedicação e incentivo, depositados ao longo da minha vida acadêmica e profissional.

À minha irmã Vitória, pelo carinho e palavras de motivação.

Ao Professor André Montenegro, por sua preciosa orientação e motivação para a concretização deste trabalho.

Ao Professor Luiz Maurício Maués, por sua dedicação, aconselhamento, encorajamento, contribuição na coleta de dados, e também pela amizade cultivada ao longo da vida acadêmica.

Aos professores Renato Neves, André Cruz e Luciana Cordeiro pelo incentivo, e contribuição neste trabalho.

Aos colegas do grupo NUHAM, pelas trocas de conhecimento e experiências, de grande contribuição para conclusão desta jornada.

Ao amigo Rafael Rosa, pelas contribuições e orientação espiritual.

A todos que colaboraram direta e indiretamente para finalização deste trabalho, aos amigos, professores, a Secretaria e Coordenação do PPGEC, meus mais sinceros agradecimentos.

## RESUMO

NASCIMENTO, B. M. O. (2018). **Modelo para Estimativa de Geração de Resíduos de Construção Civil em Obras Verticais Novas Através de Regressão Linear Múltipla**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, 2018.

A indústria da construção civil é responsável por um consumo considerável de recursos naturais e contribui para o esgotamento dos mesmos. Dessa forma a discussão de questões ambientais é inevitável e medidas para redução da geração de resíduos de construção tornam-se necessárias. O passo inicial para orientar essas medidas é a quantificação de resíduos e conscientização do montante gerado. No entanto, essa tarefa ainda pode ser considerada um desafio devido à diversidade dos resíduos de construção civil (RCC) e às suas características produtivas inerentes. Este trabalho é uma aplicação de um modelo estatístico para quantificar a geração dos RCC em obras verticais, levando em consideração características pré-definidas de projeto e de sistema construtivo, utilizando-se de dados de algumas construtoras atuantes na Região Metropolitana de Belém-PA (RMB). Trata-se de um estudo de casos múltiplos, cujos dados de 22 obras foram obtidos através de formulários online, visitas a obras, e documentos fornecidos pelas empresas estudadas. Para análise e obtenção do modelo, foi utilizada a regressão linear múltipla. Como resultado foi obtido um modelo da região estudada em que a variável dependente é o volume de RCC gerado, e as variáveis independentes são “área total construída”, “densidade de paredes”, “sistema produtivo” e “organização do canteiro”. O  $R^2$  ajustado obtido no modelo é 0,785, o que denota uma capacidade de prever aproximadamente 78% da geração de RCC em obras verticais. Ao ser comparado com estimativas de outros autores, o modelo obtido demonstrou melhor aproximação. Quando aplicado na RMB apresenta alta assertividade. Em contrapartida, quando aplicado em outras realidades, e com dados de outras regiões, mostra baixa assertividade, demonstrando que as singularidades de cada região são importantes e os modelos são boas representações das realidades locais. Observou-se também que a parcela regressora que mais impacta na geração de resíduos é a que contém a característica “sistema produtivo”. Além disso, observou-se que a RMB apresenta índice de geração de RCC médio de  $0,23 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Por fim, espera-se que o conhecimento do volume de RCC gerado em fases iniciais, como a de projeto, possa auxiliar na elaboração de medidas para a melhoria da gestão e redução da geração de RCC.

**Palavras-chave:** Resíduos de Construção. Quantificação de Resíduos. Regressão Linear Múltipla. Construção Civil.

## **ABSTRACT**

NASCIMENTO, B. M. O. (2018). **A Model to Estimate Construction Waste Generation in New Vertical Buildings through Multiple Linear Regression.** Dissertation (Master Degree), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, 2018.

The construction industry is responsible for a considerable consumption of natural resources and contributes to their depletion. In this way the discussion of environmental issues is inevitable and measures to reduce the generation of construction waste become necessary. The initial step to guide these measures is the quantification of waste and awareness of the amount generated. However, this task can still be considered a challenge due to the diversity of construction waste (CW) and its inherent productive characteristics. This work is an application of a statistical model to quantify the generation of CWs in vertical constructions, taking into account pre-defined design and construction system characteristics, using data from some construction companies in the Metropolitan Region of Belém-PA (MRB). This is a multiple case study, whose data from 22 constructions were obtained through online forms, visits to works, and documents provided by the companies studied. To analyze and obtain the model, multiple linear regression was used. As a result, a model of the region studied was obtained in which the dependent variable is the volume of CWs generated, and the independent variables are "total constructed area", "wall density", "production system" and "site organization". The adjusted  $R^2$  obtained in the model is 0.785, which denotes an ability to predict approximately 78% of CWs generation in vertical constructions. When compared with estimates of other authors, the model obtained showed a better approximation. When applied in MRB it presents high assertiveness. On the other hand, when applied in other realities, and with data from other regions, it shows low assertiveness, demonstrating that the singularities of each region are important and the models are good representations of local realities. It was also observed that the regression that most impacts on the generation of waste is the one that contains the characteristic "productive system". In addition, it was observed that the MRB presents average CW generation index of  $0.23 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ . Finally, it is expected that the knowledge of the CW volume generated in the initial stages, such as the design phase, can help in the elaboration of measures to improve management and reduce the generation of CW.

**Keywords:** Civil Construction. Waste Generation. Construction Waste. Construction Waste Quantification.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b>	Cadeia Produtiva Brasileira da Construção	16
<b>Figura 2</b>	Total de RCC Coletado x Regiões (ton x1000/ano)	19
<b>Figura 3</b>	Prioridades na gestão de resíduos	26
<b>Figura 4</b>	Indicação genérica de possíveis incidências e origem de perdas	33
<b>Figura 5</b>	Influência da Compacidade em projetos com a mesma área	35
<b>Figura 6</b>	Classificação de uma variável	42
<b>Figura 7</b>	Fluxograma do Método de Pesquisa	43
<b>Figura 8</b>	Localização das obras pretendidas no estudo inicial	46
<b>Figura 9</b>	Esquema do método de tratamento dos dados da pesquisa	54
<b>Figura 10</b>	Fachada da obra T2	55
<b>Figura 11</b>	Fachada da obra T22	56
<b>Figura 12</b>	Sistema Construtivo e de Alvenaria das obras investigadas	58
<b>Figura 13</b>	Depósitos irregulares de RCC	58
<b>Figura 14</b>	Resíduos dispostos em contêineres	59
<b>Figura 15</b>	Estação de tratamento e lixeira de coleta seletiva da obra T4	60
<b>Figura 16</b>	Percentual de resíduo gerado das empresas estudadas (22 obras)	62
<b>Figura 17</b>	Geração de resíduos por empresa (22 obras)	63
<b>Figura 18</b>	Disposição da geração dos resíduos em torno da média	67
<b>Figura 19</b>	Gráfico <i>boxplot</i> da variável dependente – (22 dados)	69
<b>Figura 20</b>	Gráfico <i>boxplot</i> da variável dependente (19 dados)	70
<b>Figura 21</b>	Gráfico <i>boxplot</i> da variável dependente (18 dados)	71
<b>Figura 22</b>	Histograma de distribuição normal (variável dependente)	71
<b>Figura 23</b>	Gráfico de probabilidade normal Q-Q Plot para o volume de resíduos	72
<b>Figura 24</b>	Gráfico variável N° de Pavimentos	73
<b>Figura 25</b>	Gráfico variável participação de pavimentos tipo sobre o total de pavimentos	73
<b>Figura 26</b>	Gráfico índice de geração de RCC x n° de pavimentos	74
<b>Figura 27</b>	Gráfico índice de geração de RCC x participação do n° de pavimentos tipo sobre o total de pavimentos	74

<b>Figura 28</b>	Gráfico variável Índice Econômico de Compacidade	75
<b>Figura 29</b>	Gráfico da variável densidade de paredes internas	75
<b>Figura 30</b>	Gráfico da variável área total	76
<b>Figura 31</b>	Gráfico da variável área do pavimento tipo	76
<b>Figura 32</b>	Gráfico P-P Plot para resíduos studentizados	84
<b>Figura 33</b>	Gráfico variável “Y” x Resíduos Studentizados	85
<b>Figura 34</b>	Gráfico variável “área total construída” x Resíduos Studentizados	86
<b>Figura 35</b>	Gráfico variável “densidade de paredes” x Resíduos Studentizados	86
<b>Figura 36</b>	Gráfico Volume estimado x volume informado	90
<b>Figura 37</b>	Gráfico Contribuição da variável “área construída” no volume de RCC	91
<b>Figura 38</b>	Gráfico Contribuição da variável “densidade de paredes” no volume de RCC	92
<b>Figura 39</b>	Gráfico Contribuição da variável “organização do canteiro” no volume de RCC	93
<b>Figura 40</b>	Gráfico Contribuição da variável “sistema produtivo” no volume de RCC	94

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Percentual das perdas em uma obra	34
<b>Tabela 2</b>	Fontes e causas de desperdícios na construção na fase de projeto	35
<b>Tabela 3</b>	Composição Média dos Entulhos de Obras no Brasil	39
<b>Tabela 4</b>	Descrição das empresas participantes do estudo inicial	44
<b>Tabela 5</b>	Identificação das obras durante o estudo inicial	45
<b>Tabela 6</b>	Método Construtivo utilizado	56
<b>Tabela 7</b>	Volume de resíduo gerado	
<b>Tabela 8</b>	Variáveis independentes relacionadas ao projeto	64
<b>Tabela 9</b>	Variáveis independentes relacionadas à produção	65
<b>Tabela 10</b>	Estatística descritiva da amostra	67
<b>Tabela 11</b>	Teste de normalidade da variável dependente (22 dados)	68
<b>Tabela 12</b>	Teste de normalidade da variável dependente (19 dados)	69
<b>Tabela 13</b>	Teste de normalidade da variável dependente (18 dados)	70
<b>Tabela 14</b>	Valores da correlação de Pearson entre as variáveis independentes	77
<b>Tabela 15</b>	Regressão do Modelo 1	78
<b>Tabela 16</b>	Coeficientes do Modelo 1	79
<b>Tabela 17</b>	Regressão do Modelo 2	79
<b>Tabela 18</b>	Coeficientes do Modelo 2	80
<b>Tabela 19</b>	Regressão do Modelo 3	80
<b>Tabela 20</b>	Coeficientes do Modelo 3	80
<b>Tabela 21</b>	Regressão do Modelo 4	81
<b>Tabela 22</b>	Coeficientes do Modelo 4	81
<b>Tabela 23</b>	Regressão do Modelo 5	82
<b>Tabela 24</b>	Coeficientes do Modelo 5	82
<b>Tabela 25</b>	Fator de Inflação da Variância do Modelo 4	83
<b>Tabela 26</b>	Teste de Normalidade dos resíduos da regressão	84
<b>Tabela 27</b>	Dados utilizados para aplicação no modelo 4	87
<b>Tabela 28</b>	Comparativo entre os resultados obtidos no modelo empírico e os volumes de RCC informados pelas empresas e pelas	

	estimativas dos autores Pinto (1999), Marques Neto e Schalch (2010) e Dias (2013).	88
<b>Tabela 29</b>	Comparativo entre os resultados obtidos no modelo adotado e os volumes de RCC informados pelas empresas e aplicação do modelo de Dias (2013) nos dados informados da RMB.	90
<b>Tabela 30</b>	Comparativo entre os resultados obtidos no modelo e os volumes de RCC informados pelas empresas no estudo de Dias (2013) e aplicação do modelo 4 nos dados informados na Região Metropolitana de Porto Alegre.	91

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b>	Classificação dos resíduos da Construção Civil	22
<b>Quadro 2</b>	Forma de obtenção das variáveis independentes de projeto	49
<b>Quadro 3</b>	Forma de obtenção das variáveis independentes relacionadas ao sistema produtivo	51

## LISTA DE ABREVIATURAS

Neste item são apresentados alguns dos símbolos utilizados nesta Dissertação. Aqueles que não estão aqui apresentados têm seu significado explicado assim que mencionados no texto.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAT - Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EU - União Europeia

FGV - Fundação Getúlio Vargas

FIESP – Federação das Indústrias de São Paulo

PGRCC – Programa de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil

PIB - Produto Interno Bruto

RSUs – Resíduos Sólidos Urbanos

RCC – Resíduos de Construção Civil

SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil

## LISTA DE SÍMBOLOS

Neste item são apresentados alguns dos símbolos utilizados nesta Dissertação. Aqueles que não estão aqui apresentados têm seu significado explicado assim que mencionados no texto.

$A_p$	superfície do projeto
$P_{ep}$	perímetro econômico do projeto
$P_{pr}$	perímetro das paredes exteriores retas
$P_{cp}$	perímetro das paredes exteriores curvas
$nA$	número e arestas das fachadas
$Y_i$	variável dependente para a i-ésima obra;
$X_i$	variáveis independentes para a i-ésima obra;
$\beta$	coeficientes parciais de regressão;
$\hat{\beta}$	coeficientes parciais de regressão;
$\varepsilon$	erro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	20
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b>	<b>20</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b>	<b>21</b>
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>22</b>
2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	22
<b>2.1.1 Aspectos Sociais, Políticas Públicas e Normalização</b>	<b>24</b>
<b>2.1.2 O desafio do gerenciamento dos RCC</b>	<b>27</b>
<b>2.1.3 A problemática da quantificação de RCC</b>	<b>29</b>
<b>2.1.4 Métodos de quantificação de RCC</b>	<b>30</b>
2.2 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A GERAÇÃO DE RCC	33
<b>2.2.1 Geração de RCC na fase de projeto</b>	<b>34</b>
<b>2.2.2 Geração de RCC durante o processo produtivo</b>	<b>38</b>
<b>2.2.3 As perdas enquanto parte do consumo dos materiais</b>	<b>39</b>
<b>3 MÉTODO DE PESQUISA</b>	<b>41</b>
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	41
3.2 ESTUDO EXPLORATÓRIO	43
<b>3.2.1 Estudo inicial</b>	<b>44</b>
<b>3.2.2 Localização das obras</b>	<b>45</b>
<b>3.2.3 Levantamento de dados</b>	<b>46</b>
3.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS	48
<b>3.3.1 Volume de resíduos gerados (variável dependente)</b>	<b>48</b>
<b>3.3.2 Características arquitetônicas das obras (variáveis independentes)</b>	<b>49</b>
<b>3.3.3 Características relacionadas ao sistema de produção (variáveis independentes)</b>	<b>50</b>
3.4 TRATAMENTO DOS DADOS	51
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>55</b>
4.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS OBSERVADO NOS	

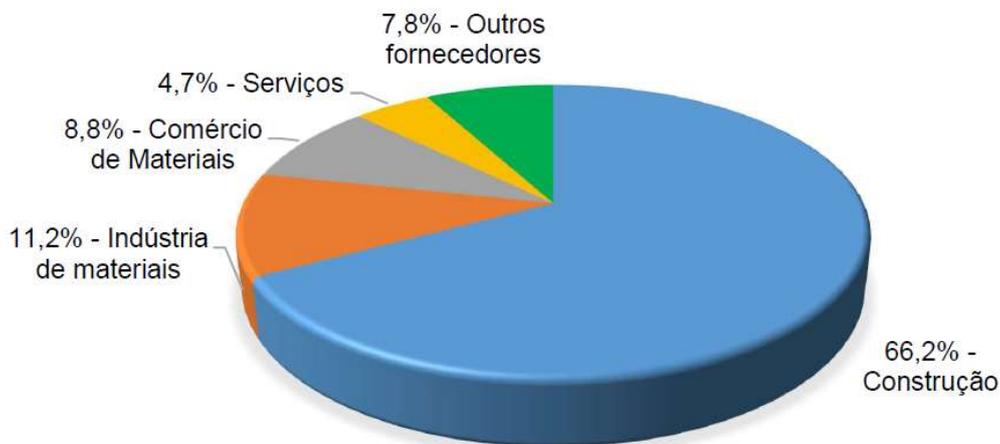
CANTEIROS VISITADOS	55
4.2 DADOS COLETADOS: COMPOSIÇÃO DA AMOSTRA	61
<b>4.2.1 Variável dependente</b>	<b>61</b>
<b>4.2.2 Variáveis independentes relacionadas ao projeto</b>	<b>64</b>
<b>4.2.3 Variáveis independentes relacionadas à produção</b>	<b>65</b>
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS E DESENVOLVIMENTO DO MODELO EMPÍRICO	66
<b>4.3.1 Análise descritiva dos dados</b>	<b>66</b>
<b>4.3.2 Análise da variável dependente (Y)</b>	<b>68</b>
<b>4.3.3 Análise das variáveis independentes</b>	<b>72</b>
<b>4.3.4 Análise da Regressão</b>	<b>78</b>
<b>4.3.5 Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras verticais residenciais e verificação da necessidade de ajustamento</b>	<b>83</b>
<b>4.3.6 Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos das obras estudadas</b>	<b>87</b>
<b>4.3.7 Comparativo entre aplicações dos modelos obtidos na Região Metropolitana de Belém e na Região Metropolitana de Porto Alegre</b>	<b>90</b>
<b>4.3.7 Análise de sensibilidade</b>	<b>92</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>97</b>
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	98
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>109</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Souza (2005), a Construção Civil possui uma importância expressiva quando comparada às demais indústrias no que se refere à demanda por materiais. Parte desses materiais é destinada a composição de sistemas industrializados e pré-fabricados. Esses produtos também são compostos por matérias-primas de outras indústrias, como a da mineração. Ao passo que, o restante destes materiais é direcionado ao comércio e tem como objetivo a construção de edifícios e de infraestrutura (FIESP; CIESP, 2016).

Nesse âmbito, a importância da construção civil também pode ser observada na economia. A cadeia produtiva da construção tem participação importante na economia brasileira, o que é corroborado pela sua contribuição de até 8,5% do produto interno bruto (ABRAMAT; FGV, 2015). No gráfico da Figura 1 é possível notar a contribuição do setor para a cadeia produtiva brasileira da construção, que em 2015 era de 66,2% (CBIC, 2017).

**Figura 1:** Cadeia Produtiva Brasileira da Construção



Fonte: CBIC, 2017.

Contudo, a indústria da Construção Civil é considerada uma grande geradora de resíduos, quando comparada com os demais segmentos industriais, tendo em vista a complexidade e variedade do seu processo produtivo em termo de consumo de recursos (SOUZA et al., 2004). O setor consome mais matérias-primas e energia

do que qualquer outra atividade econômica, além de gerar a maior parte dos resíduos em todo o espaço urbano (MÁLIA; BRITO; BRAVO, 2011).

Dessa forma, devido à demanda por um desenvolvimento mais sustentável na atualidade, nota-se que há uma ênfase nas discussões que objetivam reduzir o consumo desenfreado dos recursos da construção civil em várias etapas do empreendimento. É necessário focar na reciclagem, reuso dos resíduos, e até mesmo na redução da geração deste montante nos canteiros de obras, minimizando o impacto ambiental (SOUZA et al., 2004).

Segundo a Comissão Europeia de Meio Ambiente (2016) os resíduos de construção civil (RCC) representam entre 25% e 30% de todo o montante de resíduos gerados na Europa. Esse volume é constituído em sua maioria de materiais como o concreto, madeiras, metais, plásticos e solo escavado, e inegavelmente tais materiais podem ser reciclados. Tais insumos são oriundos de construções novas, obras públicas, reformas, demolições de edifícios obras de arte, dentre outras estruturas.

No contexto europeu, a tecnologia da separação e recuperação de resíduos de construção e demolição está bem estabelecida, é acessível e, geralmente, resulta em baixo custo. Para a União Europeia os resíduos são considerados como prioridade, pois existe um potencial emergente na reciclagem e reutilização de RCC tendo em vista que muitos de seus componentes possuem um alto valor econômico. Neste caso, há um mercado de aplicação de agregados derivados de RCC em estradas, drenagem e outros projetos de construção (COMISSÃO EUROPEIA DE MEIO AMBIENTE, 2016).

Na América do Norte não é diferente, mais precisamente nos Estados Unidos, os RCC também compõem grande parte dos resíduos sólidos. O que faz desse montante um candidato ideal para a reciclagem. Em relação aos aterros sanitários, a reciclagem dos resíduos de construção civil executada nestes locais resulta em uma maior criação de emprego e atividade industrial com um alto grau de proteção ambiental, o que caracteriza um uso mais nobre dos recursos naturais, economias de energia e uma redução significativa nas emissões de gases causadores do efeito estufa (TOWNSEND; ANSHASSI, 2014).

Segundo Monteiro et al. (2001), em países desenvolvidos a média de resíduos proveniente de novas edificações é abaixo de 100 kg/m<sup>2</sup>. No Brasil, este

índice gira em torno de 300 kg/m<sup>2</sup> por metro quadrado edificado e revela um grave problema em muitas cidades. O despejo irregular pode acarretar impasses de ordem estética, ambiental e de saúde pública. No Brasil, os resíduos de construção civil e demolição representam 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos - RSUs (ANGULO, 2005).

Do volume total de RCC a argamassa é o material que apresenta o maior percentual com média de 22%, enquanto o concreto e o tijolo branco registraram 15,6% e 10,4%, respectivamente (LIMA; CABRAL, 2013). Já Lucena (2005) constatou que os resíduos de construção civil são compostos, em torno de 80%, de tijolos, areias e argamassas. Numa menor parcela foram encontrados restos de concreto (9%), pedras (6%), cerâmica (3%), gesso (2%) e madeira (1%). E avulso ao tipo de obra considerada, os resíduos de tijolo, argamassa e areia são os mais gerados, uma vez que as suas porcentagens não variam significativamente entre um tipo construtivo e outro.

Nesse contexto, Marques Neto e Schalch (2010), apontam que os impactos relacionados aos RCC e a necessidade de solucioná-los levaram o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a instituir a resolução nº 307, em 2002. Esta resolução estabelece as primeiras diretrizes para gestão municipal dos RCC. Contudo, para implantação desse padrão é necessário examinar a situação efetiva desses resíduos nas cidades e traçar um diagnóstico em que devam ser avaliados os tópicos da geração, composição, manejo e descarte dos RCC (BRASIL, 2002).

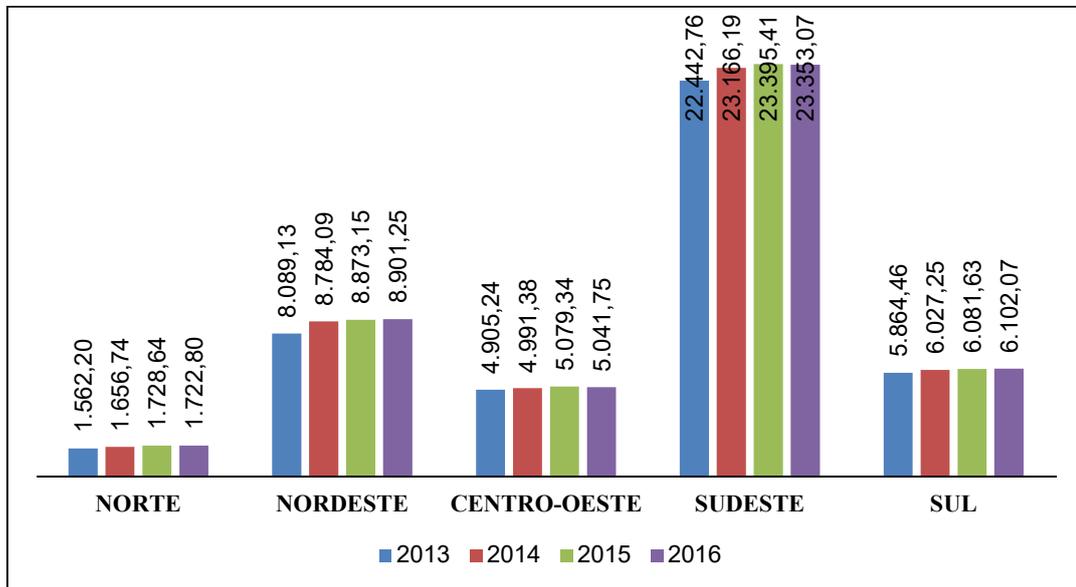
## 1.1 JUSTIFICATIVA

A quantificação dos resíduos gerados em uma região é tarefa considerada essencial para a proposição de medidas para redução deste volume. Esse trabalho considera que esta etapa é urgente, tendo em vista a necessidade da redução do consumo de recursos naturais em busca de uma construção mais sustentável. Para isso é necessária a implantação de metas com foco na gestão de processos visando reduzir o desperdício no setor e principalmente a deposição irregular desse material.

No que se refere à deposição dos RCC em locais inadequados, é importante ressaltar que os municípios coletaram cerca de 45,1 milhões de toneladas de RCC em 2016 segundo a ABRELPE (2016), isso representa uma redução de 0,08% em

relação a 2015 (Figura 2). Os dados da região norte no ano de 2016 representam apenas 3,83% do RCC coletado em todo o país.

**Figura 2:** Total de RCC Coletado x Regiões (ton x1000/ano)



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2016).

Tratar da destinação desse volume de resíduos, além de executar as demais atividades pertencentes ao serviço de limpeza urbana totaliza em custos consideráveis aos orçamentos municipais, cujos recursos são bastante limitados (ABRELPE, 2016).

Esta situação, também observada em anos anteriores, exige atenção especial, visto que a quantidade desses resíduos na sua totalidade é bem maior, pois os municípios contabilizam apenas os resíduos lançados nas vias públicas. Dessa forma, são necessárias medidas para o conhecimento desta quantidade gerada. Este é o passo inicial para uma melhor gestão desses resíduos.

Contudo, há muitos entraves para a quantificação do RCC. Katz e Baum (2011) apontam que na condução uma pesquisa de projetos de grande escala, como os projetos de construção, as amostras coletadas são relativamente escassas, devido às dificuldades apresentadas durante o processo de coleta de dados. Para Pinto e Gonzáles (2005), é necessário levantar informações em diversas fontes para que, ao final, o resultado do quadro de estimativas seja razoavelmente seguro.

Neste contexto, esta Dissertação de Mestrado foi desenvolvida com o intuito de estabelecer um modelo para estimar a quantidade de resíduos gerada na produção de obras verticais novas, considerando o contexto regional e características arquitetônicas e de produção. Esse modelo poderá ser utilizado como parâmetro para implantação de ações voltadas à diminuição da geração de resíduos.

Essa pesquisa pode ser justificada por várias razões. A primeira delas é investigar o cenário local das obras estudadas objetivando uma avaliação da situação regional frente à geração de resíduos, visto que a região em questão não possui muitas pesquisas relacionadas a esse tema.

A segunda razão é que esse diagnóstico poderá ser utilizado para avaliar a realidade local e compará-la a situação de outras regiões, e países.

Neste trabalho foi aplicado o método desenvolvido por Dias (2013) na Região Metropolitana de Porto Alegre para criação de um modelo representativo da realidade local da Região Metropolitana de Belém, utilizando-se dados coletados na região pretendida. Desta forma, este trabalho partiu da premissa de utilização das variáveis endógenas de sistema produtivo e de projeto adotadas por Dias (2013).

Portanto, acredita-se que essas informações podem ser de grande utilidade aos geradores, visto da obrigatoriedade da elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção (PGRCC), e para o poder público, no intuito de possibilitar medidas e melhorias para a gestão desses resíduos.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar um modelo estatístico para estimativa de geração de resíduos de construção civil de edificações verticais residenciais utilizando-se de variáveis endógenas como as características arquitetônico e do sistema produtivo da obra.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Verificar através da análise de sensibilidade como as variáveis de projeto arquitetônico e de sistema produtivo consideradas no modelo aplicado influenciam o processo de geração de resíduos na região estudada;
- b. Comparar os resultados de geração obtidos na pesquisa com os de outros autores brasileiros;
- c. Analisar a convergência entre os resultados obtidos neste trabalho e os resultados encontrados no modelo seminal desenvolvido para a região metropolitana de Porto Alegre;

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos:

No primeiro capítulo têm-se a introdução que faz um apanhado geral da geração de resíduos no setor da construção civil, a justificativa da realização do trabalho, os objetivos e a estrutura do trabalho.

O segundo contempla a revisão bibliográfica e a situação dos resíduos de construção civil, bem como os sistemas de construção das obras investigadas, fatores que influenciaram a produção desses resíduos e um apanhado sobre os aspectos relevantes da legislação associada e das medidas que buscam amenizar os impactos ambientais causados por essa produção de resíduo.

No terceiro capítulo é descrito o método de pesquisa utilizado, e a apresentação das etapas do estudo.

O quarto capítulo analisará e discutirá os resultados obtidos na pesquisa. E no último capítulo será apresentada a conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será realizada uma revisão da literatura para fundamentar a análise da situação do gerenciamento dos resíduos de construção civil em termos nacional e mundial.

### 2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Os Resíduos da Construção Civil (RCC) podem ser definidos como todo rejeito oriundo de material que foi utilizado na execução de etapas de obras da construção civil como: calça, pedregulho, areia, terra, em geral servem para aterrar, nivelar depressão de terreno ou escavação, fossa, vala. É composto de conjunto de fragmentos ou restos de tijolos, argamassa, madeira, que podem ser provenientes das construções novas, reformas, reparos, restaurações, demolições e obras de infraestrutura (MARQUES NETO, 2005).

A respeito da classificação, a resolução nº 307 do CONAMA de 2002, apresenta uma especificação dos resíduos de construção e demolição, observada no Quadro 1.

**Quadro 1:** Classificação dos resíduos da Construção Civil

Classe de Resíduo	Características
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;</li> <li>b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;</li> <li>c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;</li> </ul>

Continuação do Quadro 1

Classe de Resíduo	Características
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
Classe D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos 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.

Fonte: BRASIL (2002).

Para a geração de RCC, quase sempre muito volumosos, há consequências desfavoráveis como impactos ambientais, custos com desperdícios de matéria prima e custos sociais. Muitas vezes os gestores não têm conhecimento dos volumes gerados e se dão conta da gravidade da situação após a insuficiência das suas ações corretivas (TROCA, 2007).

Monteiro et al. (2001), aponta que os resíduos da construção civil são, em termos de composição, uma mistura de materiais e estes devem ser encaminhados, conforme a resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, para aterros de resíduos classe A de preservação de material para usos futuros - o que possibilita que estes materiais sejam reaproveitados e reciclados, evitando assim um maior acúmulo no meio ambiente.

Segundo Llatas (2011), os resíduos de construção e projetos de demolição constituem 35% dos resíduos sólidos do mundo e a maioria é depositada em aterros sanitários, em locais não controlados ou em outros locais inadequados. Esta prática

comum provoca uma série de impactos sobre o ambiente, incluindo a poluição do ar, água superficial e água subterrânea, riscos para a saúde pública e perda de recursos naturais.

O cenário brasileiro é caracterizado por uma representatividade de resíduos provenientes de construções e demolições em torno de 40 a 70% da massa total dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999). Conseqüentemente, este tipo de resíduo tem recebido grande atenção por parte de prefeituras e de órgãos responsáveis devido aos problemas causados pela sua deposição indevida.

Além disso, essa resolução nº 307 do CONAMA preconiza claramente que os RCC não devem ser dispostos em aterros sanitários para lixo comum, ou em áreas para “bota fora”, ou em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei (BRASIL, 2002).

### **2.1.1 Aspectos Sociais, Políticas Públicas e Normalização**

Para Bernardes et al. (2012), o grande volume gerado de RCC é um obstáculo que deve ser analisado na circunstância da sociedade atual, tendo em vista as inúmeras resultantes que prejudicam a saúde humana e o meio ambiente das pequenas às grandes cidades.

Segundo Salgosa e Del Bel (2012), o desenvolvimento socioeconômico do Brasil não esteve atrelado à implantação de grande quantidade de sistemas de tratamento e destinação de resíduos sólidos e tecnologia apropriados. Até 2011 o Brasil apresentava baixíssimo aproveitamento de resíduos, bem como destinação inadequada de grande parcela desse montante. Esse índice se refere basicamente a sucatas metálicas, papel e papelão vidro e alguns plásticos, e esse resultado é embasado na informalidade e na sonegação de obrigações tributárias e trabalhistas. Portanto, no Brasil, os resíduos sólidos ainda são um dos principais problemas ambientais, o que pode refletir em um significativo atraso em relação aos países desenvolvidos.

Tradicionalmente, o controle dos RCC esteve sob responsabilidade do poder público, que enfrentava problemas da ordem de limpeza e recolhimento dos RCC depositados comumente em logradouros e em locais equivocados. Nesse contexto, em 2002 foi implantada a Resolução Conama nº 307 que é considerada o principal

marco regulatório para a gestão dos RCC (IPEA, 2012). Nela, são implementadas diretrizes para redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos originados na construção civil.

Esta também reconhece que a disposição dos RCC em locais inadequados contribui para a degradação do meio ambiente principalmente por estes representarem percentual relevante dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanizadas.

Em adição, a resolução responsabiliza os geradores de resíduos da construção civil pelos RCC gerados, inclusive em estruturas e estradas, e também por aqueles volumes resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos; observa também a viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil.

Sincrônica à resolução nº 307 tem-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), que define alicerces regulares para delinear uma gestão adequada para tais resíduos. Nela destacam-se diretrizes como redução de desperdícios consequentemente de volumes de resíduos gerados, segregação dos resíduos em classes e tipos, reutilização de materiais e reciclagem dos resíduos, transformando-os novamente em matérias primas (ARNOSTI JR; TRINCA, 2015).

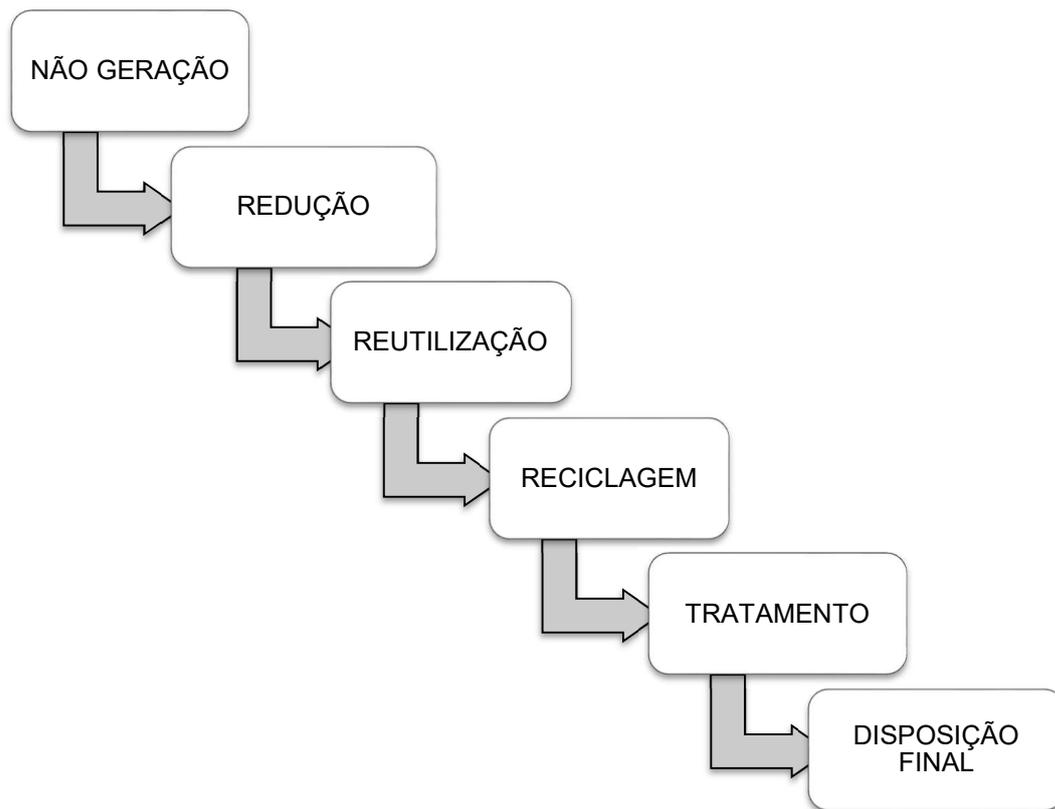
Segundo Gonçalves (2013), outro conceito relevante incorporado pela PNRS foi a logística reversa. Nesta, cabem os procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e o retorno dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. Foi destinado às empresas o prazo até 2014 para se adequarem às novas diretrizes da lei.

De todos os fatores apontados pela PNRS como possíveis para uma melhor gestão de resíduos, Lu e Yuan (2011), indicam que a redução da geração do RCC é o método mais efetivo e eficiente, não somente pela diminuição da geração de resíduos, mas para eliminar problemas ambientais devido à disposição desse material em locais irregulares, além de reduzir o custo de construção devido a remoção e separação deste volume.

Contudo, no que diz respeito a prioridade de ações para gestão dos RCC pode ser destacado no art. 9º da redação da PNRS (2010, p. 5) que “na gestão e

gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Conforme a Figura 3.

**Figura 3:** Prioridades na gestão de resíduos



Fonte: Adaptado de BRASIL (2010).

Dentro da ideia de desenvolvimento sustentável estabelecida pela Agenda 21 Brasileira (2002), reduzir e utilizar os resíduos e subprodutos são ações e recomendações essenciais à sociedade atual. No caso dos RCC, os maiores desafios seriam a redução do volume de entulho produzido evitando a deposição destes em locais inadequados, ou até, a “superlotação” dos aterros, e beneficiar a quantidade de entulho gerado, reciclando e reinserindo-o no ciclo produtivo, minimizando o consumo de energia e de recursos naturais.

No que se refere às normas técnicas necessárias para a implantação de atividades e tecnologias em decorrência da gestão dos resíduos da Construção Civil destacam-se:

- a) NBR 15112:2004: Resíduos da Construção Civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- b) NBR 15113:2004: Resíduos sólidos da Construção Civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- c) NBR 15114:2004: Resíduos sólidos da Construção Civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- d) NBR 15115:2004: Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;
- e) NBR 15116:2004: Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Essas normas têm delimitado as medidas do poder público principalmente em relação aos planos municipais para destinação correta dos resíduos, conforme estabelecido pela Resolução nº 307 do CONAMA (SOUZA; DEANA, 2007).

### **2.1.2 O desafio do gerenciamento dos RCC**

De acordo com Del Río Merino, Gracia e Azevedo (2010), o fluxo de resíduos de construção e demolição constitui o terceiro maior fluxo de resíduos em termos quantitativos na União Europeia, após a mineração e o lixo agrícola. Excluindo-se o solo, estima-se que a quantidade de resíduos de construção e demolição seja de cerca de 180 (cento e oitenta) milhões de toneladas por ano. De acordo com dados fornecidos pela Comissão da União Europeia (2007, apud DEL RÍO MERINO; GRACIA; AZEVEDO, 2010), em média, cerca de 55% dos RCC produzidos são reutilizados ou reciclados.

As estatísticas de geração de RCC não são rigorosamente rastreadas nos EUA, por isso as previsões dessa quantidade de reciclados e em aterros variam drasticamente. Mesmo nesse contexto, o montante de RCC gerado nos EUA em 2014 foi estimado em aproximadamente 430 (quatrocentos e trinta) milhões de toneladas, que é representado por cerca de 64 (sessenta e quatro) milhões de

toneladas de RCC misturado, 290 (duzentos e noventa) milhões de toneladas de agregados em massa (principalmente concreto) e 76 (setenta e seis) milhões de toneladas de pavimento de asfalto recuperado. Cerca de 73% deste fluxo de resíduos foi projetado como sendo reciclado e usado para da indústria de reciclagem RCC (correspondente a uma taxa de reciclagem de 37% para RCC misturado, taxa de reciclagem de 85% para agregados em massa e taxa de reciclagem de mais de 99% para asfalto reciclado). A área de aterro sanitário “economizada” através da reciclagem dessa quantidade de RCC é equivalente a mais de 2.226 (dois mil, duzentos e vinte e seis) hectares, e uma profundidade de pouco mais de 15 de resíduo (TOWNSEND; ANSHASSI, 2014).

No Brasil, destaca-se a pesquisa de Miranda, Ângulo e Careli (2009), que observa que a reciclagem no país ainda é pouco expressiva, afinal considerando todas as usinas brasileiras de reciclagem apenas 3,6% do RCC estaria sendo reciclado. Esse valor pode ser majorado para 4,5% em um cenário otimista, em que até então, nenhuma dessas usinas investigadas tenham sido desativadas. Portanto, para que a reciclagem possa se tornar expressiva é necessária a implantação de muitas usinas. Além disso, 45% dessas usinas são privadas, e a produção das usinas públicas enfrenta muitos entraves. Nestas a produção é descontinuada devido as dificuldades administrativas, as mudanças de cenário político e o pouco conhecimento teórico.

Ademais, ressalta-se a importância do rigor da lei, para o aumento do número de regiões com controle da produção e deposição destes resíduos, haja vista que Pinto (2008) observa que antes da publicação da resolução nº 307/2002 do CONAMA apenas dois municípios possuíam iniciativas de planos de gerenciamento de RCC. Em 2008, o número ampliou para em torno de 50 municípios, com grande concentração na região Sudeste, especialmente no interior paulista e fluminense. Além disso, Miranda, Ângulo e Careli (2009), apontam que a taxa de crescimento das usinas de reciclagem brasileiras aumentou após a vigência da resolução. A partir desse panorama, é possível reconhecer uma mudança no cenário, influenciada pela pressão da legislação aliada à crescente conscientização ambiental e social.

Além disso, Del Río Merino, Gracia e Azevedo (2010), apontam que existem três principais motivos para redução da contaminação do meio ambiente pelos RCC

na Europa que são o aumento do rigor por parte das agências reguladoras das leis existentes para a gestão adequada de RCC, incentivar a indústria a identificar e aplicar medidas apropriadas de reciclagem para os fluxos de resíduos, e o aumento das taxas de cobrança para RCC descartados em aterros.

Ainda sobre as mudanças estabelecidas após a implantação da resolução nº 307 de 2002, Dias (2013) destaca que a caracterização dos resíduos de construção, identificação e quantificação prévia dos resíduos que serão gerados durante a obra, é um dos procedimentos iniciais para a elaboração do documento técnico Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil exigido pelo poder Municipal conforme a PNRS. Dessa forma, essa exigência ressalta o valor da manutenção de um histórico sério dos RCC gerados durante o período construtivo dos empreendimentos executados pelas empresas de Construção Civil. O PGRCC é composto por etapas onde o gerador deve prever a caracterização, separação, acondicionamento, transporte e destinação adequados para os seus resíduos.

Portanto, o primeiro passo para um gerenciamento eficaz de RCC segundo Bernardes et al. (2012), é a realização de um amplo diagnóstico sobre a sua geração em uma esfera municipal, identificando o volume total gerado e as suas principais características e propriedades. O monitoramento da quantificação dos resíduos ao longo do tempo é de suma relevância na determinação da estrutura necessária para gerir o processo e realizar a reutilização e/ou a reciclagem dos resíduos.

### **2.1.3 A problemática da quantificação de RCC**

O conhecimento dos indicadores de resíduos de uma região é considerado uma etapa fundamental para promover a redução da geração dos resíduos, principalmente no setor de construção civil. Para que sejam tomadas medidas de controle da geração destes, é necessário conhecer a quantidade de resíduos gerada, e quanto mais estratificada é a caracterização dessa quantidade produzida, melhor poderá ser a solução proposta para o controle da produção, destinação e reciclagem desses materiais.

Contudo, a quantificação pode apresentar desvios significativos em relação a realidade devido a heterogeneidade dos volumes gerados de RCC, além de

problemas na confiabilidade dos dados coletados nos canteiros, dentre outros fatores. No entanto é possível prever um índice aproximado deste volume, mesmo que estes possam apresentar desvios de até 35% de discrepância conforme exposto na pesquisa de Mañà I Reixach et al. (2000), na Espanha. Nesse aspecto, é importante que os valores de referência continuem sendo corrigidos à medida que sejam disponibilizados meios para verificar a produção dos RCC.

Ainda assim, os indicadores de geração podem colaborar para o entendimento e o reconhecimento dos fatores que aumentam o índice de consumo presentes nas composições unitárias de referência dos orçamentos das obras. Pois, conhecendo-se os fatores que influenciam na quantidade de serviço por unidade de área podem-se definir diretrizes de projeto que induzam a redução do consumo de materiais. Isso pode permitir a prescrição de diretrizes de projeto mais favoráveis à sustentabilidade (SOUZA; DEANA, 2007).

#### **2.1.4 Métodos de quantificação de RCC**

Nesse sentido, diferentes autores apresentaram ao longo dos anos métodos para a quantificação dos resíduos de construção civil no Brasil e no mundo. Suas pesquisas diferenciam-se quanto à etapa de construção ou tipo de construção que buscaram quantificar, unidades dos indicadores finais ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ,  $\text{m}^3/\text{m}^2$  ou %) e complexidade dos métodos estudados.

Nos Estados Unidos, mais especificamente na Flórida, destaca-se a pesquisa de Cochran et al. (2007), que identificou o percentual por tipo de material disposto nos volumes de resíduos de construção civil. Os autores reforçam que o tipo de estrutura e/ou método construtivo impacta na estimativa, assim como se o volume de resíduo é originado a partir de construções novas, demolições ou reformas de empreendimentos residenciais ou não residenciais. O peso médio de resíduos para uma edificação com estrutura em bloco de concreto é de aproximadamente  $44 \text{ kg}/\text{m}^2$ , e é mais do dobro do que de edificações com estrutura em madeira que gira em torno de  $21 \text{ kg}/\text{m}^2$ .

Na Espanha, Sáez et al. (2012), desenvolveu um novo método que não leva em consideração apenas a área construída de projeto. O modelo desenvolvido pelos

autores considera duas variáveis, número de edificações e área total do piso e apresenta equações para quantificar cada tipo de resíduo gerado.

Nesse estudo foram levadas em consideração as categorias estabelecidas pelo catálogo europeu de resíduos para cada uma das 13 (treze) etapas da construção também previstas pelo autor. Além disso, os autores basearam-se na quantificação em peso e volume do banco de dados do Instituto de Tecnologia da Catalunha. Neste modelo três indicadores foram determinados: o primeiro permite a estimativa do volume do total de RCC gerado na construção, o segundo possibilita uma estimativa de cada tipo de RCC gerado no local e o terceiro relaciona o volume ( $m^3$ ) de RCC gerado por fase de construção para a área total construída ( $m^2$ ).

Katz e Baum (2011), pesquisadores de Israel, elaboraram um modelo baseado nos resultados de uma pesquisa de campo em que foram monitorados 10 (dez) canteiros de edifícios residenciais em construção. Com base nos dados coletados e no modelo formulado, os autores concluem que em torno de dois terços da quantidade de resíduo se acumulam durante o último terço do tempo de construção.

Por outro lado, quantidades de resíduos relativamente pequenas se acumulam nos estágios iniciais das obras de construção e nesses estágios, os resíduos são caracterizados por quantidades relativamente grandes de material reciclável, como resíduos de concreto, blocos e aço. No final das construções estudadas, as quantidades totais de resíduos aumentam, mas a parcela de material reciclável diminui devido ao aumento das quantidades de embalagens. A quantidade estimada de resíduos pelo modelo de Katz e Baum (2011) é de  $0,20 m^3/m^2$  para construção de edificações residenciais.

No Brasil, um dos principais expoentes na pesquisa sobre RCC é Pinto (1999), que identificou a massa estimada para edificações com processos convencionais que é de  $150 kg/m^2$  construído. O intuito da pesquisa deste autor é propor uma metodologia que ajude a entender o modo como os resíduos de construção civil e demolição estão sendo geridos. Este considera que a geração de resíduos tem 3 (três) pilares principais: o primeiro é a quantidade de resíduos oriundos de edificações novas; o segundo é a quantidade de resíduos provenientes de reformas e o terceiro, as ampliações e demolições executadas forma regular e a

quantidade de resíduos removidos pelo município em virtude de deposições irregulares.

Segundo Pinto (1999), para que se possa realizar um estudo que busque estimar a geração de resíduos em construções novas é necessário que se realize uma verificação dos registros de aprovação de projetos junto à prefeitura municipal e que estejam incluídas suas respectivas áreas construídas. A respeito do valor de área licenciada no município em um período específico é necessário que seja obtido um indicador estatístico, que se embasa em apuramento de dados provenientes de estudos em diversas regiões do território nacional. O autor avaliou que é ínfimo o percentual de projetos aprovados que não são levados à concretização.

Para mais, a metodologia de Dias (2013) trata de um modelo estatístico para estimar a quantificação da geração de RCC em obras residenciais verticais, considerando características específicas de 20 (vinte) obras de 10 (dez) construtoras atuantes na região metropolitana de Porto Alegre-RS, investigando a influência do projeto e do sistema de produção. Para isso foi usada a ferramenta de análise estatística regressão linear múltipla.

Como resultado foi gerado um modelo estatístico, formado pela variável dependente (estimativa da quantidade de resíduo a ser gerada) e variáveis independentes relativas ao projeto (área do pavimento tipo, relação entre o número de pavimentos tipos e o número total de pavimentos e Índice econômico de compacidade) e ao sistema de produção (sistema construtivo e reaproveitamento de resíduos no canteiro). O modelo proposto (ver Equação 1) permite explicar 69% da geração de resíduos em obras com características semelhantes. Foi observada melhor aproximação da estimativa realizada pelo modelo proposto quando comparado a algumas estimativas da literatura.

$$VR = 5202,886 + (5138,519xTT) + (1,411xATP) + (22,968xleC) + (375,155xSP) + (-783,296xRR) + \varepsilon \quad [1]$$

Onde:

VR = Volume total de resíduos

T/T = Tipo/ total (resultado da divisão no número de pavimentos tipo pelo total de pavimentos do edifício).

ATP = Área do pavimento tipo do edifício a construir, em m<sup>2</sup>;

leC = Índice econômico de compacidade;

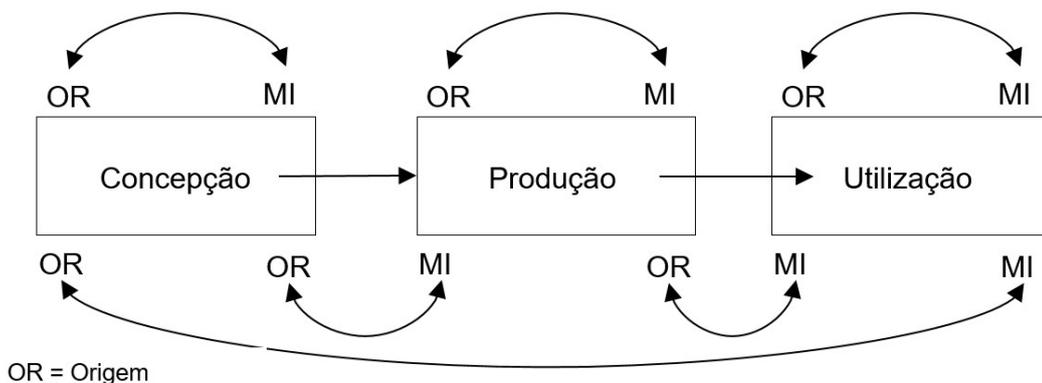
SP = Sistema produtivo (escala de 1 a 3);

R R = Reaproveitamento de resíduos = 0 (não pratica reaproveitamento) ou 1 (pratica o reaproveitamento);

## 2.2 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A GERAÇÃO DE RCC

Os resíduos de construção representam uma das parcelas do excesso de consumo de materiais nos canteiros de obras. Esse excedente de material pode ocorrer devido a furtos, incorporação de materiais a edificação, e produção de entulho (SOUZA et al., 2004). Além disso, a construção civil gera resíduos em praticamente todo o seu ciclo produtivo (Figura 4), isto é, durante a fase de produção de materiais e componentes no canteiro de obras, na etapa de manutenção, na modernização quando da reposição de componentes que atingiram a sua vida útil, na correção e no reparo de falhas na execução (JOHN, 2000).

**Figura 4:** Indicação genérica de possíveis incidências e origem de perdas



OR = Origem

MI = Momento de incidência

Fonte: Souza (2005).

A Figura 4 apresenta a origem das perdas (OR), e sua incidência (MI), isto é, quando as perdas de fato se manifestam, corroborando que a geração de RCC ocorre ao longo do ciclo produtivo da construção.

Além disso, Pinto (1989), aponta que a intensidade das perdas podem estar entre 20 e 30% da massa total de materiais, fato que ocorre a depender do potencial tecnológico do construtor. O autor também quantificou o percentual das perdas, em uma obra, conforme Tabela 1.

**Tabela 1: Percentual das perdas em uma obra**

<b>Materiais</b>	<b>Perda (%)</b>
Concreto usinado	1,5%
Aço	26,0%
Blocos e tijolos	13,0%
Cimento	33,0%
Cal	102,0%
Areia	39,0%

Fonte: Adaptado de Pinto (1989).

Dessa forma, as perdas originam-se de diversas etapas do ciclo de vida construtivo. Quando ocorrem na fase de concepção e de planejamento pode resultar em decisões e execução de peças estruturais desnecessárias. Além disso, na fase de projeto, a escolha de uma tecnologia construtiva equivocada, ou até mesmo um equívoco de projeto como o superdimensionamento de uma estrutura podem ocasionar desperdício e retrabalho. Do mesmo modo, a fase cuja visibilidade das perdas é mais evidente é durante a execução, afinal nessa etapa, as decisões tomadas nas etapas anteriores geram consumo de materiais ao ganhar proporções físicas (TROCA, 2007).

### **2.2.1 Geração de RCC na fase de projeto**

Mesmo que na maioria das vezes as perdas se tornem visíveis na etapa construtiva, estas começam a ocorrer com as decisões tomadas na fase de projeto e uma grande parcela da geração de resíduos está relacionada a erros nesta fase. Segundo Mália (2010), alterações nos projetos durante a fase de execução, inabilidade do projetista, bem como falta de informações para avaliar os métodos construtivos durante a fase de concepção são os principais fatores para a produção de resíduos de construção.

Ainda durante a fase de projeto devem ser destacados os fatores que corroboram no aumento do volume de RCC (Tabela 2):

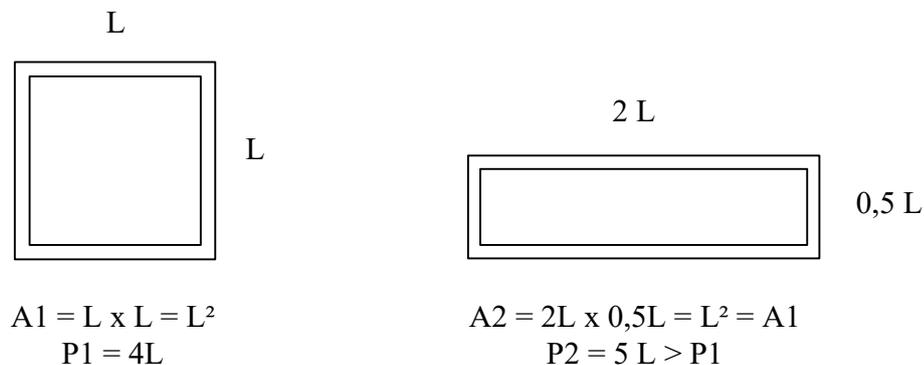
**Tabela 2:** Fontes e causas de desperdícios na construção na fase de projeto

Falta de atenção da coordenação dimensional dos produtos;
Alterações realizadas no projeto durante o decorrer do trabalho;
Inexperiência do executor (engenheiro ou arquiteto durante o decorrer dos trabalhos) na sequência e método de produção;
Falta de atenção aos tamanhos e padrões existentes no mercado;
Falta de conhecimento do executor quanto a produtos alternativos e novas metodologias de execução;
Falta de informação nos projetos (pranchas de projeto);
Erros na contratação dos serviços;
Contratação incompleta no início da execução dos projetos;
Seleção de produtos de pouca qualidade;

Fonte: Adaptado de Bossink e Brouwers (1996)

Para mais, Osmani, Glass e Price (2008), observam que em sua pesquisa que na fase de concepção, a falta de interesse dos clientes na redução dos RCC é a principal barreira que impede a redução de resíduos de projeto. Além disso, resíduos aceitos como "inevitáveis" e poucas responsabilidades individuais sustentáveis dos envolvidos são definidas nesta etapa, e também foram relatadas como obstáculos mais significativos para a redução de resíduos, seguido pela falta de treinamento da mão de obra.

Durante o processo de projeto, ou de concepção das ideias de uma edificação, mesmo que não haja definição concreta da quantidade de resíduo a ser gerada, afinal a produção está em um campo teórico, deve existir uma expectativa de taxa de geração de RCC por metro quadrado, segundo Souza e Deana (2007). A Figura 5 abaixo mostra a influência da compacidade na quantidade de revestimento externo por unidade de área. O volume de argamassa e gerado acompanha a quantidade de revestimento externo para atender o projeto.

**Figura 5:** Influência da Compacidade em projetos com a mesma área

Fonte: Souza e Deana (2007)

Ainda que possuam a mesma área ( $A_1 = A_2$ ), o projeto com forma retangular resulta em maior área de fachada, pois seu perímetro é maior, implicando em maior extensão a ser revestida externamente, eventualmente em maior consumo de argamassa.

Um índice importante, pois leva em consideração a forma da edificação, é o índice de compacidade, definido por Mascaró (2010), como a relação entre o perímetro do projeto (externo) e o perímetro de um círculo com área semelhante à do projeto, expressa em percentual. Haja vista a relação do índice de compacidade com o custo do projeto, estabelecida por Mascaró (2010), entende-se que é possível relacionar a forma da edificação com a geração de resíduos, tendo em vista a variação do consumo dos materiais, dessa forma, o autor propôs adiante uma atualização do índice, que se tornou Índice econômico de compacidade (IeC). Este levará em consideração o número de arestas e a presença de curvas nas paredes externas.

Mascaró (2010), relaciona o perímetro do projeto ao perímetro de um círculo através do índice de compacidade:

$$I_c = \frac{P_c}{P_p} \cdot 100 \quad [2]$$

Onde:

I<sub>c</sub>: índice de compacidade

P<sub>c</sub>: perímetro de um círculo de área igual à área do projeto

P<sub>p</sub>: perímetro das paredes exteriores do projeto

Em seguida o autor adapta matematicamente a equação anterior:

$$I_c = \frac{2\sqrt{A_p \cdot \pi}}{P_p} \cdot 100 \quad [3]$$

Onde:

I<sub>c</sub>: índice de compacidade

A<sub>p</sub>: superfície do projeto

P<sub>p</sub>: perímetro das paredes externas do projeto

Além disso, o autor considera que a formula necessita do acréscimo do perímetro econômico de projeto (Fórmula 4), pois leva em consideração o fato das fachadas curvas serem mais dispendiosas que as retas e que cada aresta custa meio metro a mais, e então adota um adicional de 50%, portanto propõe:

$$P_{ep} = P_{pr} + 1,5 P_{pc} + \frac{nA}{2} \quad [4]$$

Sendo que:

$P_{ep}$ : perímetro econômico do projeto

$P_{pr}$ : perímetro das paredes exteriores retas

$P_{pc}$ : perímetro das paredes exteriores curvas

$nA$ : número de arestas das fachadas

Dessa forma, incorporando o perímetro econômico na equação do índice de compacidade, tem-se o Índice Econômico de Compacidade (IeC):

$$I_{ec} = \frac{2 \cdot \sqrt{A_p \cdot \pi}}{P_{ep}} \times 100 \quad [5]$$

Onde:

IeC: índice econômico de compacidade

$A_p$ : superfície do projeto

$P_{ep}$ : perímetro econômico do projeto

Matematicamente o maior índice de compacidade é de 100% para o círculo, e para o quadrado é de 88,6%, sem considerar as curvas e as arestas. Portanto quanto maior este índice, menores serão os custos (MASCARÓ, 2010).

Dessa forma, devido ao processo de projeto ser impactante na geração de resíduos, identificar alternativas para reduzir a geração desses resíduos se torna uma alternativa seriamente necessária.

Osmani, Glass e Price (2008), apontam que durante a fase de projeto, os arquitetos podem sugerir materiais de construção recicláveis ou reutilizáveis através da escolha do sistema estrutural, dos tipos de componentes e também de suas conexões. No entanto, ainda existe uma certa resistência em sugerir materiais reciclados em projeto, devido a preocupações relacionadas a propriedades destes

materiais. Os autores observam ainda que o incentivo financeiro, e pressão legislativa são vistos como os principais incentivos que poderiam ter um impacto importante nas práticas de redução de resíduos de projeto.

### **2.2.2 Geração de RCC durante o processo produtivo**

Durante a execução, existem várias possibilidades de perdas. Pode ocorrer desvios na entrega da quantidade do material em relação a quantidade solicitada, ou durante o transporte do material. Nesse caso o material pode ser deixado pelo caminho, até mesmo ser perdido pelo tempo de transporte aumentado, caso dos concretos. Também pode ocorrer equívocos quanto ao traço correto da argamassa, ou do concreto produzido no canteiro bem como sobreconsumos na dosagem. O armazenamento de materiais como o gesso e cimento, pode ser inadequado, acarretando em endurecimento e empedramento do material (AGOPYAN et al.,1998).

Os materiais são originados de recursos naturais não renováveis, e há consumo destes para que as atividades possam ocorrer. Durante qualquer processo produtivo a geração de resíduos é inevitável, e caso medidas para tratamento e destinação desse material não sejam tomadas podem acarretar em problemas graves à gestão pública, onde se destacam o esgotamento precoce de áreas de disposição, a degradação da flora e da fauna, e, conseqüentemente, prejuízos aos cofres públicos (GONÇALVES, 2013).

Conforme Souza e Deana (2007), é na etapa de produção que todo o material que irá constituir o produto concebido é demandado. É necessário ressaltar que é de comum acordo entre autores, que é nesta fase que se associam as reclamações quanto a se ter gasto mais material que o esperado e onde surgem problemas com resíduos gerados. Erros durante a produção podem ser, responsáveis por aumentar o consumo para além do já determinado pelo projeto.

Soibelman (1993) ressalta que entre os materiais da construção, a argamassa é o que apresenta, em média, o maior índice de perdas na construção, e conforme observa-se na Tabela 3 representa participação de 63% na composição média dos Entulhos de obras no país.

Ademais, no processo de revestimento argamassado, os principais tipos de perdas identificadas por Agopyan et al. (1998) são: ruptura de sacos; dosagem inadequada dos materiais na produção da argamassa, transporte inadequado, aplicação que pode resultar no entulho pelo endurecimento da argamassa que cai no chão e a espessura excessiva do revestimento.

**Tabela 3:** Composição Média dos Entulhos de Obras no Brasil

Argamassa	63%
Concreto e blocos	29%
Outros	7%
Orgânicos	1%
Total	100%

Fonte: Monteiro et al. (2001).

Nesse contexto, Mália (2010), aponta que retrabalho e mão de obra não qualificadas também são vistos como fatores determinantes para a produção de RCC. Dessa forma, a troca de informações flexíveis durante o processo construtivo, aliado a comunicação eficiente são necessárias e urgentes ao longo da construção, e podem ser adotadas como medidas para evitar o desperdício.

### 2.2.3 As perdas enquanto parte do consumo dos materiais

Souza e Deana (2007), assinalam que o consumo de materiais é devido à quantidade solicitada pela etapa ou atividade e também pela totalidade de material exigida para o empreendimento de forma integral. Nesse contexto, as perdas estão inseridas no montante de insumos utilizados e representam tudo o que foi utilizado, mas que estaria acima do realmente necessário.

Assim, da mesma forma que ocorre no consumo, as perdas podem estar relacionadas às etapas de concepção, produção e utilização do empreendimento. Os autores também ressaltam que se tem constatado que a perda média de materiais durante o processo construtivo está por volta de 25% e o percentual da perda de materiais, removidos como entulho, pode ser significativa em relação à perda total.

Souza et al. (2004), apontam que a perda pode ser calculada da seguinte forma:

$$Perda (\%) = \left[ \frac{QMR - QMT}{QMT} \times 100 \right] \quad [6]$$

QMT = quantidade de material teoricamente necessária

QMR = quantidade de material realmente utilizada

Nesse cenário, Souza (2005), destaca algumas considerações acerca das perdas:

- a) As perdas físicas encontradas nos diversos trabalhos, sob as várias naturezas, são bastante relevantes;
- b) Há uma variação expressiva das perdas, de uma obra para outra, abrindo um grande intervalo de resultados;
- c) Os materiais básicos, especialmente os que são processados em obra, registram os maiores valores de perdas;
- d) Os materiais aplicados na estrutura apresentam valores menores de perdas quando comparados aos revestimentos – efeito justificado talvez por falhas nos subsistemas anteriores e que são corrigidas no revestimento;
- e) A execução dos revestimentos registra grandes perdas de argamassa;
- f) Os sistemas prediais, são marcados por perdas não desprezíveis;
- g) A detecção das perdas no nível dos serviços permite uma gestão mais eficaz do que se avaliada ao nível da obra.

Por fim, o autor ressalta que mesmo que as perdas sejam inerentes aos processos de produção, é necessário distinguir a fração considerada inevitável, dentro do contexto vigente, daquela viável de ser eliminada, intitulada desperdício.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

#### 3.1 DELINEAMENTO DA PEQUISA

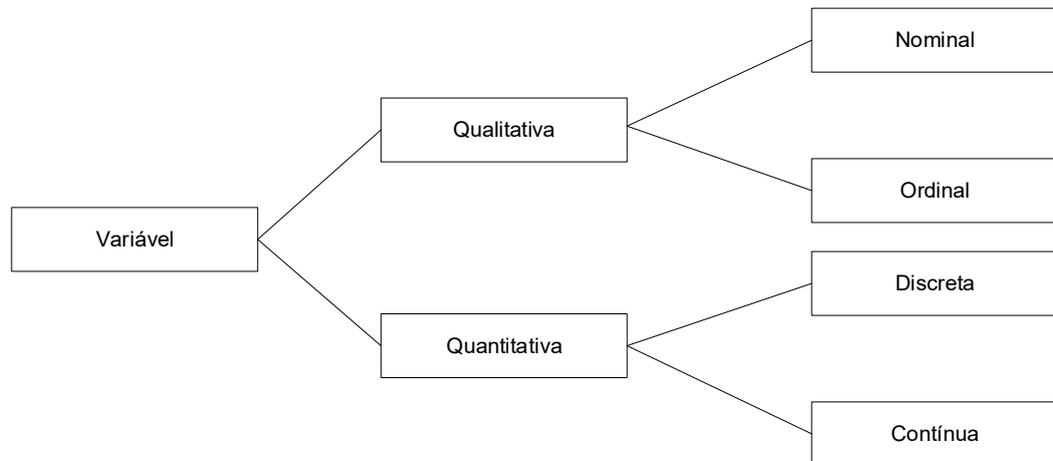
Neste trabalho aplica-se o método desenvolvido por Dias (2013) para estimar a quantidade de resíduos gerada na produção de obras verticais novas, considerando o contexto regional e partindo de características arquitetônicas e de produção pré-determinadas no método da autora supracitada, utilizando-se da alternativa estatística regressão linear múltipla para constituição do modelo adaptado a região de estudo.

A abordagem deste trabalho baseia-se na metodologia de investigação explanada por Yin (2001), quando este se refere a um estudo de caso como uma situação única que apresenta mais variáveis de interesse do que dados. Dessa forma, a metodologia é enraizada em muitas evidências como fonte de pesquisa. Essa metodologia, apresenta proposições teóricas que conduzem a própria coleta e análise de dados.

Este autor também ressalta que os estudos de caso não generalizam seus resultados, e sim priorizam uma perspectiva mais aprofundada do contexto a que se referem, e mesmo que não sejam genéricas suas conclusões devem ser aplicáveis a outros contextos possibilitando assim, uma transmissão do conhecimento. Isso se dá através da possibilidade de manifestações teóricas oriundas desse tipo de pesquisa.

As evidências desta pesquisa são consideradas quantitativas e qualitativas, as variáveis qualitativas são identificadas como nominais e as quantitativas como contínuas (Figura 6). Este estudo caracteriza-se como estudo de casos múltiplos, e segundo Gil (2002), de uma forma geral a situação de casos múltiplos resulta em uma análise de evidências de contextos distintos, o que pode contribuir para uma pesquisa com qualidade volumosa. No entanto esse tipo de pesquisa requer uma metodologia mais apurada e mais tempo para coleta e análise de dados, pois geralmente é necessário a reaplicação do método para cada situação investigada.

**Figura 6:** Classificação de uma variável



Fonte: adaptado de Morettin e Bussab (2004).

Para análise dos dados investigados nesta pesquisa utilizou-se a regressão linear múltipla como ferramenta estatística. A análise de regressão linear múltipla se aplica quando há mais de um regressor (MONTGOMERY, RUNGER, 2003), ou seja, quando há uma única variável dependente, todavia, duas ou mais variáveis independentes (STEVENSON, 2001), tendo em vista descrever um sistema de forma a identificar padrões de similaridade matemáticos entre as variáveis independentes e a variável dependente.

Dessa forma, esta pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas, conforme descrito a seguir:

(a) 1ª Etapa: Nesta fase foi realizada a revisão bibliográfica para fundamentar a análise da situação do gerenciamento dos resíduos de construção civil a nível nacional e local;

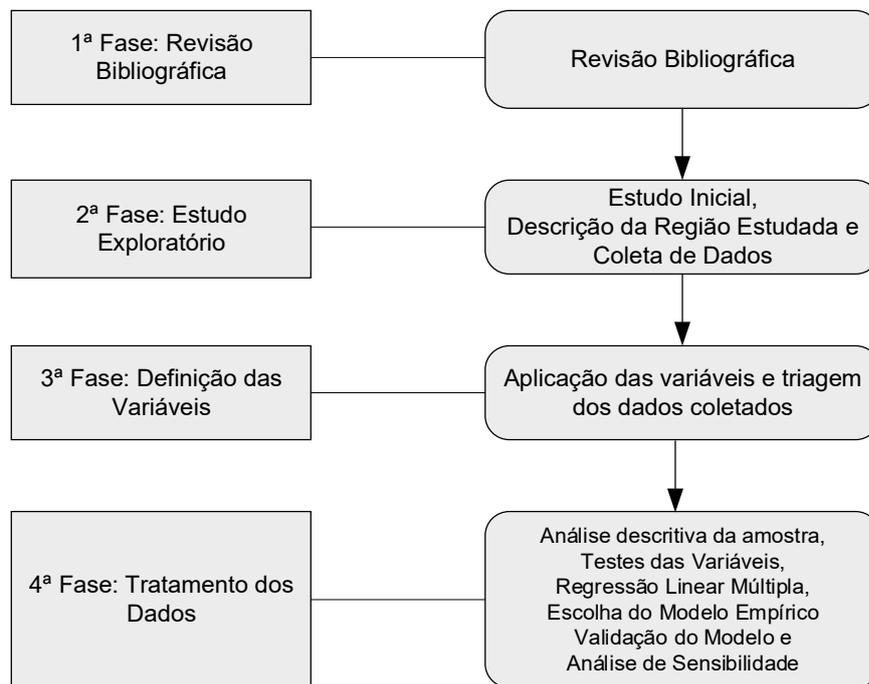
(b) 2ª Etapa: Nesta etapa buscou-se fazer um estudo exploratório sobre o tema investigado denominado “estudo inicial”. Nesta etapa fez-se uma descrição da região estudada e os canteiros de empresas alvos da pesquisa foram visitados com intuito de visualizar aspectos de produção e situação dos resíduos de construção gerados nas obras. Posteriormente procedeu-se com a etapa de coletas de dados através de *surveys*.

(c) 3ª Etapa: Neste momento, efetuou-se a aplicação das variáveis dependente e independentes e foi feita a triagem dos dados da região de estudo coletados para a execução da regressão linear múltipla;

(d) 4ª Etapa: nesta última fase foi realizada a análise estatística dos dados. Esta fase inclui as subetapas: análise descritiva da amostra, testes das variáveis dependentes e independentes, regressão linear múltipla e escolha do modelo empírico, validação do modelo e análise de sensibilidade.

Por fim, estas etapas podem ser mais bem visualizadas no esquema da Figura 7:

**Figura 7:** Fluxograma do Método de Pesquisa



Fonte: A autora.

### 3.2 ESTUDO EXPLORATÓRIO

Nesta fase foi analisada a situação dos resíduos nas cidades de Belém e Ananindeua, no Estado do Pará, através de visitas a 12 dos canteiros instalados na localidade. Além disso, foram observadas informações sobre o sistema construtivo utilizados nos canteiros, da pré-fabricação de sistemas e estruturas, presença de contêineres nas obras e realização da gestão de resíduos.

### 3.2.1 Estudo inicial

Durante esta etapa, foram realizadas investigações com teor de identificação visual dos processos produtivos e dos níveis de organização dos canteiros, a indicação da quantidade de resíduos foi reunida na etapa de coleta de dados através de questionários.

O levantamento desses dados resultou inicialmente em uma listagem de empresas participantes do processo, conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Descrição das empresas participantes do estudo inicial

<b>Empresa</b>	<b>Tempo de atuação</b>	<b>Segmento</b>	<b>Abrangência</b>
A	38 anos	Edifícios residenciais	Nacional
B	16 anos	Edifícios residenciais e comerciais	Local
C	19 anos	Edifícios residenciais	Local
D	15 anos	Edifícios residenciais e comerciais	Local
E	55 anos	Edifícios residenciais e comerciais	Internacional
F	11 anos	Edifícios residenciais	Nacional
G	12 anos	Edifícios residenciais	Local
H	38 anos	Variados	Local
I	39 anos	Edifícios residenciais	Local
J	18 anos	Edifícios residenciais	Nacional
L	55 anos	Edifícios residenciais e comerciais	Local
M	17 anos	Edifícios residenciais e comerciais	Nacional

Fonte: A autora.

A Tabela 5 dispõe da identificação das empresas investigadas, da área total construída dos empreendimentos, e da etapa construtiva durante o período de visita às obras. Estas características foram verificadas inicialmente para reconhecimento da possível amostra durante o estudo inicial.

**Tabela 5:** Identificação das obras durante o estudo inicial

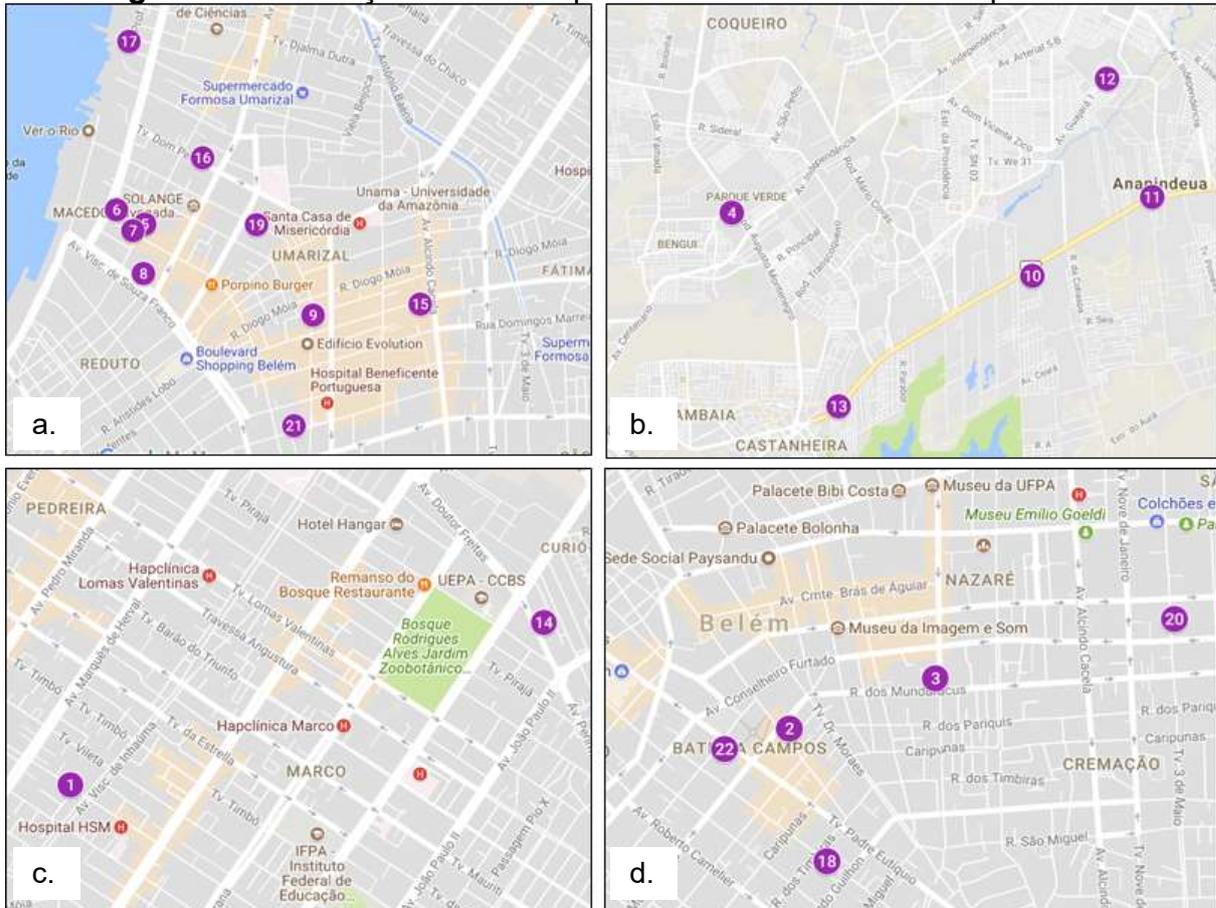
<b>Obra</b>	<b>Empresa</b>	<b>Área Total</b>	<b>Etapas de Execução</b>
T1	A	20.542,02	Acabamento
T2	B	8.375,49	Estrutura e Alvenaria
T3	C	12.347,91	Acabamento
T4	D	18.877,59	Estrutura e Alvenaria
T5	E	29.766,18	Acabamento
T6	E	40.691,34	Acabamento
T7	E	30.718,78	Acabamento
T8	E	18.079,21	Acabamento
T9	E	14.831,00	Estrutura e Alvenaria
T10	F	42.000,00	Acabamento
T11	F	52.445,00	Estrutura e Alvenaria
T12	F	35.890,00	Acabamento
T13	F	25.320,00	Estrutura e Alvenaria
T14	G	6.972,23	Estrutura e Alvenaria
T15	H	15.303,61	Acabamento
T16	H	15.023,38	Acabamento
T17	H	22.667,32	Acabamento
T18	I	8.605,74	Acabamento
T19	J	10.919,69	Estrutura e Alvenaria
T20	L	14.790,55	Acabamento
T21	M	24.000,00	Acabamento
T22	B	16.732,00	Estrutura e Alvenaria

Fonte: A autora.

### 3.2.2 Localização das obras

A localização das obras investigadas está disposta na Figura 8. Observa-se que em torno de 68% das obras investigadas estão situadas nos bairros Umarizal, Batista Campos e Nazaré, consideradas áreas centrais da cidade de Belém. Ainda, 18% da amostra encontra-se nos bairros Marco e Parque verde, potenciais setores de construção e renovação da especulação imobiliária. E 14% das obras está situada na cidade de Ananindeua, localizada na Região Metropolitana de Belém (RMB).

**Figura 8:** Localização das obras pretendidas no estudo inicial por bairro



a. Setor Umarizal e Reduto. b. Setor Parque Verde, Castanheira e centro de Ananindeua. c. Setor Marco e Curio-Utinga. d. Setor Batista Campos, Nazaré e Cremação. Fonte: Google Maps (2017).

Além disso, foi realizada uma análise paralela sobre a exigência de projetos e implantação de planos de resíduos sólidos requeridos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, bem como se as construtoras investigadas estão colocando tais procedimentos em prática. Tal investigação será elucidada no item 4.1 deste trabalho.

### 3.2.3 Levantamento de dados

Essa etapa da investigação tem intuito de obter as informações acerca da geração de resíduos produzidos pelas empresas durante o período de construção das obras.

Gil (2002) afirma que, no que se refere à coleta de dados, o estudo de caso é o mais completo de todos os métodos, afinal, para obtenção dos dados necessários

à pesquisa vale qualquer esforço, pois se for preciso podem ser utilizados como meios, a entrevistas até mesmo ter acesso a documentos.

Desta forma, para o cumprimento desta etapa do trabalho utilizou-se de questionários online, visitas as obras, entrevistas pessoais, e inclusive acesso direto a informações da empresa, como projetos arquitetônicos e séries históricas de monitoramento de resíduos. Para tanto, em etapa preliminar foram testados formulários online, com alguns dos potenciais entrevistados para obter *feedbacks*, das possíveis dificuldades de obtenção das informações solicitadas e posteriormente, foram aplicados os *surveys* (ANEXO 1).

O processo de coleta dessas informações durou aproximadamente 12 meses, e as visitas ocorreram bimestralmente. Nesta fase foi possível obter dados de geração de resíduos de construção e demolição resultantes de obras de edifícios verticais.

E também como foi observada a interferência da disposição arquitetônica e do método de produção na contribuição para o volume de RCC é substancial a verificação dessa influência das variáveis de projeto e das variáveis de produção na geração de RCC. Estas variáveis ficarão mais claras e serão explicitadas com mais rigor nos sub-itens 3.3.1, 3.3.2 e 3.3.3 que abordam a descrição dessas variáveis.

Inicialmente fez-se um levantamento das possíveis empresas que poderiam participar desta investigação através de bancos de dados públicos, como o site do SINDUSCON-PA (2015), e de contato com empresas conhecidas e parceiras da Universidade Federal do Pará. A partir deste banco de dados, encaminhou-se convite online para 38 empresas construtoras para participação da pesquisa. Destas, algumas construtoras informaram que seus empreendimentos ainda estavam em fases iniciais tendo em vista o longo período das obras até sua conclusão, outras informaram que possuíam empreendimentos cujas informações de resíduos não eram claras ou que não controlavam seus resíduos.

Das instituições que recusaram participação na pesquisa, o principal argumento apresentado foi a ausência de controle da geração de resíduos e dificuldade de acesso à documentação em que esses dados poderiam ser apurados. Outras empresas alegaram que seus dados de resíduos eram confidenciais, e uma parcela mínima justificou a não cooperação afirmando não ter interesse na participação da pesquisa.

Do total de empresas convidadas apenas 12 (doze) empresas aceitaram responder a pesquisa. Destas, 9 (nove) empresas preferiram disponibilizar seus arquivos ao invés de responder o questionário online, aderindo a pesquisa de uma maneira mais informal, que demandasse menos tempo dos entrevistados e a fim de evitar que fosse cansativo e dispendioso para construtora apurar as informações solicitadas. Para estes casos, e tendo em vista o aproveitamento máximo dos dados, foram reunidas as informações necessárias dos documentos fornecidos e muitos dos elementos imprescindíveis para a pesquisa foram extraídos dos projetos.

Para as empresas que não forneceram dados na sua totalidade foi feito levantamento das informações públicas, disponíveis na internet, como número de pavimentos total, número de pavimentos tipo, e até mesmo área construída.

O método da coleta e seleção dos dados, adotado neste trabalho foi desenvolvido por Dias (2013), na região metropolitana de Porto Alegre, no estado Rio Grande do Sul. Neste, foi reconhecida a Variável Dependente, que é a quantidade de resíduo gerada ao final das obras, e a partir dela, foram levantadas as prováveis variáveis independentes, que podem influenciar na geração dos resíduos.

### 3.3 VARIÁVEIS UTILIZADAS NA MODELAGEM

Nesta etapa, foram aproveitadas as variáveis utilizadas na pesquisa original de Dias (2013) para aplicar a análise estatística pretendida na pesquisa. Estas são volume de resíduos gerado (variável dependente) e as variáveis independentes, características de projeto, e características de produção.

#### 3.3.1 Volume de resíduos gerados (variável dependente)

O modelo empírico proposto nesta pesquisa é baseado na obtenção do volume de resíduos, o mais próximo possível da realidade do contexto. Durante a etapa da coleta de dados, os volumes dos resíduos gerados foram informados pelas empresas, em metros cúbicos (m<sup>3</sup>). As caçambas de coleta de entulho nas empresas investigadas, apresentam em geral capacidade para caixas coletoras de 5 m<sup>3</sup>.

Algumas construtoras forneceram documentos de controle da saída desse material, como recibos e relatórios de controle para que esses volumes pudessem ser calculados – exemplo no ANEXO 2. E para obtenção do volume de RCC gerado através da investigação dos recibos e relatórios de controle, foram solicitados orçamentos através de contato telefônico com algumas das empresas de coletas na região estudada.

### 3.3.2 Características arquitetônicas das obras (variáveis independentes)

Por se tratar de uma aplicação as características quantitativas relativas aos projetos arquitetônicos foram as mesmas variáveis independentes apontadas por Dias (2013). Sua forma de obtenção pode ser visualizada no Quadro 2:

**Quadro 2:** Forma de obtenção das variáveis independentes de projeto

Variáveis Independentes obtidas através de projeto	Forma de obtenção
Área total construída (m <sup>2</sup> )	Através de informações disponibilizadas nos questionários online, e dos projetos arquitetônicos cedidos durante a coleta das informações;
Área do pavimento tipo (m <sup>2</sup> )	
Densidade de paredes do pavimento tipo (m/m <sup>2</sup> )	Conferência do perímetro da alvenaria interna e área do pavimento através dos projetos do pavimento tipo;
Índice econômico de compacidade (%)	Esse índice considera o perímetro das paredes externas (retas e curvas) do pavimento tipo, o número de arestas da fachada e pode ser obtido pelas equações 7 e 8.

Fonte: Adaptado de Dias (2013)

A obtenção da variável Índice Econômico de Compacidade (IeC), conforme teoria proposta por Mascaró (2010), descrita no item 2.2.1 deste trabalho, pode ser ilustrada pelas fórmulas 7 e 8 a seguir:

$$Pep = Ppr + 1,5Ppc + \frac{nA}{2} \quad [7]$$

$Ppr$  = perímetro das paredes exteriores retas

$P_{cp}$  = perímetro das paredes exteriores curvas

$nA$  = número e arestas das fachadas

$$I_{ec} = \frac{2\sqrt{A_p\pi}}{P_{ep}} \times 100 \quad [8]$$

$I_{eC}$  = índice econômico de compacidade

$A_p$  = superfície de projeto

$P_{ep}$  = perímetro econômico de projeto

Todas as variáveis descritas acima podem ser chamadas de variáveis contínuas, pois podem assumir qualquer valor em um intervalo contínuo, os dados destas são considerados dados contínuos. Esses tipos de dados são classificados como quantitativos (STEVENSON, 2001).

Para composição da fórmula do  $I_{eC}$  foi considerado o Pavimento Tipo como referência para a superfície de projeto pela relevância deste pavimento no processo produtivo em geral, principalmente pelo *efeito aprendizagem*<sup>1</sup>.

### 3.3.3 Características relacionadas ao sistema de produção (variáveis independentes)

As variáveis referentes ao sistema de produção, qualitativas, são consideradas nominais, pois não são representadas por números. Para aproveitamento desses dados no procedimento estatístico escolhido, estes necessitam serem convertidos em valores numéricos e dispostos em ordem conforme seu desempenho pois são definidas categorias para que esses dados possam se encaixar (DIAS, 2013; STEVENSON, 2001).

Sabe-se que em algumas situações podem ser atribuídos valores numéricos para as qualidades da variável qualitativa para que esta possa ter o comportamento de uma variável quantitativa durante a análise, nesse caso uma variável dicotômica em que só podem ocorrer duas realizações, o sucesso e o fracasso (MORETTIN; BUSSAB, 2004). É o caso do reaproveitamento de resíduos no canteiro.

<sup>1</sup> Segundo Oliveira (1997), em pavimentos ou obras de caráter repetitivo surge um fenômeno característico, denominado *efeito aprendizagem*, que possibilita aumentos significativos de produtividade, por meio da repetição da execução dos serviços neste contexto.

Para a variável “Organização no canteiro” a pontuação foi determinada a partir da percepção visual da pesquisadora, a partir das visitas aos canteiros das empresas estudadas no estudo inicial, não necessariamente da obra participante da amostra. Para a variável Sistema produtivo, a pontuação obedeceu aos critérios pré-determinados por Dias (2013), conforme disposto no Quadro 3.

**Quadro 3:** Forma de obtenção das variáveis independentes relacionadas ao sistema produtivo

<b>Variáveis Independentes relacionadas ao sistema de produção</b>	<b>Crítérios</b>
Reaproveitamento de resíduos no canteiro	Conferiu-se o valor (1) para canteiros em que existe o reaproveitamento e valor (0) onde não ocorre a prática. A resposta solicitada durante os questionários e entrevistas foi “sim” ou “não”.
Organização no canteiro	Para esta variável foi considerada a escala de 1 a 5, e foi considerado 1 aos canteiros com sérios problemas de organização e 5 para os canteiros mais organizados
Sistema produtivo	-Sistema artesanal (1): obras com estrutura em concreto armado moldado no local, alvenaria de vedação sem paginação, alvenaria de divisão interna em tijolos, corte e dobra do aço realizado no canteiro, produção de argamassa no canteiro e poucos equipamentos de transporte na obra
	-Sistema de industrialização intermediário (2): obras com estrutura em concreto armado moldado <i>in loco</i> , alvenaria de vedação sem paginação, alvenaria de divisão interna em tijolos/blocos cerâmicos, corte e dobra do aço industrializados, emprego de argamassa industrializada, utilização de alguns componentes pré-fabricados e alguns equipamentos de transporte na obra. Também são consideradas como sistema produtivo duas obras executadas no sistema construtivo de alvenaria estrutural onde houve emprego de argamassa industrializada, utilização de alguns componentes pré-fabricados e alguns equipamentos de transporte na obra.
	-Sistema construtivo com práticas industrializadas (3): obras com estrutura em concreto armado moldado no local, alvenaria de vedação externa em blocos racionalizados com projeto de paginação, corte e dobra do aço industrializados, emprego de argamassa industrializada, utilização de componentes pré-fabricados, ampla aplicação de equipamentos de transporte na obra e emprego da filosofia <i>Lean Construction</i> .

Fonte: Adaptado de Dias (2013)

### 3.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Para tratamento dos dados, foi utilizada a Regressão Linear Múltipla, pois em geral, a variável dependente, ou de resposta, pode estar relacionada com as variáveis regressoras. Levando em consideração que as variáveis previstas são concernentes à variável de interesse (volume de resíduo gerado), e o seu grau de relacionamento não é conhecido, os modelos de regressão linear múltipla são comumente usados como funções de aproximações (MONTGOMERY, RUNGER, 2003).

O volume de resíduos gerados nas obras foi informado pelas construtoras estudadas, outros foram calculados a partir da capacidade (em volume) dos contêineres das empresas coletoras de resíduo. Foram utilizadas unidades em metro cúbico ( $m^3$ ), pois nem todas as empresas executam a segregação por tipo de material, oportunizando uma quantificação por quilograma, ou tonelada.

Para elaboração das análises necessárias a pesquisa, foi utilizada a ferramenta computacional *IBM SPSS Statistics* na versão 22. Como suporte, utilizou-se o programa MS Excel 2013 para elaboração dos gráficos e tabelas.

Inicialmente foi feita análise descritiva dos dados. Foram observados, os máximos, mínimos, média e foi feita a análise do coeficiente de variação do índice de geração de resíduos.

Em seguida, devido a amostra contar com apenas 22 (vinte e duas) obras, foram feitas verificações de normalidade da variável dependente ( $y$ ) utilizando-se dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, afinal a normalidade é necessária para viabilizar a aplicação da regressão linear pois a análise de regressão supõe que, para cada valor possível de “ $x$ ”, há uma distribuição de “ $y$ ’s” potenciais que segue a lei normal (STEVENSON, 2001). Outras ferramentas utilizadas para a avaliação destes dados são o gráfico *boxplot*, o histograma, o gráfico de probabilidade normal.

Efetou-se também o teste das variáveis independentes em relação à variável dependente, através da análise dos gráficos de dispersão e do grau de explicação entre estas. Além disso, analisou-se também a correlação entre as variáveis independentes, buscando verificar a existência de multicolineariedade.

Posteriormente, executou-se a análise de regressão linear múltipla, e foram testados os modelos buscando uma maior explicação da variável dependente. Para isso, foram consideradas nessa análise de regressão nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Além disso, foram avaliados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e foi feito teste das variáveis explicativas, buscando verificar se estas são consideradas significantes. Para isso, foram excluídas gradativamente as variáveis que apresentaram  $p\text{-valor} > 0,05$ , conforme método utilizado por Fávero et al. (2009), denominado procedimento *backward*<sup>2</sup>. Tal processo foi repetido, até a obtenção de um modelo com maior explicação da variável dependente.

Para analisar o efeito da multicolineariedade, observou-se os Fatores de Inflação da Variância (FIV) de cada coeficiente de regressão observado no modelo final obtido. Segundo Montgomery e Runger (2003), quanto maior for o FIV mais severa a multicolineariedade. Estes autores apontam que por um critério mais conservador, os fatores de inflação da variância não devem exceder 4 (quatro) ou 5 (cinco).

Após a obtenção do modelo, efetuou-se a comparação dos resíduos gerados pelo modelo, com a estimativa de geração de RCC de outros autores brasileiros Pinto (1999), Marques Neto e Shalch (2010) e Dias (2013).

Por fim, efetuou-se a análise de sensibilidade do modelo final. Tal análise visa verificar a variação dos coeficientes parciais de regressão, que elevam ou decrescem as variáveis independentes.

O intuito desta metodologia empírica é propor um modelo em que seja possível inserir valores das variáveis extraídos de projetos e de sistemas de gestão das empresas para obtenção do volume estimado de resíduos de uma edificação vertical. Tal modelo pode ser representado pela Equação 9.

$$Y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1,i} + \hat{\beta}_2 X_{2,i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{k,i} + \varepsilon \quad [9]$$

$Y_i$  = variável dependente para a  $i$ -ésima obra;

$X_i$  = variáveis independentes para a  $i$ -ésima obra;

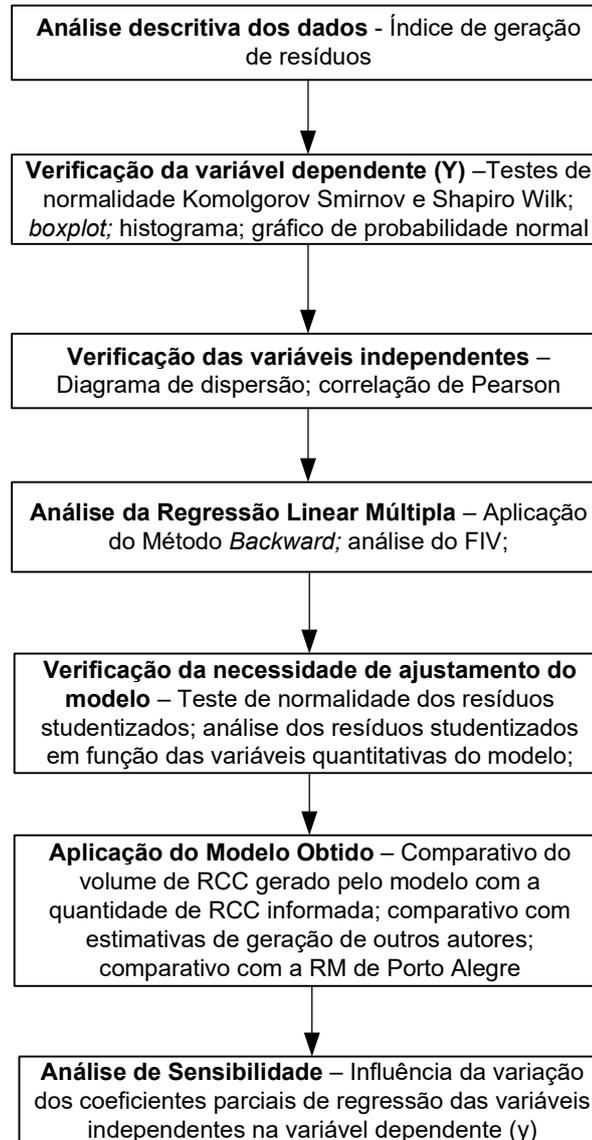
$\hat{\beta}$  = coeficientes parciais de regressão;

$\varepsilon$  = erro

<sup>2</sup> Segundo Fávero et al. (2009), no procedimento *backward* todas as variáveis são incluídas inicialmente no modelo, e retiradas passo a passo em função da análise da significância adotada.

Para uma melhor visualização do tratamento estatístico dos dados, foi realizada uma representação esquemática, conforme Figura 9.

**Figura 9:** Esquema do método de tratamento dos dados da pesquisa



Fonte: A Autora.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta etapa serão analisados e discutidos os resultados de forma a explorar o emprego da metodologia considerada para a pesquisa, resultando na apresentação do modelo empírico proposto para a geração dos RCC. Tal modelo foi obtido através das amostras coletadas nas etapas iniciais de investigação das obras.

### 4.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS OBSERVADO NOS CANTEIROS VISITADOS

A coleta de dados desse trabalho foi realizada ao longo do ano de 2015, e abrange 22 (vinte e dois) empreendimentos verticais, concluídos, entregues no período de 2010 a 2015, localizados nas cidades de Belém e Ananindeua, Estado do Pará. As Figuras 10 e 11 mostram fotografias das obras T2 e T22 tiradas durante o período do estudo inicial.

Nesta etapa do estudo, foi feita uma aferição do sistema de produção utilizado pelas empresas investigadas quanto ao tipo de estrutura e de vedação aplicados. Além disso, foi verificado o nível de organização do canteiro, a existência de sistemas de reaproveitamento de resíduos e de segregação de RCC.

**Figura 10:** Fachada da obra T2



Fonte: A autora.

**Figura 11:** Fachada da obra T22

Fonte: A autora.

As edificações apresentadas nesse trabalho possuem estrutura de concreto moldado in loco e alvenaria em tijolos ou blocos cerâmicos, com acabamento interno em reboco paulista (20 obras) ou estrutura em blocos de concreto estrutural com reboco de gesso (2 obras). A disposição geral é apresentada na Tabela 6.

**Tabela 6:** Método Construtivo utilizado

Obra	Empresa	Nº Pav.	Área Pav. Tipo	Estrutura	Vedação
T1	A	35	516,09	Concreto armado	Tijolos
T2	B	25	289,42	Concreto armado	Tijolos
T3	C	26	374,97	Concreto armado	Tijolos
T4	D	14	1522,80	Concreto armado	Tijolos
T5	E	26	890,49	Concreto armado	Blocos cerâmicos
T6	E	35	277,36	Concreto armado	Tijolos
T7	E	35	702,17	Concreto armado	Blocos cerâmicos
T8	E	30	466,54	Concreto armado	Tijolos
T9	E	29	485,84	Concreto armado	Tijolos
T10	F	12	554,17	Concreto armado	Tijolos
T11	F	15	553,59	Concreto armado	Blocos cerâmicos
T12	F	6	236,77	Alvenaria Estrutural	
T13	F	14	572,71	Alvenaria Estrutural	
T14	G	18	348,91	Concreto armado	Blocos cerâmicos

Continuação da Tabela 6

<b>Obra</b>	<b>Empresa</b>	<b>Nº Pav.</b>	<b>Área Pav. Tipo</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Vedação</b>
T15	H	32	388,66	Concreto armado	Blocos cerâmicos
T16	H	28	445,71	Concreto armado	Tijolos
T17	H	26	861,27	Concreto armado	Tijolos
T18	I	33	323,12	Concreto armado	Tijolos
T19	J	35	241,40	Concreto armado	Tijolos
T20	L	28	391,77	Concreto armado	Tijolos
T21	M	30	450,15	Concreto armado	Tijolos
T22	B	26	483,44	Concreto armado	Tijolos

Fonte: A autora.

No que se refere ao sistema estrutural, observou-se uma preferência das empresas locais na utilização de um tipo estrutural convencional, utilizando formas de madeira compensada plastificada, escoramentos metálicos, concreto usinado bombeável, e armação cortada e dobrada industrialmente.

Em contrapartida, nas empresas oriundas do Sudeste instaladas na região no período da investigação, nota-se uma tendência a adotar blocos de concreto estrutural, ou blocos cerâmicos, por terem dimensões pré-definidas e influenciarem na produtividade. Ideia muitas vezes direcionada pelo staff local dessas empresas, que preferiu seguir um direcionamento construtivo adotado no Sudeste.

Fato que levou a uma dificuldade na adequação da mão de obra local a esses métodos construtivos, pois no momento da implantação de desses sistemas, a mão de obra não possuía qualificação para tais prerrogativas, e o acesso aos materiais pré-fabricados era concorrido. Além disso, frequentes impedimentos relacionados aos projetistas de paginação das alvenarias estruturais e de blocos proporcionaram um desgaste no uso desses métodos. Todo esse processo pode ter ocasionado uma maior quantidade de perdas, por retrabalho.

Com o passar do tempo, algumas dessas empresas adotaram métodos construtivos em concreto armado convencional e tijolos cerâmicos, em novas obras, em virtude da facilidade de acesso à mão de obra e obtenção do material necessário.

Para uma melhor visualização do sistema estrutural e de alvenaria adotado nas obras T3 e T13 e o sistema de alvenaria e taliscamento utilizado no canteiro T20 observa-se a Figura 12.

**Figura 12:** Sistema Construtivo e de Alvenaria das obras investigadas



a.Sistema Construtivo da obra T3. b.Sistema construtivo da obra T13. c. Sistema de Alvenaria da obra T20 d. Sistema de taliscamento da obra T20. Fonte: A autora.

No que se refere ao nível de organização dos canteiros, foi verificado que apesar de nenhuma obra apresentar um nível de organização 1 (sérios problemas de organização) foram observados depósitos provisórios de RCC ao longo de pontos difusos nas obras, ou até mesmo nos pavimentos que permaneciam em construção denotando um nível de organização considerado mínimo e com poucos aspectos de organização (2 e 3). Tal situação foi verificada em 30% das obras e pode ser exemplificada por meio da Figura 13.

**Figura 13:** Depósitos irregulares de RCC



a.e b. Depósito pontuais de RCC em pavimentos térreo e tipo, em duas das obras investigadas. Fonte: A autora.

Os depósitos irregulares de RCC podem denotar problemas de gestão, retrabalho, além de apresentar sérios riscos à saúde dos trabalhadores. Além de se tornarem depósitos de lixo comum e propiciarem acidentes de trabalho.

Quanto à triagem dos resíduos, apenas seis obras investigadas informaram executar a segregação do RCC. Em quatro obras, os materiais são segregados em uma etapa inicial (madeira, metal, restos de argamassa, e tijolos). Porém, tem a mesma destinação que os materiais não segregados por não serem reaproveitados e nem direcionados a empresas de reciclagem.

Dessa forma, ao serem depositados nos contêineres (Figura 14), retirados pelas empresas especializadas, o material tem o mesmo destino que os demais, os aterros sanitários e lixões da região. Impossibilitando o acesso a esses materiais previamente separados pelas empresas de reciclagem.

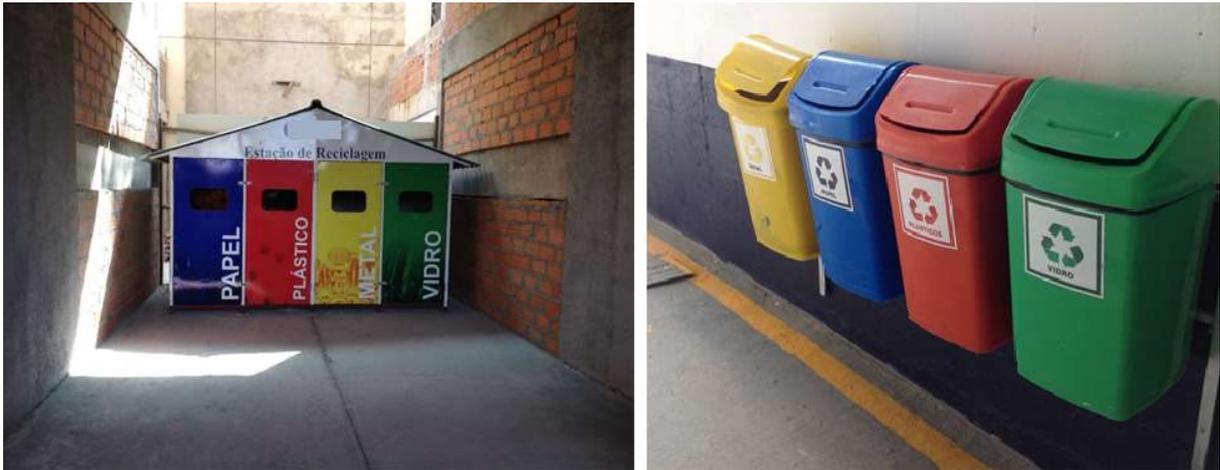
**Figura 14:** Resíduos dispostos em contêineres



a.e b. Entulhos não segregados dispostos em contêineres, em duas das obras investigadas. Fonte: A autora.

Apenas uma das empresas declarou efetivar o reaproveitamento de parte dos resíduos em benfeitorias na própria obra (madeira, concreto, argamassa) e para os outros materiais, foram implantadas uma estação de reciclagem e lixeiras de coleta seletiva (Figura 15). Além disso, a obra T4 foi a única identificada por aplicar e acompanhar o *Sistema 5S*<sup>3</sup> no canteiro.

**Figura 15:** Estação de tratamento e lixeira de coleta seletiva da obra T4



Fonte: A autora.

Além disso, é interessante ressaltar que somente as empresas que receberam a partir de julho 2015 as Licenças Ambientais de instalação e operação foram obrigadas a apresentar o Relatório de Informação Ambiental Anual (RIAA) para que suas licenças fossem renovadas. E através da Súmula Administrativa 12.850/2015 (ANEXO 1) a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belém apresentou um roteiro para elaboração do RIAA, em que sugere uma sessão para a descrição dos seguintes fatores, no que se refere aos resíduos sólidos:

- a) Detalhar a geração de resíduos;
- b) Inventário de resíduos (identificação, quantificação e classificação técnica);
- c) Monitoramento (método, periodicidade e outros);
- d) Destinação e disposição final.

Durante a investigação, foi constatado um certo relaxamento das empresas quanto à aferição exata da quantidade de resíduos geradas, e até mesmo em praticar a segregação dos RCC, alegando dificuldades de gestão, e falta de

<sup>3</sup>Segundo Rovai, Rocco e Franciscato (2015), o Sistema 5S é uma filosofia japonesa que tem dentre seus objetivos manter um ambiente limpo e organizado para a realização das atividades nas organizações.

priorização das metas para reduzir a geração de resíduos em detrimento a outras necessidades como: entregar a obra no prazo, ou aplicar qualidade nos serviços prestados, mesmo que isso cause retrabalho e maior produção de resíduos. Além disso, pode ser entendido que no período anterior à exigência do RIAA para a renovação da licença ambiental havia um abrandamento das exigências e vistorias quanto aos aspectos de resíduos sólidos.

## 4.2 DADOS COLETADOS: COMPOSIÇÃO DA AMOSTRA

Esta seção apresenta a apuração dos dados referentes as variáveis dependentes e independentes coletadas na etapa de levantamento de informações.

### 4.2.1 Variável dependente

Na etapa da coleta dessas informações, os dados foram reunidos de diversas formas, através de pesquisa, informações diretas de empresas, triagem de informações diversas, como recibos de retiradas de entulho (exemplo, no ANEXO 2), e até mesmo cálculos por percentual acumulado financeiro direcionado à coleta de entulho por terceirizados.

Os dados coletados estão dispostos na Tabela 7 e foram convertidos para quantidade aproximada de caixas coletoras (em média apresentam capacidade de 5 m<sup>3</sup>) para uma melhor visualização, além disso dispôs-se também os dados de geração de resíduo total por área construída, para cada empreendimento.

**Tabela 7:** Volume de resíduo gerado

ID	Empresa	Vol. Total de Res.Informado (m <sup>3</sup> )	Nº de caixas coletadas (5 m <sup>3</sup> /und)	Geração de resíduo (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
T1	A	1.588,22	318	0,08
T2	B	4.092,00	819	0,49
T3	C	1.925,00	385	0,16
T4	D	5.320,00	1.064	0,28
T5	E	8.000,00	1.600	0,27
T6	E	12.375,00	2.475	0,30
T7	E	11.450,00	2.290	0,37
T8	E	6.020,00	1.204	0,33
T9	E	5.360,00	1.072	0,36
T10	F	4.660,00	932	0,11

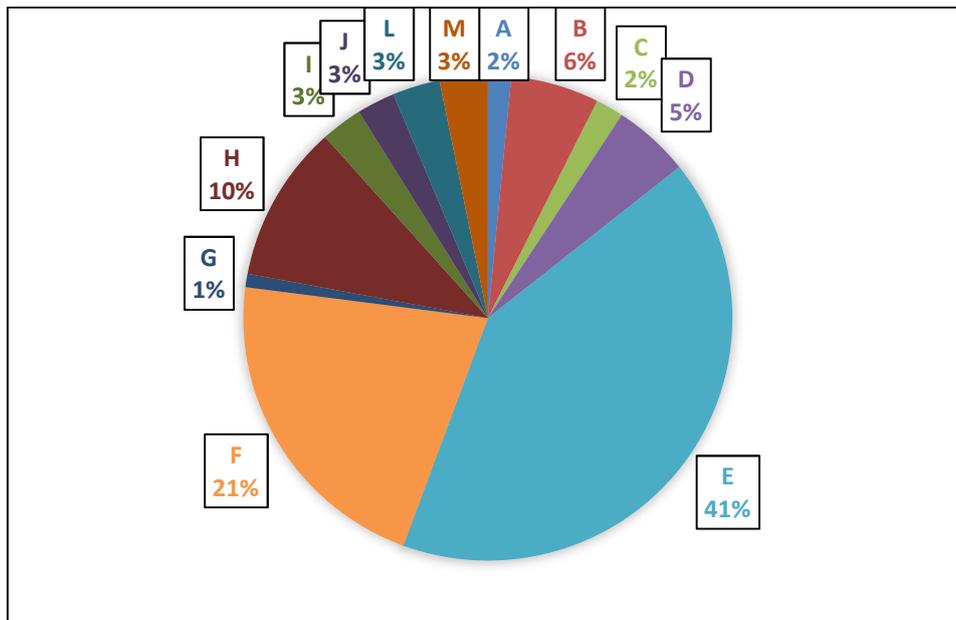
Continuação da Tabela 7

ID	Empresa	Vol. Total de Res.Informado (m <sup>3</sup> )	Nº de caixas coletadas (5 m <sup>3</sup> /und)	Geração de resíduo (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
T11	F	3.365,00	673	0,06
T12	F	9.850,00	1.970	0,27
T13	F	4.510,00	902	0,18
T14	G	925,00	185	0,13
T15	H	4.145,00	829	0,27
T16	H	3.305,00	661	0,22
T17	H	3.520,00	704	0,16
T18	I	2.880,00	576	0,33
T19	J	2.635,00	527	0,24
T20	L	3.279,00	656	0,22
T21	M	3.335,00	667	0,14
T22	B	2.045,00	409	0,12

Fonte: A autora.

É importante destacar o percentual de cada empresa na produção de resíduos no período de 2010 a 2015, no âmbito das 22 obras investigadas. Para isso, foi plotado o gráfico da Figura 16, que apresenta o percentual de resíduos produzido no período pelas empresas estudadas.

**Figura 16:** Percentual de resíduo gerado por empresas estudada (22 obras)

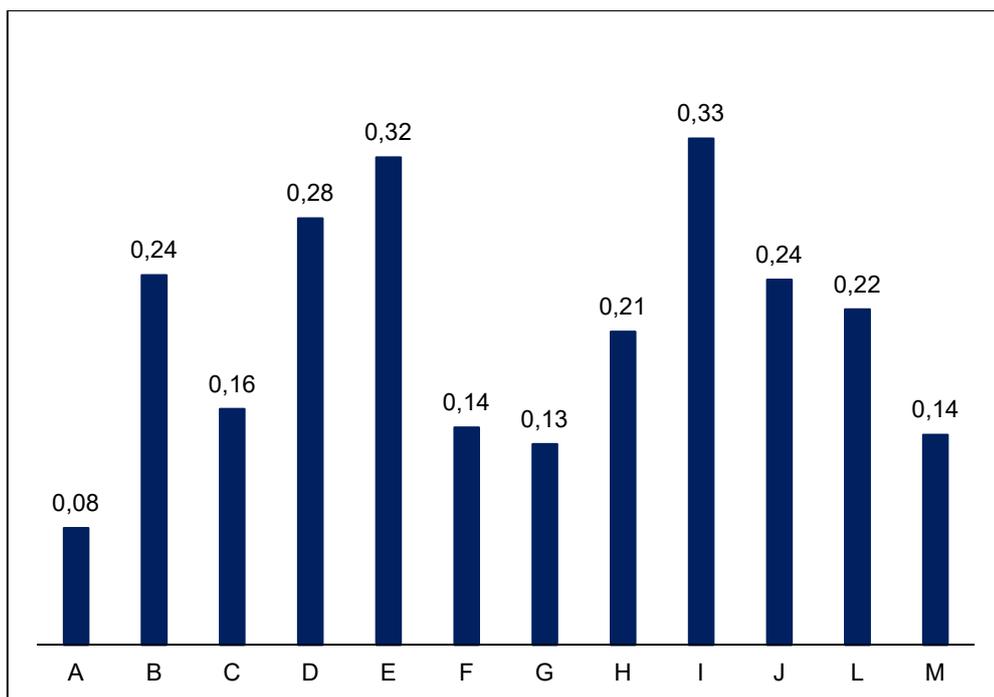


Fonte: A autora

Durante o período de construção das obras estudadas, 2010 a 2015, observa-se que a empresa E contribuiu com 41% do montante de resíduos de construção produzido pelas empresas estudadas. A Empresa E é uma das empresas provenientes do Sudeste que se instalou na região durante o *boom* econômico e promoveu a construção de milhares de unidades habitacionais.

Ao analisar a geração dos resíduos ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ ) por empresa, como disposto na Figura 17, nota-se que a Empresa E apesar de ter produzido o maior percentual de resíduos no período investigado não apresenta o maior índice de geração. A construtora que mais se destaca na produção de RCC por metro quadrado construído é oriunda da região alvo da pesquisa (Empresa I), com geração de  $0,33 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , seguida da Empresa E, com geração de  $0,32 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Em sequência, destaca-se outra construtora regional (empresa D), com índice médio de RCC de  $0,28 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

**Figura 17:** Geração de resíduos por empresa (22 obras)



Fonte: A Autora

Em contrapartida, nota-se que as empresas A e G, sendo a primeira de abrangência nacional e a segunda de origem local, tiveram os menores índices de produção de RCC no período investigado,  $0,08 \text{ m}^3/\text{m}^2$  e  $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$  respectivamente.

#### 4.2.2 Variáveis independentes relacionadas ao projeto

Para uma avaliação dos aspectos arquitetônicos na produção dos RCC, foram consideradas as variáveis área total (m<sup>2</sup>), área do pavimento tipo (m<sup>2</sup>), relação entre pavimento tipo e total de pavimentos (tipo/total), densidade de paredes internas do pavimento tipo (m/m<sup>2</sup>) e índice econômico de compacidade (%). Tais dados por obra são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8:** Variáveis independentes relacionadas ao projeto

Obra	Área Total (m <sup>2</sup> )	Área do tipo (m <sup>2</sup> )	Relação tipo/total	leC	Perímetro de paredes internas	Densidade de paredes
T1	20.542,02	516,089	0,80	39,69	373,06	0,72
T2	8.375,49	289,418	0,80	49,14	90,36	0,31
T3	12.347,91	374,97	0,77	44,93	169,11	0,45
T4	18.877,59	1.522,80	0,64	59,43	316,70	0,21
T5	29.766,18	890,49	0,81	64,51	335,06	0,38
T6	40.691,34	277,36	0,89	47,21	69,46	0,25
T7	30.718,78	702,17	0,89	33,58	239,98	0,34
T8	18.079,21	466,54	0,87	37,69	183,44	0,39
T9	14.831,00	485,843	0,83	44,20	192,24	0,40
T10	42.000,00	554,167	0,83	42,21	255,17	0,46
T11	52.445,00	553,586	0,87	42,30	198,66	0,36
T12	35.890,00	236,774	0,67	64,20	106,89	0,45
T13	25.320,00	572,714	0,86	41,14	258,54	0,45
T14	6.972,23	348,91	0,72	40,74	158,57	0,45
T15	15.303,61	388,66	0,78	43,03	179,22	0,46
T16	15.023,38	445,71	0,64	38,79	201,21	0,45
T17	22.667,32	861,27	0,81	43,13	158,31	0,18
T18	8.605,74	323,12	0,91	47,99	152,14	0,47
T19	10.919,69	241,4	0,86	52,97	98,82	0,41
T20	14.790,55	391,77	0,82	47,13	151,98	0,39
T21	24.000,00	450,15	0,90	40,46	153,67	0,34
T22	16.732,00	483,44	0,85	40,40	180,88	0,37

Fonte: A autora

Além disso, destaca-se a utilização de paredes de gesso acartonado em duas das obras estudadas (T4 e T6) que não foram contabilizadas como perímetro, em virtude da metodologia adotada considerar apenas paredes de alvenaria como

passível de serem contabilizadas. Portanto, estas obras apresentam baixa densidade de paredes internas. Ademais, sabe-se que tal tecnologia pode contribuir na geração de resíduos.

#### 4.2.3 Variáveis independentes relacionadas à produção

As variáveis relacionadas à produção são aquelas que são resultado da gestão dos canteiros estudados, e são descritas como sistema produtivo, organização do canteiro e reaproveitamento dos resíduos. Estas são qualitativas, e foram avaliadas conforme descrito no item 3.3.3 deste trabalho. Os dados referentes à produção para as 22 obras estão presentes na Tabela 9.

**Tabela 9:** Variáveis independentes relacionadas à produção

<b>Obra</b>	<b>Empresa</b>	<b>Sistema Produtivo</b>	<b>Organização do Canteiro</b>	<b>Reaproveitamento dos resíduos em obra</b>
T1	A	2	2	não
T2	B	2	2	não
T3	C	2	4	não
T4	D	3	5	sim
T5	E	3	5	não
T6	E	3	4	não
T7	E	3	4	não
T8	E	3	4	não
T9	E	3	4	não
T10	F	3	4	não
T11	F	3	4	não
T12	F	3	4	não
T13	F	3	4	não
T14	G	1	2	não
T15	H	2	3	não
T16	H	2	3	não
T17	H	2	3	não
T18	I	2	3	não

Continuação da Tabela 9

<b>Obra</b>	<b>Empresa</b>	<b>Sistema Produtivo</b>	<b>Organização do Canteiro</b>	<b>Reaproveitamento dos resíduos em obra</b>
T19	J	2	4	não
T20	L	2	4	não
T21	M	2	4	não
T22	B	2	4	não

Fonte: A Autora

Na tabela acima observa que o sistema produtivo predominante na amostra é do tipo 2, que mescla características de produção industrializada com artesanal. Além disso, quanto ao reaproveitamento de resíduos, somente uma obra apresenta essa característica de gestão. As demais tiveram informações difusas sobre a prática nas obras, e os respondentes à pesquisa não identificaram tal perfil nos canteiros investigados. O que denota que ainda se tem muito a fazer para uma melhoria da gestão de RCC na Região Metropolitana de Belém.

#### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS E DESENVOLVIMENTO DO MODELO EMPÍRICO

Para uma análise inicial dos dados estudados, optou-se por realizar uma investigação descritiva dos dados coletados em antecipação à avaliação da adequabilidade das variáveis à regressão linear múltipla, análise do método e do modelo.

##### 4.3.1 Análise descritiva dos dados

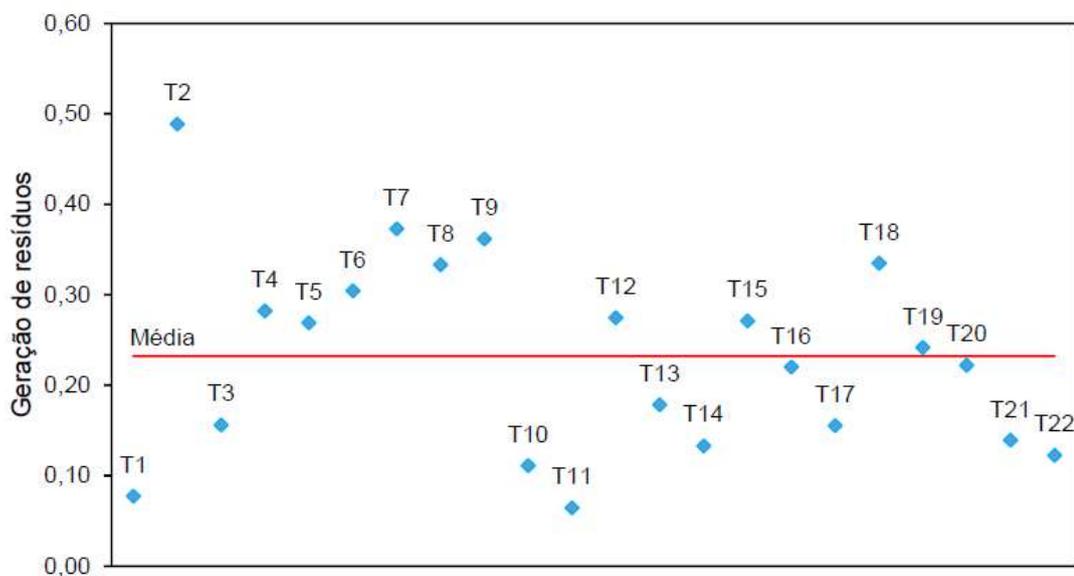
Na análise descritiva dos dados foram avaliadas todas as variáveis pretendidas ao modelo, exceto o reaproveitamento de resíduos por ser uma variável dicotômica. Na Tabela 10, apresentam-se os mínimos, máximos, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados.

**Tabela 10:** Estatística descritiva da amostra

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Nº de pavimentos	22,00	6,00	35,00	25,36	8,51	33,53%
Tipo / Total pav.	22,00	0,64	0,91	0,81	0,08	9,70%
Área total	22,00	6.972,23	52.445,00	22.040,87	12.109,91	54,94%
Área pavimento tipo	22,00	236,77	1.522,80	517,15	285,01	55,11%
leC	22,00	33,58	64,51	45,68	8,15	17,84%
Densidade de paredes internas	22,00	0,18	0,72	0,40	0,11	27,76%
Organização do canteiro	22,00	2,00	5,00	3,64	0,85	23,31%
Sistema produtivo	22,00	1,00	3,00	2,41	0,59	24,50%
Reaproveitamento de resíduos	-	-	-	-	-	-
Volume de RCC (m³)	22,00	925,00	12.375,00	4.753,83	3.088,83	64,98%
Geração média (m³/m²)	22,00	0,06	0,49	0,23	0,11	46,77%

Fonte: A autora

Ao analisar a Tabela 10 observa-se que a geração média de RCC da amostra é 0,23 m³/m². Ao comparar essa média com o índice de geração de cada obra investigada obtêm-se o gráfico da Figura 18, onde a linha vermelha é a média obtida para os 22 dados coletados.

**Figura 18:** Disposição da geração dos resíduos em torno da média

Fonte: A autora

Ainda ao analisar a Tabela 10 das características descritivas e Figura 18, nota-se que para a geração de resíduos tem-se o mínimo de 0,06 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> e o máximo de 0,49 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> nas obras T11 e T2 respectivamente. Tal coeficiente de variação de 46,77% denota uma heterogeneidade considerável em torno do índice médio de geração das obras estudadas. Fator que corrobora na necessidade de adicionar outras variáveis para estimar a geração dos resíduos, objetivo deste estudo.

#### 4.3.2 Análise da variável dependente (Y)

Para a análise da normalidade da variável dependente (Y) foram aplicados os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, buscando satisfazer a aplicação do método de regressão linear múltipla. No teste de normalidade a hipótese nula é rejeitada se o p-valor < 0,05. E para que os critérios para aplicação da regressão sejam satisfeitos, é necessário que a amostra da variável dependente seja considerada “normal”.

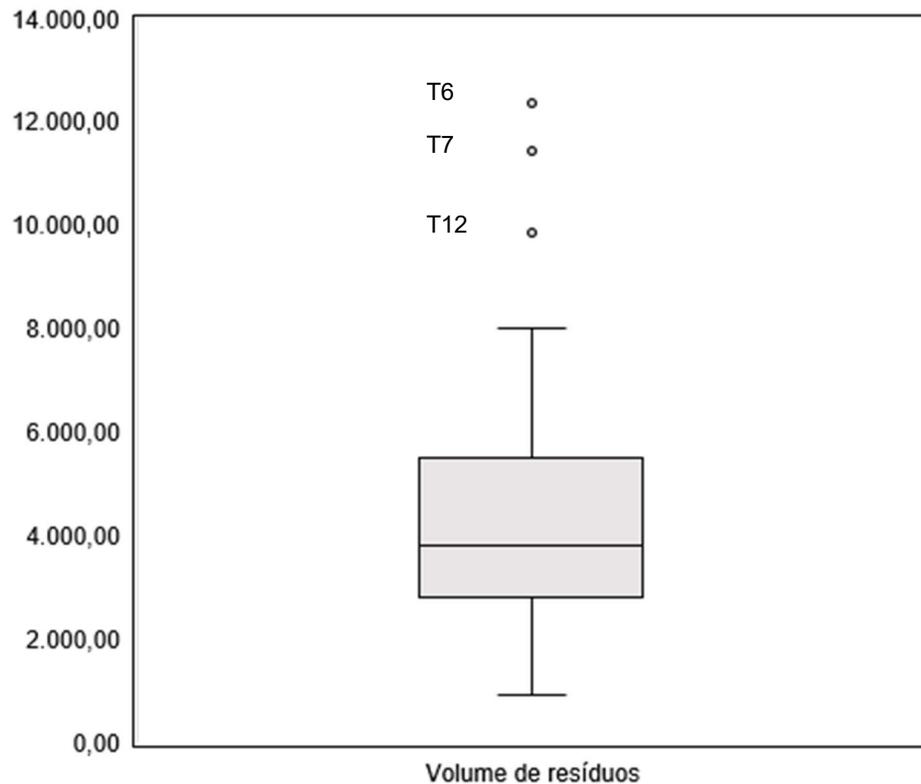
Dessa forma, ao verificar a normalidade para a amostra de 22 (vinte e dois) dados, no programa SPSS, obteve-se os resultados expostos na Tabela 11. Ao levar em consideração que o teste de Shapiro-Wilk é o mais indicado em amostras com menos de 30 dados, e o resultado encontrado foi de 0,0043. Conclui-se que se rejeita a hipótese nula.

**Tabela 11:** Teste de normalidade da variável dependente (22 dados)

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	p-valor
Volume de Resíduos	0,19	22	0,02918	0,86	22	0,0043

Fonte: A autora

Utilizando-se do gráfico *boxplot* (Figura 19) como recurso para avaliar a amostra, observa-se a presença de *outliers*, identificados por pontos externos à caixa.

**Figura 19:** Gráfico *boxplot* da variável dependente – (22 dados)

Fonte: A autora.

Optou-se por retirar os *outliers* T6, T7, e T12 da amostra. Dessa forma, a amostra agora conta com 19 dados, e partir desta etapa é feita nova análise de normalidade, resultando na Tabela 12.

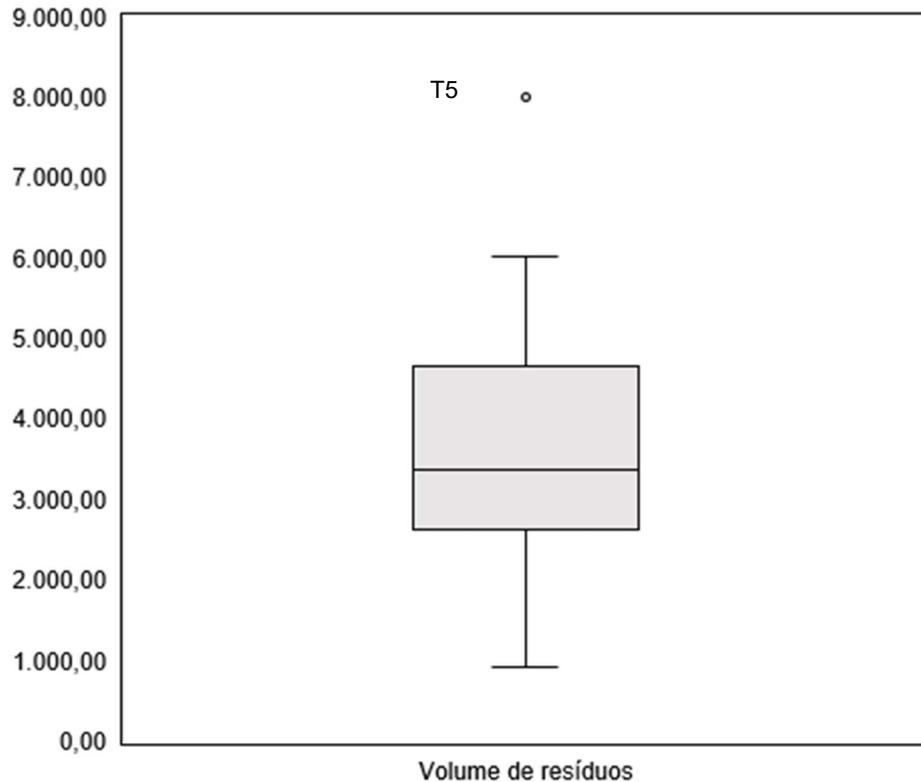
**Tabela 12:** Teste de normalidade da variável dependente (19 dados)

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	p-valor
Volume de Resíduos	0,13	19	0,2000	0,97	19	0,6909

Fonte: A autora.

Observa-se através do resultado da estatística de Shapiro-Wilk que desta vez a variável *y* (volume) apresenta distribuição normal, pois a hipótese nula não é rejeitada tendo em vista que p-valor é maior que 0,05.

No entanto, ao observar o diagrama de caixa da amostra (Figura 20), observa-se a presença de mais um *outlier*. Desta vez, é a obra T5.

**Figura 20:** Gráfico *boxplot* da variável dependente (19 dados)

Fonte: A autora.

Escolheu-se retirar o dado T5 nesta fase da análise, pois *outliers* podem prejudicar a interpretação do modelo de regressão pretendido, tendo em vista a existência de poucos dados amostrais. Restaram 18 dados, e diante de nova avaliação da normalidade observa-se na Tabela 13 uma melhora expressiva do p-valor no teste de Shapiro-Wilk que passa a ser 0,9674. Assim, pode-se afirmar que a amostra pertence a uma população normal, com nível de significância  $\alpha=0,05$ .

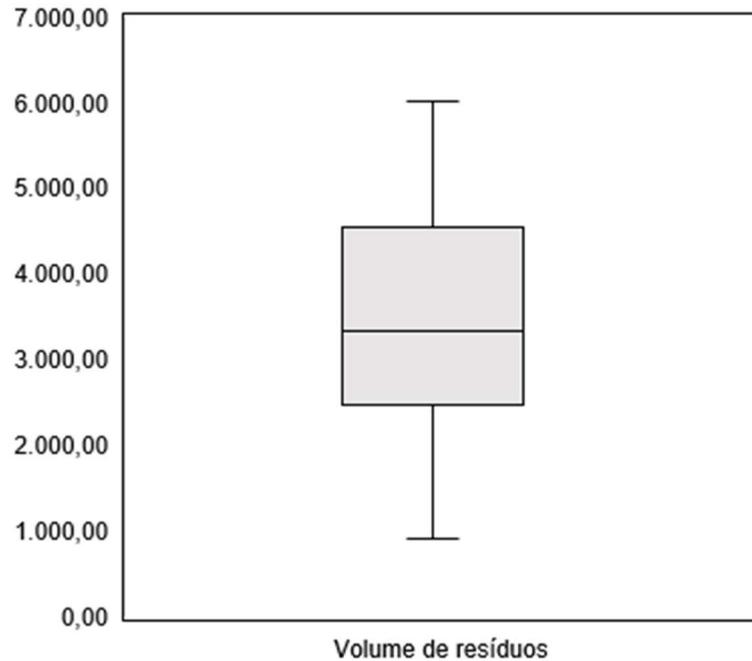
**Tabela 13:** Teste de normalidade da variável dependente (18 dados)

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	p-valor
Volume de Resíduos	0,10	18	0,2000	0,98	18	0,9674

Fonte: A autora.

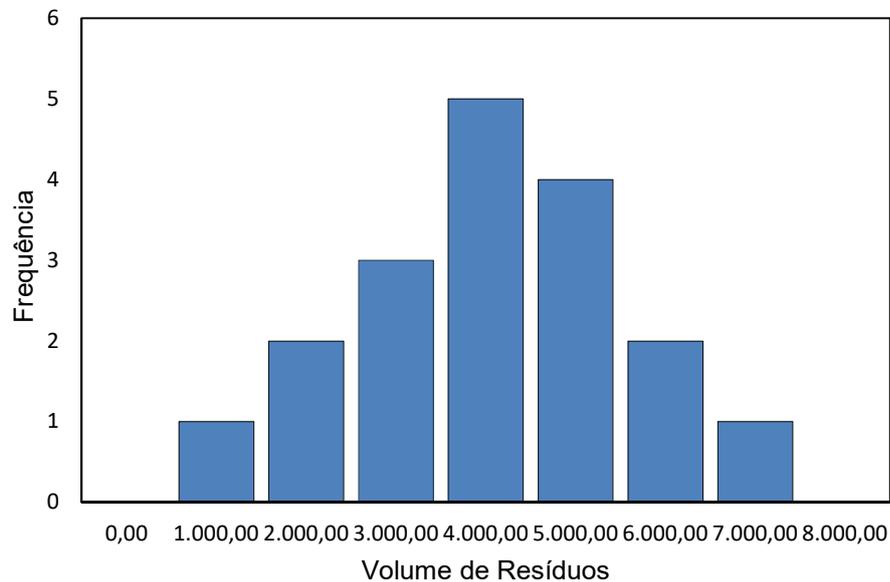
Além disso, ao analisar o gráfico *boxplot* a Figura 21 tem-se a ausência de *outliers* e nota-se também uma uniformidade maior na amostra, confirmado pela visualização do histograma (Figura 22).

**Figura 21:** Gráfico *boxplot* da variável dependente (18 dados)



Fonte: A autora.

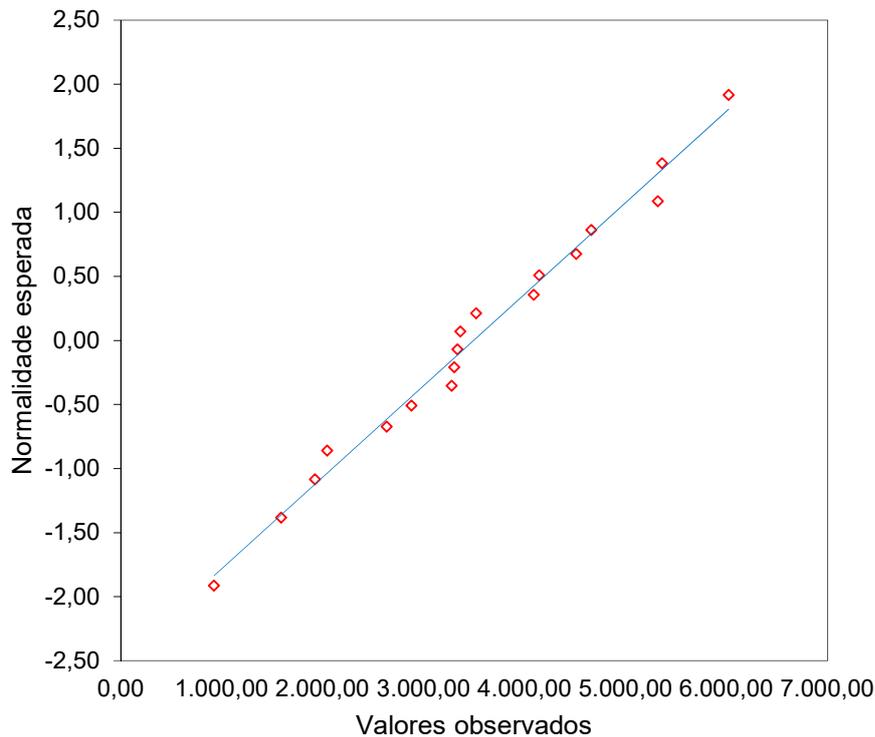
**Figura 22:** Histograma de distribuição normal (variável dependente)



Fonte: A autora.

Como parte da análise também se observa o gráfico de probabilidade normal, representado pela Figura 23, que reforça que a amostra apresenta distribuição normal. Nota-se principalmente a proximidade dos pontos em relação à reta.

**Figura 23:** Gráfico de probabilidade normal Q-Q Plot para o volume de resíduos

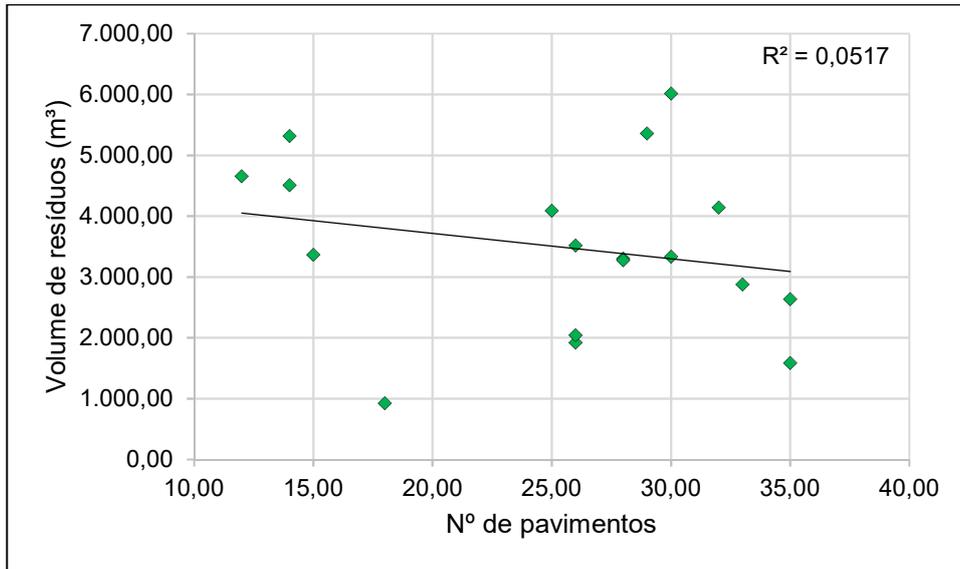


Fonte: A autora.

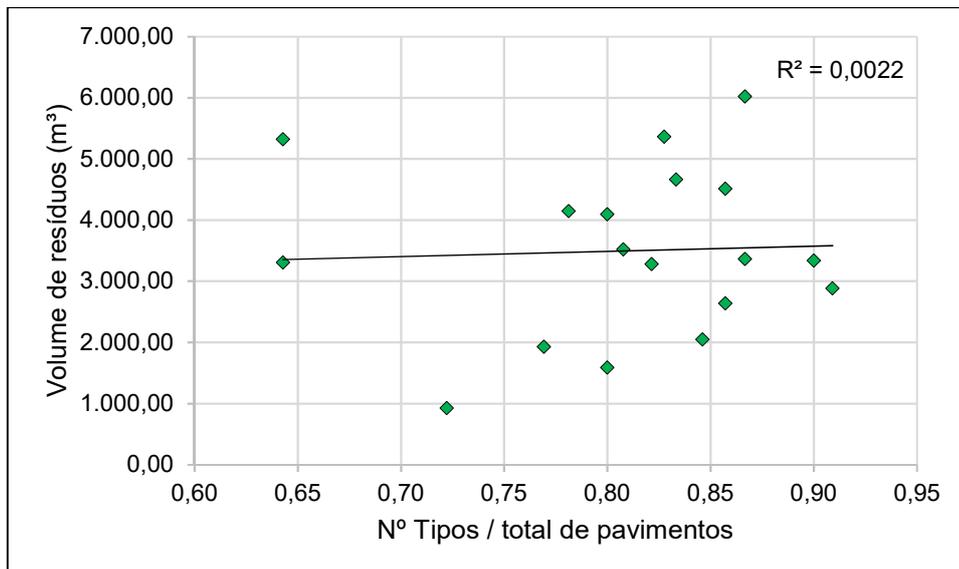
### 4.3.3 Análise das variáveis independentes

Nesta etapa foram analisadas as variáveis independentes: número de pavimentos, relação de pavimentos tipo e o número total de pavimentos (tipo/total), área total, área do pavimento tipo, índice econômico de compacidade, densidade de paredes internas, organização do canteiro, sistema de produção e reaproveitamento de resíduos. Para isso, foram plotados gráficos de dispersão da variável dependente em comparação com algumas das variáveis quantitativas da amostra, com objetivo de identificar possível relação de causa e efeito entre elas.

Ao analisar o gráfico da Figura 24, dispersão que relaciona o nº de pavimentos com o volume de resíduos observa-se uma ligeira redução no volume de resíduos conforme aumentam o número de pavimentos, o que pode sugerir uma relação de efeito aprendido, pois maior parte da contribuição na quantidade dos pavimentos de uma forma geral é o nº de pavimentos tipo.

**Figura 24:** Gráfico variável N° de Pavimentos

Fonte: A autora.

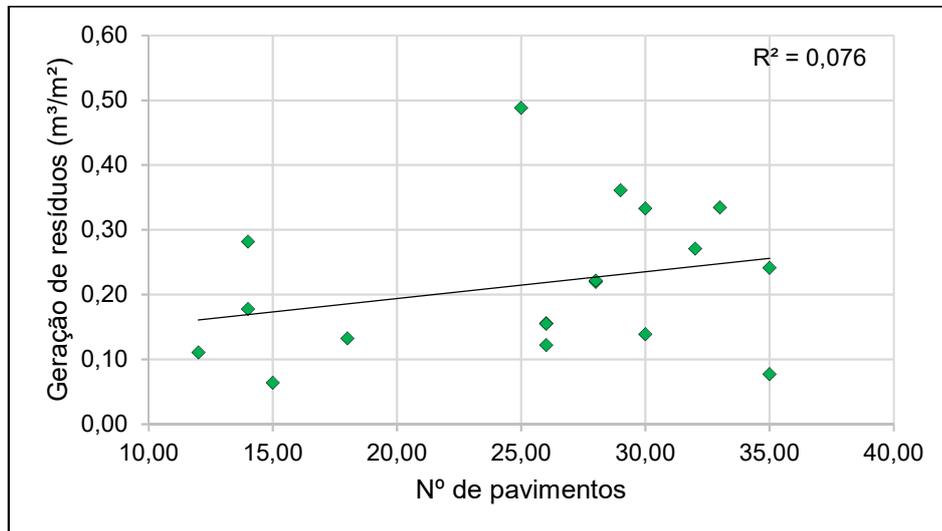
**Figura 25:** Gráfico variável participação de pavimentos tipo sobre o total de pavimentos

Fonte: A autora.

No gráfico da Figura 25, verifica-se um aumento discreto do volume de resíduos conforme aumenta a participação dos pavimentos tipo sobre o total de pavimentos. Ou seja, ocorre uma mínima contribuição do aumento do número de pavimentos tipo, no volume de resíduos. Fator que confirma uma contribuição do efeito aprendido na amostra.

Já no gráfico da Figura 26, que relaciona a geração de resíduos com o nº de pavimentos, observa-se um aumento da geração de resíduos por metro quadrado conforme aumenta o número de pavimentos.

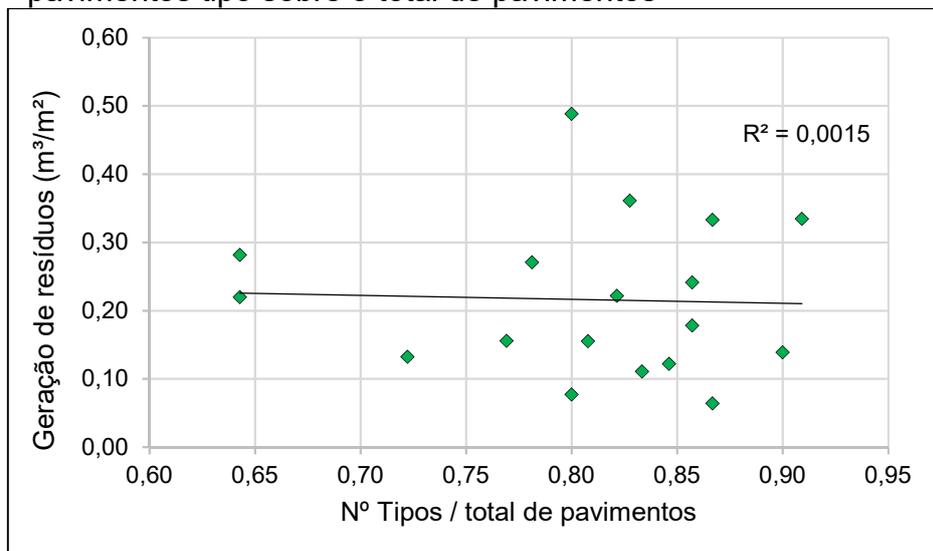
**Figura 26:** Gráfico índice de geração de RCC x nº de pavimentos



Fonte: A autora.

Ao observar novamente o gráfico da Figura 26 é possível constatar que o aumento do número de pavimentos é um fator importante, tal como o aumento da área quadrada, na contribuição para o aumento do volume de resíduos. Ainda que possa haver uma redução deste volume, mesmo que mínima, em virtude da prática da repetição como visualizado no gráfico da Figura 27.

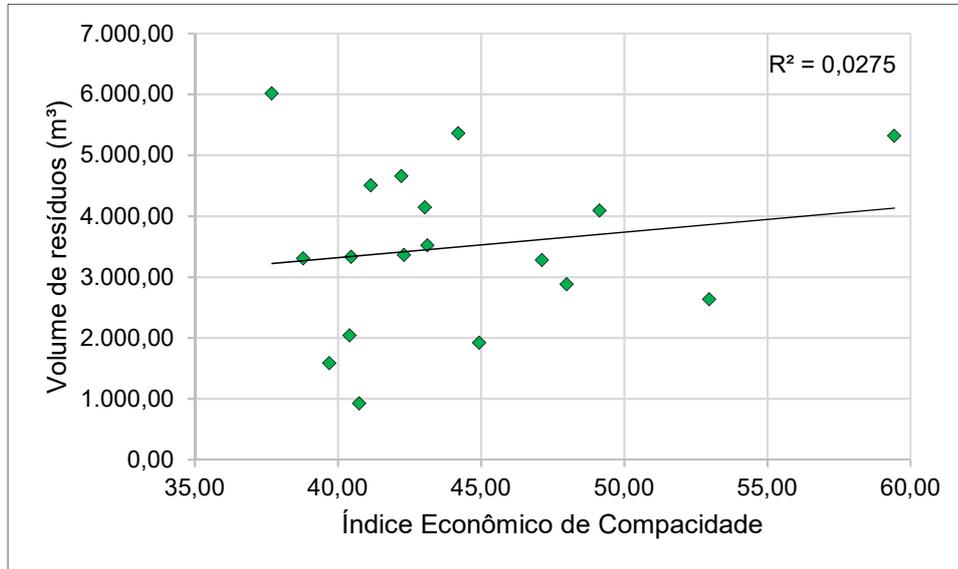
**Figura 27:** Gráfico índice de geração de RCC x participação do nº de pavimentos tipo sobre o total de pavimentos



Fonte: A autora.

As figuras 28, 29 e 30 a seguir, apresentam os gráficos das variáveis, leC, densidade de paredes internas e área total relacionadas com o volume de resíduos gerado.

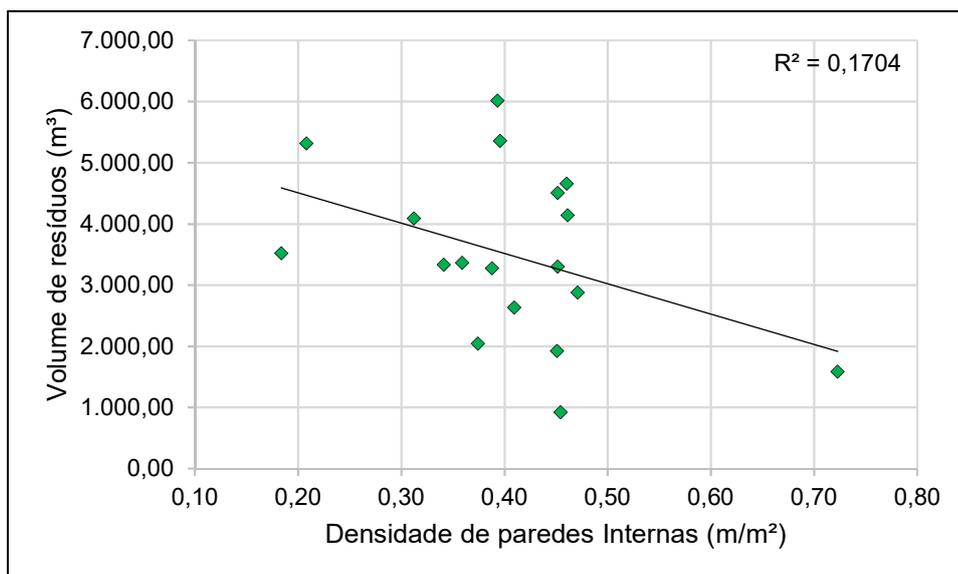
**Figura 28:** Gráfico variável Índice Econômico de Compacidade



Fonte: A autora.

No gráfico da figura 29 observa-se um ligeiro aumento do volume de resíduos conforme ocorre o aumento do índice de compacidade, que depende do perímetro econômico, superfície do pavimento tipo e arestas, dos dados amostrais.

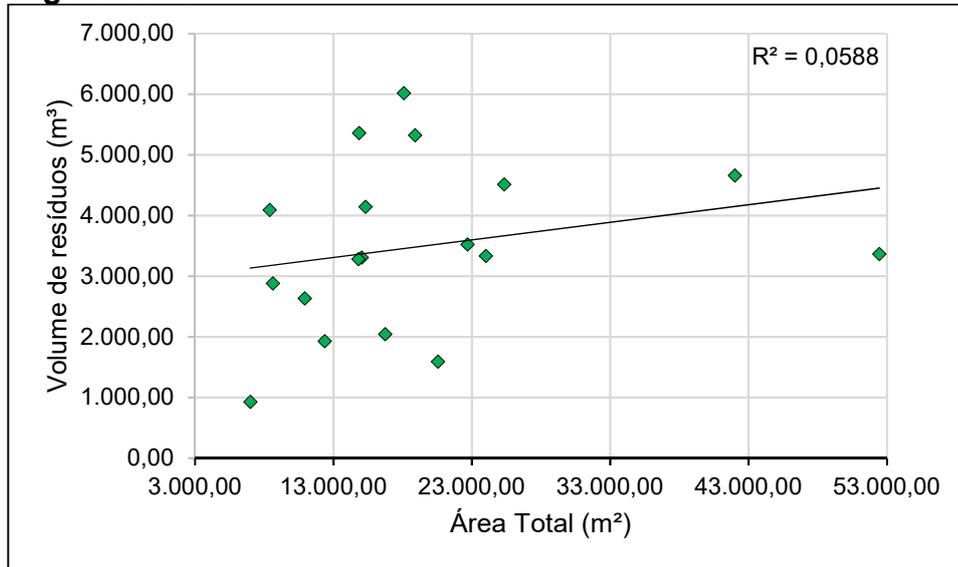
**Figura 29:** Gráfico da variável densidade de paredes internas



Fonte: A autora.

Na figura 30 nota-se importante redução do volume de RCC conforme aumenta a densidade das paredes internas, o que reforça que há decréscimo na produção de resíduos após a execução das alvenarias e revestimentos argamassados.

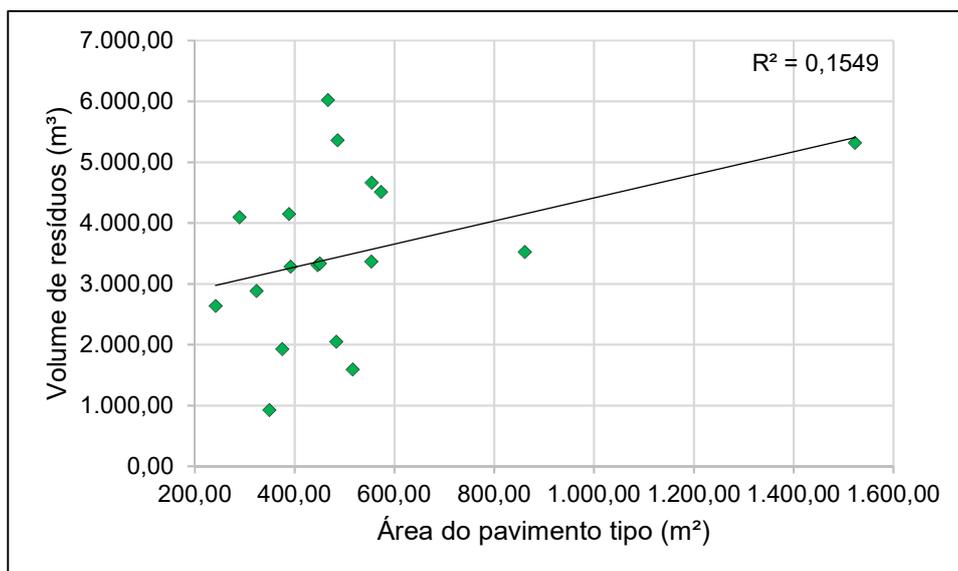
**Figura 30:** Gráfico da variável área total



Fonte: A autora.

Na interpretação do gráfico da figura 30 é possível visualizar a contribuição do aumento da área construída para o aumento do volume de resíduos, fato reforçado pela situação apontada pelo gráfico da figura 31, que relaciona a área do pavimento tipo com o volume de RCC.

**Figura 31:** Gráfico da variável área do pavimento tipo



Fonte: A autora.

As variáveis independentes quando analisadas isoladamente, em relação à variável “volume de resíduos”, apresentaram baixo coeficiente de determinação. Dessa forma, há necessidade de análise da influência das variáveis independentes em conjunto, sobre a variável resposta. Para tanto, executou-se o teste de correlação de Pearson. Neste, é possível verificar o grau de dependência linear entre pares de variáveis, e além disso, se a relação entre as variáveis é positiva, ou negativa.

A análise da correlação de Pearson entre as variáveis estudadas pode ser visualizada na Tabela 14.

**Tabela 14:** Valores da correlação de Pearson entre as variáveis independentes

	Nº de pavimentos	Tipo / Total	Área Total	Área do Tipo	leC	Densidade de Paredes	Organização do canteiro	Sistema produtivo	Reaproveitamento de RCC
Nº de pavimentos	1,00	0,25	-0,56	-0,48	-0,09	0,32	-0,30	-0,42	-0,38
Tipo / Total	0,25	1,00	0,25	-0,46	-0,24	0,10	0,12	0,18	-0,55
Área Total	-0,56	0,25	1,00	0,26	-0,24	-0,06	0,35	0,60	-0,01
Área do Tipo	-0,48	-0,46	0,26	1,00	0,44	-0,50	0,44	0,44	0,88
leC	-0,09	-0,24	-0,24	0,44	1,00	-0,42	0,31	0,10	0,70
Densidade de Paredes	0,32	0,10	-0,06	-0,50	-0,42	1,00	-0,40	-0,18	-0,42
Organização do canteiro	-0,30	0,12	0,35	0,44	0,31	-0,40	1,00	0,66	0,44
Sistema produtivo	-0,42	0,18	0,60	0,44	0,10	-0,18	0,66	1,00	0,31
Reaproveitamento de RCC	-0,38	-0,55	-0,01	0,88	0,70	-0,42	0,44	0,31	1,00

Fonte: A autora.

Na Tabela 14 foram destacadas as correlações positivas e negativas. O valor máximo valor positivo identificado foi de 0,88 entre as variáveis “reaproveitamento de resíduos” e “área do pavimento tipo”, e o negativo de -0,56 foi entre as variáveis “área total” e “nº de pavimentos”. Além disso, ocorreram casos de correlações altas entre os regressores, o que pode representar o fenômeno de multicolineariedade.

Segundo Montgomery e Runger (2003) a multicolineariedade pode ter efeitos graves nas estimativas dos coeficientes de regressão e na aplicabilidade do modelo

estimado. Para tanto, após a regressão deve-se se analisar os fatores de inflação da variância (FIV), e deve-se realizar o teste F para a regressão e para coeficientes individuais de regressão. Tais etapas serão realizadas, no item 4.3.4 deste trabalho.

#### 4.3.4 Análise da Regressão

Após a verificação da normalidade da variável dependente, na etapa 4.3.2, foi realizada a análise de regressão de vários modelos, através de testes dos conjuntos variáveis independentes, para um nível de significância  $\alpha=0,05$ .

No modelo 1 foram testadas as variáveis “nº de pavimentos”, “relação entre o número de pavimentos tipos e o número total de pavimentos (tipo/total)”, “área total”, “área do pavimento tipo”, “IeC”, “densidade de paredes internas”, “organização do canteiro”, “sistema produtivo” e “reaproveitamento de resíduos”. Os resultados obtidos na análise do Modelo 1 estão apresentados nas tabelas 15 e 16.

**Tabela 15:** Regressão do Modelo 1

Modelo	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
1	0,872	0,728	719,8340	6,059	0,009

Fonte: A autora.

Na Tabela 15 observa-se que o valor do coeficiente de determinação  $R^2$  0,872 é bastante expressivo, e o coeficiente de determinação ajustado resultante da inclusão de variáveis independentes pouco explicativas, teve redução para 0,728 mantendo-se expressivo. Dessa forma, para o nível de significância escolhido, o resultado para o teste F de valor = 0,009, denota que agrupadas as variáveis explicam 72% da variável dependente.

No entanto, ao observar o p-valor das variáveis do modelo 1 (Tabela 16), nota-se que apenas as variáveis “densidade de paredes” e “sistema produtivo” podem ser consideradas significativas neste modelo. Considerando o poder estatístico e o tamanho amostral de 18 dados, considerado pequeno por conter menos de 30 observações, o mais adequado seria aplicar somente uma análise de regressão simples, contudo considerando a importância das variáveis de projeto e

gestão na predição do modelo para geração de volume de resíduos, optou-se por permanecer na análise de regressão múltipla.

**Tabela 16:** Coeficientes do Modelo 1

	Coeficiente $\beta$	Erro Padrão	p-valor
(Constante)	5472,782	3867,750	0,195
Nº de pavimentos	30,564	34,651	0,403
Tipo/Total	-1636,991	3513,691	0,654
Área total	-0,031	0,027	0,282
Área do pavimento tipo	-1,896	1,958	0,361
Modelo 1 leC	-59,279	59,469	0,348
Densidade de paredes	-6001,802	2177,562	0,025
Organização do canteiro	-466,280	321,229	0,185
Sistema produtivo	2939,609	504,700	0,0003
Reaproveitamento de resíduos	2232,024	2911,825	0,465

Fonte: A autora.

Para a próxima análise foram retiradas as variáveis que tiveram maior valor-p, estas são “tipo/total” e “reaproveitamento de resíduos”. A partir disso, a amostra foi realizada novamente, e foi obtido o Modelo 2, cujas informações estão dispostas nas Tabelas 17 e 18.

**Tabela 17:** Regressão do Modelo 2

Modelo	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
2	0,854	0,751	688,6232	8,333	0,002

Fonte: A autora.

Assim, constata-se um aumento do  $R^2$  ajustado para 0,751, o que representa um aumento na explicação da variável dependente quando comparado ao modelo 1. O teste F nesta análise mostrou que o Modelo 2 tem um p-valor de 0,002.

Quanto à verificação das variáveis independentes do Modelo 2 (Tabela 18) observou-se a permanência de algumas variáveis para a significância adotada, como a densidade das paredes e o sistema produtivo. Além disso, nota-se uma aproximação do p-valor com o nível de significância esperado na amostra das variáveis “área total” e “organização do canteiro”.

**Tabela 18: Coeficientes do Modelo 2**

		<b>Coeficiente <math>\beta</math></b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>p-valor</b>
	(Constante)	2234,137	2309,281	0,356
	Nº de pavimentos	15,813	30,104	0,611
	Área total	-0,045	0,022	0,071
	Área do pavimento tipo	-0,172	0,819	0,838
Modelo 2	leC	-28,336	39,698	0,492
	Densidade de paredes	-4946,671	1843,268	0,023
	Organização do canteiro	-406,029	287,351	0,188
	Sistema produtivo	2848,763	469,780	0,00012

Fonte: A autora.

Ao proceder com a análise, foram retiradas mais duas variáveis cujo p-valor permaneceu distante da significância desejada, visando a melhora da explicação do modelo. Estas foram “área do pavimento tipo” e “nº de pavimentos”. A partir dessa etapa, obteve-se o Modelo 3, demonstrado pelas Tabelas 19 e 20.

**Tabela 19: Regressão do Modelo 3**

<b>Modelo</b>	<b>R quadrado</b>	<b>R quadrado ajustado</b>	<b>Erro padrão da estimativa</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
3	0,848	0,784	641,4828	13,349	0,000149

Fonte: A autora.

**Tabela 20: Coeficientes do Modelo 3**

		<b>Coeficiente <math>\beta</math></b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>p-valor</b>
	(Constante)	2818,108	1946,971	0,173
	Área total	-0,051	0,018	0,016
	leC	-34,316	34,740	0,343
Modelo 3	Densidade de paredes	-4553,960	1590,936	0,014
	Organização do canteiro	-390,897	266,687	0,168
	Sistema produtivo	2806,683	426,105	0,000026

Fonte: A autora.

Verificou-se um aumento no  $R^2$  ajustado para este modelo, que explica 84% da variável independente. No teste F, pode ser observada novamente a significância do modelo, com p-valor 0,000149.

Observou-se também a inclusão da variável “área total” no nível de significância esperado, e permanência das variáveis “densidades de paredes” e “sistema produtivo”. Dessa forma optou-se por retirar a variável “leC” para novo teste de modelo.

Retirando-se a variável “índice econômico de compacidade” do modelo, a menos significativa dentre as restantes, é obtido modelo 4, explicado pelas Tabelas 21 e 22.

**Tabela 21:** Regressão do Modelo 4

Modelo	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa	Alteração F	p-valor
4	0,835	0,785	640,885	16,47243	0,000052

Fonte: A autora.

**Tabela 22:** Coeficientes do Modelo 4

	Coeficiente $\beta$	Erro Padrão	p-valor
(Constante)	1242,569	1115,539	0,286
Área total	-0,044	0,017	0,021
Modelo 4 Densidade de paredes	-4022,696	1495,878	0,019
Organização do canteiro	-443,805	261,009	0,113
Sistema produtivo	2760,640	423,153	0,000019

Fonte: A autora.

No modelo 4 cujo  $R^2$  ajustado aumentou 0,01, em relação ao modelo 3 nota-se a significância no teste F, seu p-valor é 0,000019. Na análise das variáveis, observa-se a influência das variáveis “área total”, “densidade de paredes” e “sistema produtivo” no nível ao nível de significância adotado  $\alpha=0,05$ . Nota-se também uma aproximação maior da variável “organização do canteiro”, com a significância esperada.

Ainda assim, optou-se por retirar a variável menos significativa do modelo “organização do canteiro” resultando no Modelo 5 (tabela 23 e tabela 24), em que resultaram em  $R^2$  ajustado= 0,7554, o que demonstra redução de 3,71 % do grau de

explicação da variável dependente em relação ao  $R^2$  ajustado obtido no modelo 3 mesmo com todas as variáveis apresentadas como significantes para o modelo.

**Tabela 23:** Regressão do Modelo 5

Modelo	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa	F	p-valor
5	0,799	0,7554	682,801	18,50042	0,000038

Fonte: A autora.

**Tabela 24:** Coeficientes do Modelo 5

	Coefficiente $\beta$	Erro Padrão	p-valor
(Constante)	218,554	1000,420	0,830
Modelo 5 AreaTotal	-0,043	0,018	0,032
DensidadePar	-3045,469	1471,392	0,057
Sistema	2342,418	366,847	0,000016

Fonte: A autora.

Dessa forma, optou-se por escolher o Modelo 4 como mais adequado para explicar a geração de resíduos, ainda que somente 3 variáveis tenham se mostrado significantes em relação ao nível adotado no modelo ( $\alpha=0,05$ ). Ferreira e Patino (2015), afirmam que é um engano achar que se o p-valor for maior do que 0,05, o novo tratamento não tem nenhum efeito. Neste caso, se modelo 5 reduz a explicação da variável resposta, é condizente permanecer com o modelo 4, tendo em vista que o efeito da variável “organização do canteiro” é considerado indicativo para a equação, mesmo que seu p-valor seja 0,1130. Pois, trata-se de uma variável qualitativa que reflete o nível de gestão adotado no canteiro, tendo em vista que o gerenciamento dos resíduos e seu reaproveitamento pode ser visualizado na organização do local de trabalho. Portanto determinou-se que esta variável é de suma importância na predição do volume de RCC.

Além disso, efetuou-se a análise do FIV do modelo 4, para verificar a multicolineariedade dos coeficientes envolvidos. Observa-se na tabela 25 que os FIVs obtido nas variáveis independentes do modelo (tabela 21) estão dentro do esperado, que é abaixo de 4.

**Tabela 25:** Fator de Inflação da Variância do Modelo 4

		Coefficiente $\beta$	p-valor	FIV
Modelo 4	(Constante)	1242,569	0,286	-
	Área total	-0,044	0,021	1,57
	Densidade de paredes	-4022,696	0,019	1,21
	Organização do canteiro	-443,805	0,113	2,44
	Sistema produtivo	2760,640	0,000019	2,07

Fonte: A autora.

Ao verificar a Tabela 25, nota-se também que a constante apresenta p-valor 0,286, portanto não é considerada significativa. Nesse caso, Fávero et al. (2009) recomenda forçar a exclusão da constante do modelo. Dessa forma, o intercepto do modelo passará pela origem. No entanto, ao efetuar tal recomendação foi observado que o modelo não correspondeu às expectativas de multicolineariedade e de tolerância das variáveis. Dessa forma, optou-se por prosseguir com o Modelo 4 para posteriores análises de validação, ainda que a constante não estivesse incluída no nível de significância adotado ( $p\text{-valor} > 0,05$ ).

#### 4.3.5 Modelo de estimativa de geração de resíduos em obras verticais residenciais e verificação da necessidade de ajustamento

Após a etapa de análise da regressão obteve-se uma equação através dos coeficientes de regressão obtidos no Modelo 4, descrito pela Equação 10:

$$VR = 1242,569 - (0,044 \times AT) - (4022,696 \times DP) - (443,805 \times OC) + (2760,640 \times SP) + \varepsilon$$

[10]

$VR$  = Volume de resíduos, em  $m^3$

$AT$  = Área total a construir, em  $m^2$ ;

$DP$  = Densidade de paredes, em  $m/m^2$

$OC$  = Organização do canteiro (escala de 1 a 5 conforme apresentado no item 3.3.3);

$SP$  = Sistema de Produção (escala de 1 a 3 conforme apresentado no item 3.3.3);

$\varepsilon$  = Erro

Após esta etapa, executou-se a verificação da necessidade de ajustamento do Modelo e para isso foi realizado o teste de normalidade dos resíduos (Tabela 27). Após executar o teste de normalidade, foi observado que resíduos não padronizados apresentaram  $p\text{-valor}=0,112$ , e para os resíduos studentizados  $p\text{-valor}=0,157$ . Satisfeita a hipótese nula de normalidade ( $p\text{-valor}>0,05$ ) conclui-se que os resíduos possuem distribuição normal.

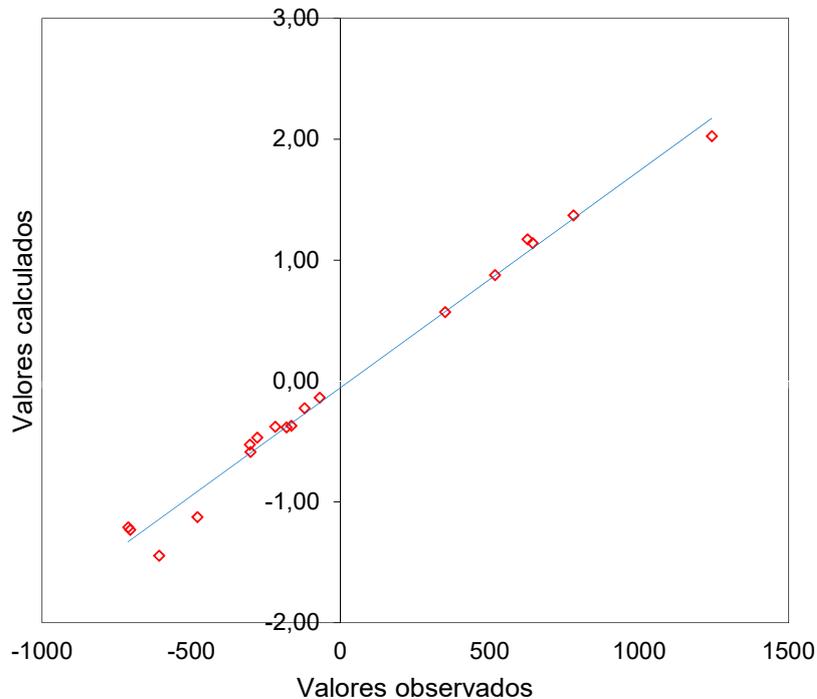
**Tabela 26:** Teste de Normalidade dos resíduos da regressão

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	p-valor
Resíduos não padronizados	0,22	18	0,025	0,92	18	0,112
Resíduos Studentizados	0,20	18	0,054	0,92	18	0,157

Fonte: A autora.

O gráfico da figura 32 apresenta a distribuição dos resíduos studentizados. Nele pode ser observada a disposição dos pontos ao redor da reta, o que é mais indício da normalidade dos valores do Modelo apresentado.

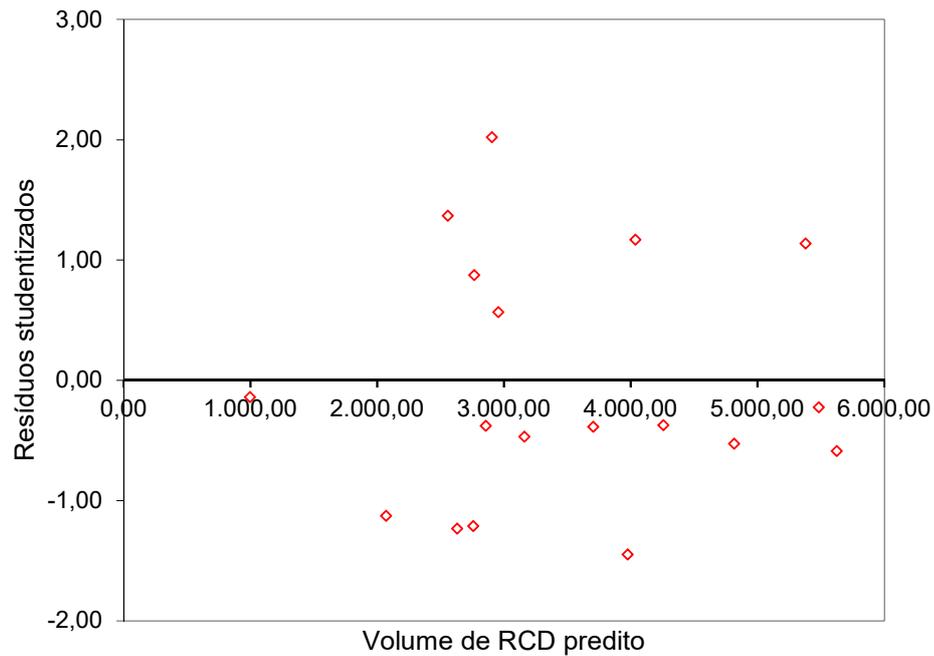
**Figura 32:** Gráfico P-P Plot para resíduos studentizados



Fonte: A autora.

Sobretudo, no gráfico da figura 33 certifica-se mesmo com a disposição aleatória dos valores previstos pelo Modelo em relação aos resíduos studentizados, em virtude do tamanho reduzido da amostra, que há uma correspondência linear entre os dados. Fator que corrobora para o ajustamento ao teste aplicado.

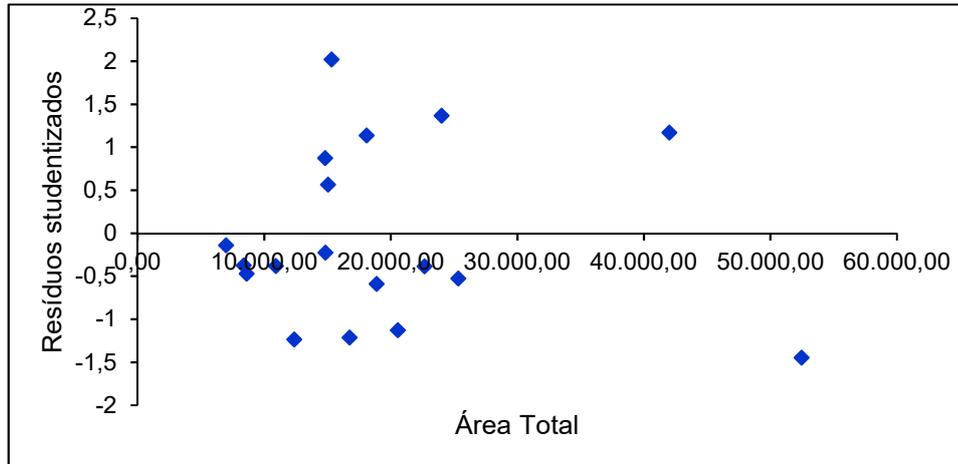
**Figura 33:** Gráfico variável “Y” x Resíduos Studentizados



Fonte: A autora.

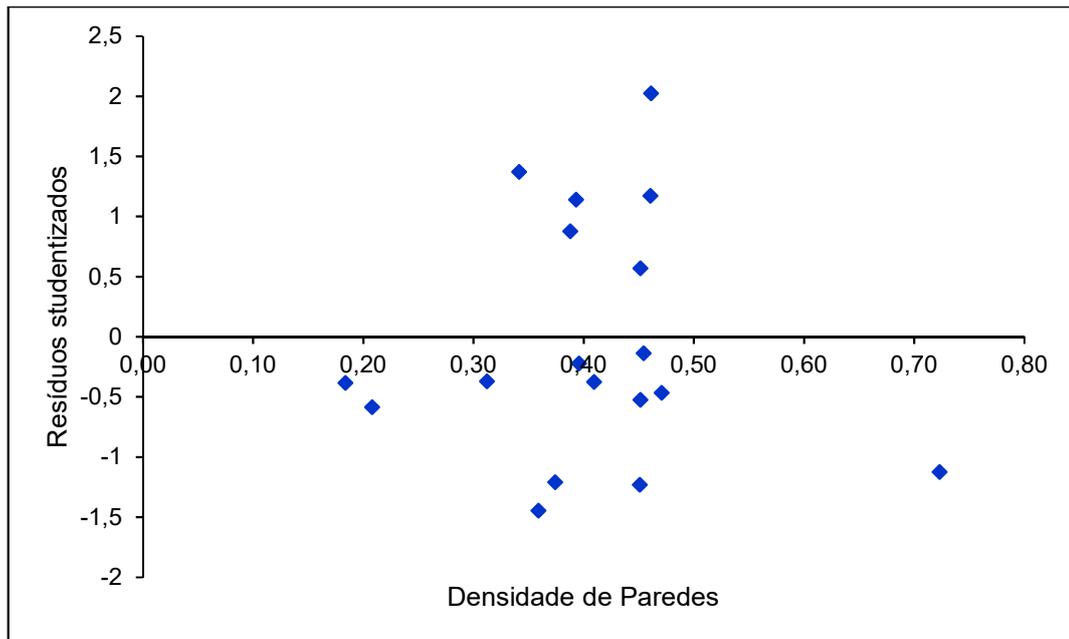
Para análise das variáveis quantitativas independentes do modelo proposto “área total construída” e “densidade de paredes”, observa-se nos gráficos das figuras 34 e 35 que os resíduos estão aleatoriamente distribuídos, portanto, não há tendência aparente.

**Figura 34:** Gráfico variável “Área total construída x Resíduos Studentizados”



Fonte: A autora.

**Figura 35:** Gráfico variável “Densidade de paredes x Resíduos Studentizados”



Fonte: A autora.

Diante dos dados apresentados na análise de regressão, e testes de normalidade dos resíduos considera-se o modelo como válido estatisticamente, portanto, não precisa de ajustamento.

#### 4.3.6 Aplicação do modelo para estimar a geração de resíduos das obras estudadas

Para validação e análise do poder de predição do modelo obtido utilizou-se o método desenvolvido por Dias (2013), que insere os dados das variáveis independentes utilizados para obter o modelo, na própria equação, fazendo a operação inversa com intuito de visualizar a aproximação do volume de resíduos predito com o volume real coletado. Os dados utilizados para análise do modelo podem ser visualizados na Tabela 27.

**Tabela 27:** Dados utilizados para aplicação no modelo 4

ID	Área Total (m <sup>2</sup> )	Sistema produtivo (1 a 3)	Org. Canteiro (1 a 5)	Densidade de Paredes (m/m <sup>2</sup> )
T1	20.542,02	2,00	2,00	0,72
T2	8.375,49	2,00	2,00	0,31
T3	12.347,91	2,00	4,00	0,45
T4	18.877,59	3,00	5,00	0,21
T5	29.766,18	3,00	5,00	0,38
T6	40.691,34	3,00	4,00	0,25
T7	30.718,78	3,00	4,00	0,34
T8	18.079,21	3,00	4,00	0,39
T9	14.831,00	3,00	4,00	0,40
T10	42.000,00	3,00	4,00	0,46
T11	52.445,00	3,00	4,00	0,36
T12	35.890,00	3,00	4,00	0,45
T13	25.320,00	3,00	4,00	0,45
T14	6.972,23	1,00	2,00	0,45
T15	15.303,61	2,00	3,00	0,46
T16	15.023,38	2,00	3,00	0,45
T17	22.667,32	2,00	3,00	0,18
T18	8.605,74	2,00	3,00	0,47
T19	10.919,69	2,00	4,00	0,41
T20	14.790,55	2,00	4,00	0,39
T21	24.000,00	2,00	4,00	0,34
T22	16.732,00	2,00	4,00	0,37

Fonte: A autora.

Ao inferir os dados das variáveis independentes coletados na equação proposta pelo modelo (tabela 27), e posteriormente comparar com as estimativas obtidas através de indicadores propostas por Pinto (1999), Marques Neto (2010) e pela estimativa obtida por Dias (2013) através de regressão, obteve-se a tabela 28. Nota-se que das 22 obras os resultados estimados pelo modelo alcançam 68% da

amostra, quando comparados com os volumes informados pelas empresas. Isto considerando uma variação de até 30% como critério para alcance de proximidade entre os volumes.

**Tabela 28:** Comparativo entre os resultados obtidos no modelo empírico e os volumes de RCC informados pelas empresas e pelas estimativas dos autores Pinto (1999), Marques Neto e Schalch (2010) e Dias (2013).

ID	Volume Informado pelas empresas (m <sup>3</sup> )	Modelo de estimativa proposto no trabalho		Indicador proposto por Pinto (1999)		Indicador proposto por Marques Neto e Schalch (2010)		Indicador proposto por Dias (2013)	
		Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Diferença (%) em relação ao volume informado
T1	1.588,22	2.058,40	29,60%	2.567,75	61,67%	4.691,11	195,37%	1.298,11	-18,27%
T2	4.092,00	4.249,23	3,84%	1.046,94	-74,42%	1.912,68	-53,26%	1.195,26	-70,79%
T3	1.925,00	2.627,43	36,49%	1.543,49	-19,82%	2.819,85	46,49%	1.061,23	-44,87%
T4	5.320,00	5.632,58	5,88%	2.359,70	-55,64%	4.311,01	-18,97%	1.956,31	-63,23%
T5	8.000,00	4.473,22	-44,08%	3.720,77	-53,49%	6.797,60	-15,03%	2.811,16	-64,86%
T6	12.375,00	4.939,23	-60,09%	5.086,42	-58,90%	9.292,55	-24,91%	1.949,45	-84,25%
T7	11.450,00	5.013,59	-56,21%	3.839,85	-66,46%	7.015,15	-38,73%	2.235,81	-80,47%
T8	6.020,00	5.366,66	-10,85%	2.259,90	-62,46%	4.128,69	-31,42%	1.899,88	-68,44%
T9	5.360,00	5.500,51	2,62%	1.853,88	-65,41%	3.386,91	-36,81%	1.875,79	-65,00%
T10	4.660,00	4.036,36	-13,38%	5.250,00	12,66%	9.591,40	105,82%	1.956,09	-58,02%
T11	3.365,00	3.982,37	18,35%	6.555,63	94,82%	11.976,69	255,92%	2.128,61	-36,74%
T12	9.850,00	4.343,35	-55,91%	4.486,25	-54,45%	8.196,08	-16,79%	1.156,80	-88,26%
T13	4.510,00	4.811,63	6,69%	3.165,00	-29,82%	5.782,24	28,21%	2.080,03	-53,88%
T14	925,00	978,52	5,79%	871,53	-5,78%	1.592,22	72,13%	311,52	-66,32%
T15	4.145,00	2.899,53	-30,05%	1.912,95	-53,85%	3.494,83	-15,69%	1.098,56	-73,50%
T16	3.305,00	2.950,90	-10,71%	1.877,92	-43,18%	3.430,84	3,81%	370,56	-88,79%
T17	3.520,00	3.688,86	4,80%	2.833,42	-19,51%	5.176,46	47,06%	1.903,59	-45,92%
T18	2.880,00	3.157,13	9,62%	1.075,72	-62,65%	1.965,26	-31,76%	1.777,05	-38,30%
T19	2.635,00	2.858,15	8,47%	1.364,96	-48,20%	2.493,69	-5,36%	1.509,08	-42,73%
T20	3.279,00	2.772,88	-15,44%	1.848,82	-43,62%	3.377,67	3,01%	1.403,51	-57,20%
T21	3.335,00	2.552,18	-23,47%	3.000,00	-10,04%	5.480,80	64,34%	1.736,49	-47,93%
T22	2.045,00	2.742,30	34,10%	2.091,50	2,27%	3.821,03	86,85%	1.505,48	-26,38%

Fonte: A autora.

É importante ressaltar que o indicador proposto por Pinto (1999) tem como referência uma geração de resíduos de 150 kg/m<sup>2</sup>, e para conversão e obtenção da estimativa em m<sup>3</sup> foi utilizado o valor de densidade aparente do RCC de 1,2 t/m<sup>3</sup>, apresentado por Pinto e Gonzáles (2005). Já o indicador dos autores Marques Neto e Schalch (2010), foi obtido por uma geração de resíduos de 137,02 kg/m<sup>2</sup>, e

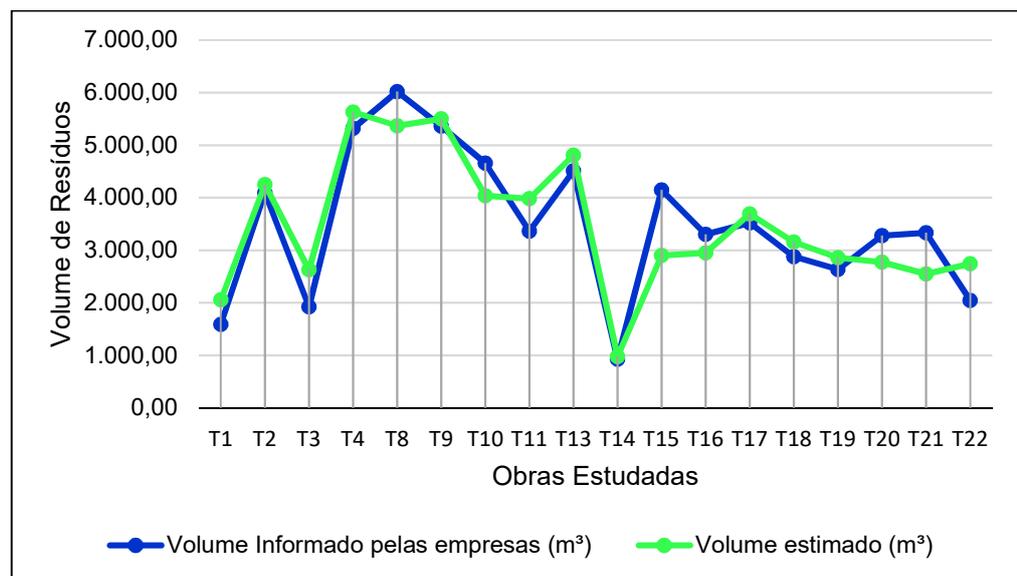
efetuou-se a conversão da estimativa em m<sup>3</sup> utilizando-se da densidade aparente de 0,6 t/m<sup>3</sup> para o RCC. Por fim, Dias (2013) utilizou-se de modelo obtido através de regressão linear, que considera as variáveis quantitativas “área construída”, “relação tipo/total”, “leC”, e variáveis qualitativas como “reaproveitamento de resíduos”, e “sistema de produção”.

Ainda analisando a Tabela 28, pode ser observado que as estimativas de Pinto (1999), Marques Neto e Schalch (2010) e Dias (2013) apresentaram 32%, 41% e 9% de alcance para os 22 dados, em relação ao volume de resíduos real informado pelas empresas da região, comparados com os 68% obtido pelo modelo proposto neste trabalho. Quando esse percentual é confrontado com a amostra (18 dados) utilizada para obtenção da equação aqui analisada, nota-se um aumento para 83%, com variação inferior a 30%.

Ademais, nota-se que as maiores diferenças em relação ao volume obtido no modelo estudado e o volume real informado pelas empresas, ocorreram nas obras T5, T6, T7 e T12, que foram retiradas da estimativa na etapa de verificação da normalidade da variável dependente 4.3.2, pois foram consideradas *outliers*.

No gráfico da Figura 36 observa-se uma disposição mais clara do comparativo entre o volume obtido versus o volume informado para as 22 obras. Portanto, nota-se uma aproximação do volume de resíduos informado e o volume de RCC estimado pelo modelo empírico apresentado no trabalho.

**Figura 36:** Gráfico Volume estimado x volume informado



Fonte: A autora.

#### 4.3.7 Comparativo entre aplicações dos modelos obtidos na Região Metropolitana de Belém e na Região Metropolitana de Porto Alegre

Para que possa ser feita uma comparação mais aprofundada do modelo de Dias (2013) na região metropolitana de Belém, e para que fosse verificada a aplicabilidade do modelo obtido neste trabalho na região estudada por Dias (2013) tem-se as tabelas 29 e 30.

**Tabela 29:** Comparativo entre os resultados obtidos no modelo adotado e os volumes de RCC informados pelas empresas e aplicação do modelo de Dias (2013) nos dados informados da RMB.

N	ID	Volume Informado pelas empresas (m <sup>3</sup> )	Modelo estimativa proposto no trabalho		Indicador proposto Dias (2013)	
			Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Diferença (%) em relação ao volume informado
1	T1	1.588,22	2.058,40	29,60%	1298,11	-18,27%
2	T2	4.092,00	4.249,23	3,84%	1195,26	-70,79%
3	T3	1.925,00	2.627,43	36,49%	1061,23	-44,87%
4	T4	5.320,00	5.632,58	5,88%	1956,31	-63,23%
5	T8	6.020,00	5.366,66	-10,85%	1899,88	-68,44%
6	T9	5.360,00	5.500,51	2,62%	1875,79	-65,00%
7	T10	4.660,00	4.036,36	-13,38%	1956,09	-58,02%
8	T11	3.365,00	3.982,37	18,35%	2128,61	-36,74%
9	T13	4.510,00	4.811,63	6,69%	2080,03	-53,88%
10	T14	925,00	978,52	5,79%	311,52	-66,32%
11	T15	4.145,00	2.899,53	-30,05%	1098,56	-73,50%
12	T16	3.305,00	2.950,90	-10,71%	370,56	-88,79%
13	T17	3.520,00	3.688,86	4,80%	1903,59	-45,92%
14	T18	2.880,00	3.157,13	9,62%	1777,05	-38,30%
15	T19	2.635,00	2.858,15	8,47%	1509,08	-42,73%
16	T20	3.279,00	2.772,88	-15,44%	1403,51	-57,20%
17	T21	3.335,00	2.552,18	-23,47%	1736,49	-47,93%
18	T22	2.045,00	2.742,30	34,10%	1505,48	-26,38%

Fonte: A autora.

Observa-se na tabela 29 que o modelo de Dias (2013) quando aplicado na região de estudo deste trabalho consegue proximidade em 2 dos 18 dados da região

Metropolitana de Belém. O que confere um percentual de 11% de aproximação, em relação ao Modelo 4 que apresentou 83% de proximidade, sem os *outliers*.

Enquanto que ao observar a aplicabilidade do modelo obtido neste trabalho para os dados da Região Metropolitana de Porto Alegre (Tabela 30) observa-se que o Modelo de Dias se aproxima 83% enquanto o modelo 4, apresenta apenas 16% de proximidade, o que reflete variação de até 30% em apenas 3 dos 18 dados que compõem a amostra.

**Tabela 30:** Comparativo entre os resultados obtidos no modelo e os volumes de RCC informados pelas empresas no estudo de Dias (2013) e aplicação do modelo 4 nos dados informados na Região Metropolitana de Porto Alegre.

N	ID	Volume Informado pelas empresas (m <sup>3</sup> )	Modelo proposto por Dias (2013)		Modelo estimativa proposto no trabalho	
			Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Diferença (%) em relação ao volume informado	Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Diferença (%) em relação ao volume informado
1	1	1.410,00	1.604,50	13,79%	2542,67	80,33%
2	2	1.890,00	1.501,20	-20,57%	2183,02	15,50%
3	3	840,00	583,70	-30,51%	2919,93	247,61%
4	4	1.074,00	1.030,50	-4,05%	2537,36	136,25%
5	5	1.074,00	961,10	-10,51%	928,79	-13,52%
6	6	872,00	1.000,20	14,70%	-257,90	-129,58%
8	8	420,00	600,50	42,98%	45,47	-89,17%
10	10	612,00	501,40	-18,07%	765,38	25,06%
11	11	736,00	662,90	-9,93%	477,38	-35,14%
12	12	1.952,00	1.414,80	-27,52%	5563,24	185,00%
13	13	1.188,00	1.224,60	3,08%	6270,00	427,78%
14	14	1.512,00	1.762,50	16,57%	6430,22	325,28%
15	15	2.164,00	2.197,10	1,53%	5767,35	166,51%
16	16	876,00	1.125,10	28,44%	6121,68	598,82%
17	17	1.012,00	1.031,90	1,97%	378,62	-62,59%
18	18	712,00	1.164,10	63,50%	3134,60	340,25%
19	19	1.165,00	1.410,80	21,10%	2375,13	103,87%
20	20	2.252,00	1.985,20	-11,85%	3396,82	50,84%

Fonte: A autora.

Os modelos, quando aplicados em regiões distintas da sua origem, mostram uma baixa aproximação e isso provavelmente ocorre devido a importantes

diferenças culturais, pois são representações das realidades locais que apresentam singularidades de cada região, como por exemplo, técnicas construtivas, materiais, equipamentos utilizados no processo construtivo em geral e também quanto aos critérios de gestão considerados, como o reaproveitamento dos RCC, adaptação a sistemas produtivos e índice de geração de RCC.

De forma mais simples, essa diferença pode ser verificada no reaproveitamento dos resíduos. Na RMB apenas uma das obras identificadas alega reaproveitar resíduos no canteiro, enquanto que na RM de Porto Alegre, 50% das obras investigadas informaram reaproveitar algum tipo de RCC. Além disso, na Região Metropolitana de Belém o índice de geração de RCC, segundo Nascimento et al (2016) é da ordem de  $0,26 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , enquanto que na Região Metropolitana de Porto Alegre, conforme pesquisa de Dias (2013) gira em torno de  $0,12 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

Além disso, quanto à investigação do cenário local do RCC observa-se de uma forma geral um descuido das empresas locais investigadas quanto ao gerenciamento, segregação do material, e quanto ao monitoramento das práticas de construção civil para evitar o desperdício de materiais. É possível que isso se deva aos critérios de gestão adotados sem enfoque no controle de desperdícios.

#### **4.3.8 Análise de sensibilidade**

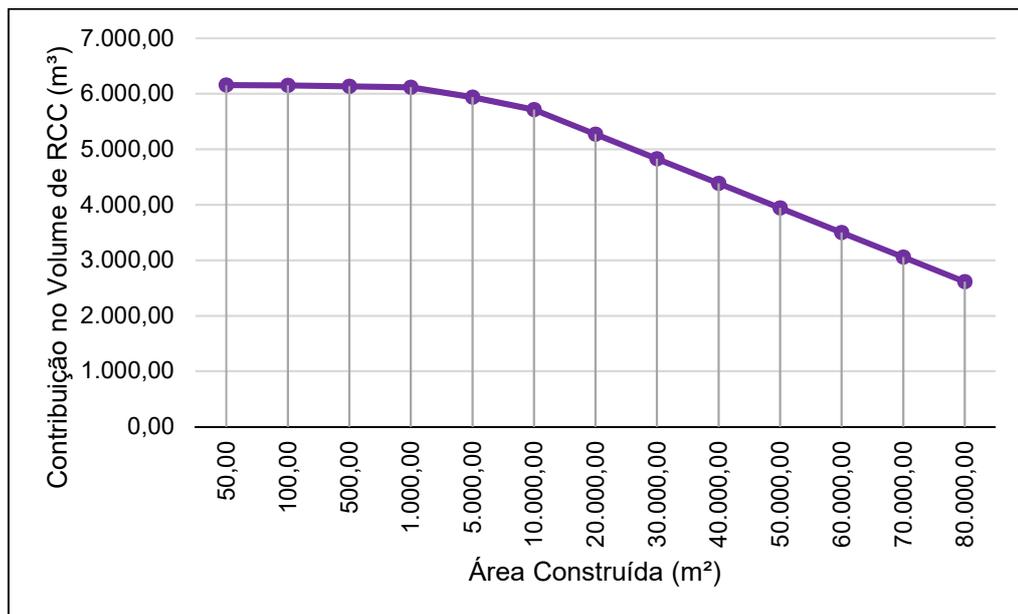
Com o objetivo de analisar a variação dos coeficientes parciais de regressão, que majoram as variáveis independentes, efetuou-se a análise de sensibilidade. Segundo Montgomery e Runger (2003), o coeficiente parcial de regressão mede a variação esperada em Y, por unidade de variação em  $X_1$  quando  $X_2$  é mantido constante.

Para analisar a variação do volume de resíduos gerado pelo modelo conforme a alteração da variável quantitativa “área total construída” foi simulada a alteração da área em um intervalo de 50 até 80.000  $\text{m}^2$ , enquanto manteve-se as parcelas restantes do modelo constantes.

Ao analisar a figura 37, nota-se que em um intervalo de área de 50 a 1.000  $\text{m}^2$ , que pode ser considerado um intervalo de edificações de poucos pavimentos, há uma tendência constante da produção de RCC, ou seja, a variação da área construída para esse intervalo não tem grande contribuição na produção de RCC.

Observa-se também que a partir de 1.000 m<sup>2</sup> construídos há um decréscimo linear na geração de RCC (m<sup>3</sup>). O que pode ser explicado pela influência do efeito da repetição na produtividade ou até mesmo, pela integração da equipe de produção envolvida no canteiro de obras, que com o passar do tempo e da continuidade das etapas de construção, passa a se adaptar aos procedimentos de execução de atividades, desperdiçando menos matéria prima.

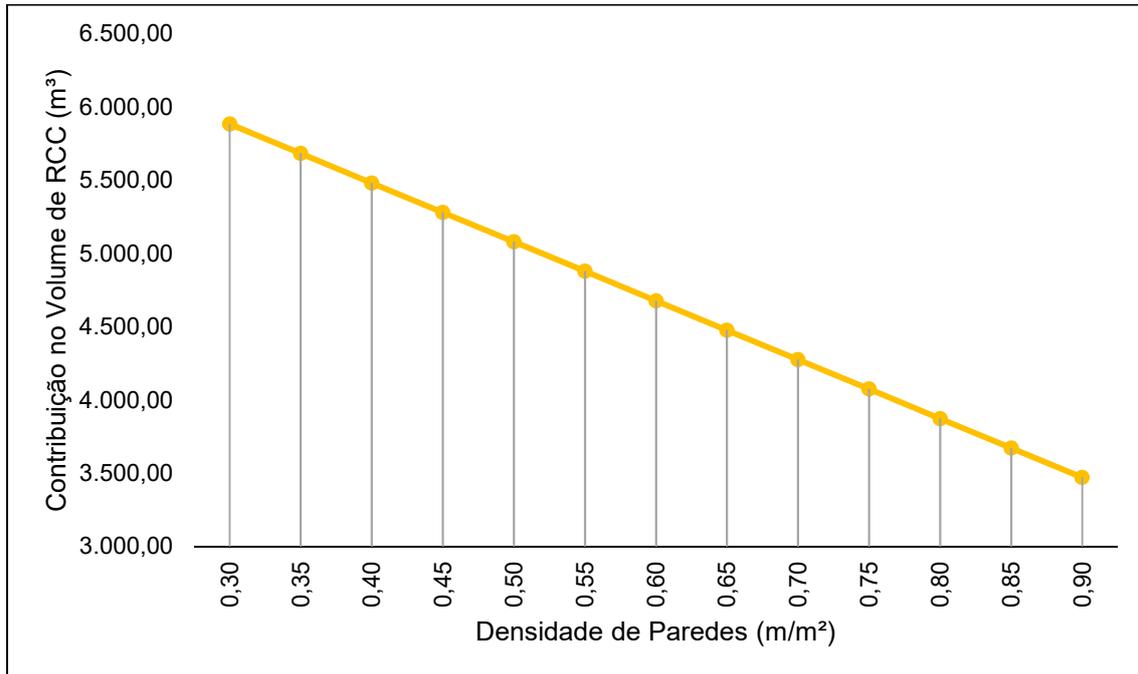
**Figura 37:** Gráfico Contribuição da variável “área construída” no volume de RCC



Fonte: A autora.

Na análise da variação do volume de RCC no modelo em virtude da alteração da variável “densidade interna de paredes” foi simulada a alteração desta variável adotando-se um intervalo de 0,30 a 0,90 m/m<sup>2</sup>, ao passo que as parcelas restantes do modelo foram mantidas constantes, e dessa forma, foi gerado o gráfico da figura 38.

**Figura 38:** Gráfico Contribuição da variável “densidade de paredes” no volume de RCC

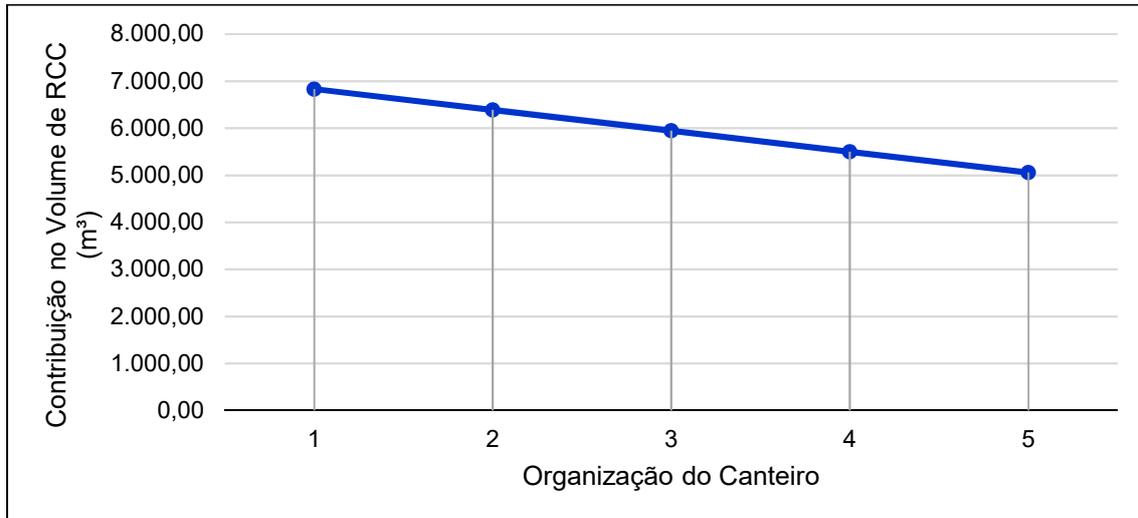


Fonte: A autora.

Ao observar a figura 38 nota-se que a densidade de paredes é inversamente proporcional à geração de resíduos, ou seja, quanto maior é a densidade de paredes, menor a produção de RCC. O que representa um decréscimo na produção de resíduos após a execução das alvenarias e revestimentos argamassados internos nas obras estudadas.

Investigando a variação do volume de RCC em função da variável qualitativa “organização do canteiro” do modelo proposto, através do gráfico da figura 39, nota-se que quanto maior o nível de organização do canteiro, menor a contribuição na geração de resíduos. O que corrobora que uma maior gestão no canteiro e um maior nível de organização deste tem como consequência de uma obra mais limpa e com uma produção reduzida de RCC.

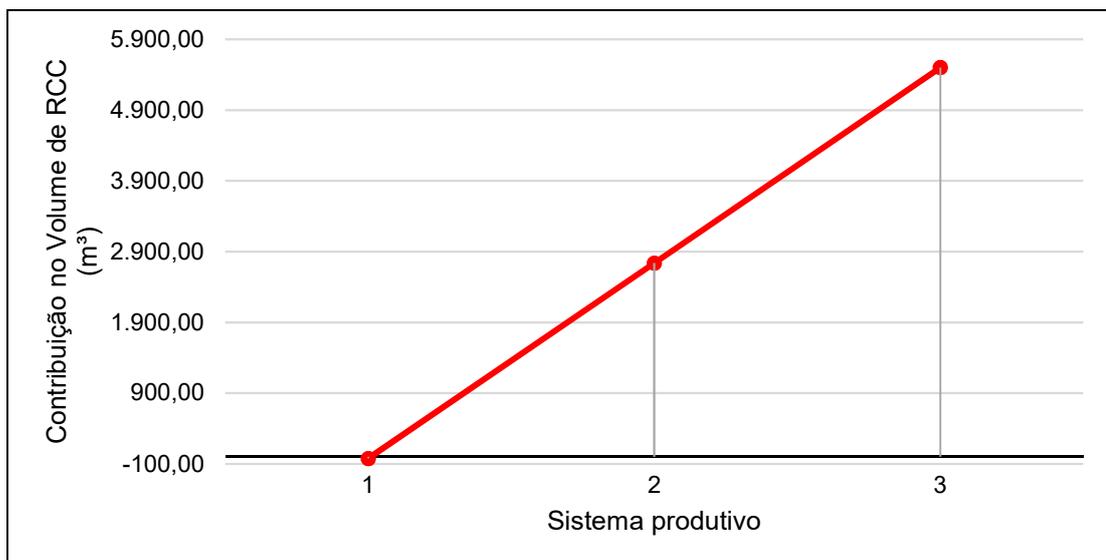
**Figura 39:** Gráfico Contribuição da variável “organização do canteiro” no volume de RCC



Fonte: A autora.

No que se refere à variável “sistema produtivo”, observa-se a situação inversa. Quanto mais industrializado for o sistema produtivo da obra, maior a geração de resíduos (figura 40). Inicialmente este fato pode ser considerado contrário às expectativas para o modelo obtido nesta pesquisa, no entanto, pode ser justificado pela maior parte das construtoras instaladas na região que apresentaram sistema de produção industrializado, produziram mais resíduos de embalagens de plástico, papelão, metal etc.

**Figura 40:** Gráfico Contribuição da variável “sistema produtivo” no volume de RCC



Fonte: A autora.

Outra característica interessante é que esse fato pode ser justificado também pela adequação precária da mão de obra local pouco qualificada para se adaptar aos processos de produção industrializados das empresas advindas do Sudeste no período de construção entre os anos 2010 e 2015 e isso pode ter refletido nos dados coletados das obras estudadas.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho é uma aplicação do método desenvolvido por Dias (2013) na Região Metropolitana de Porto Alegre para criação de um modelo adaptado à realidade local da Região Metropolitana de Belém, utilizando dados coletados de 22 obras situadas na região pretendida.

A aplicação do modelo obteve coeficiente de determinação ajustado de 0,785 demonstrando que é capaz de prever quase 80% da geração de RCC em obras residenciais verticais na região de estudo. Ao comparar os resultados de volumes de RCC obtidos através da equação proposta com os volumes informados pelas empresas investigadas, obteve-se em torno de 68% de assertividade com os dados informados. Ou seja, em 15 das 22 obras estudadas, ocorreram variações de até 30% entre volume predito e volume informado.

Em contrapartida, as previsões de RCC obtidas através de índices de outros autores, como Pinto (1999) e Marques Neto e Schalch (2010) obtiveram 32% e 41% de assertividade com os dados coletados na região, respectivamente. Em contribuição à pesquisa de Dias (2013), corrobora-se a necessidade de agregação de outros fatores para complementar as estimativas de RCC.

Ao aplicar o modelo proposto por Dias (2013) na RMB, foi obtida assertividade de 11%, e ao aplicar o modelo desenvolvido neste estudo na RM de Porto Alegre, foi de 16%. Indicando que as singularidades regionais são fatores importantes que os modelos devem levar em consideração tais como, técnicas construtivas, materiais, equipamentos utilizados no processo construtivo em geral e também quanto aos critérios de gestão considerados, como o reaproveitamento dos RCC, adaptação a sistemas produtivos e índice de geração de RCC.

Através da análise de sensibilidade do modelo obtido é possível verificar que o elemento que mais contribui para o aumento da geração de resíduos no modelo proposto é o sistema construtivo adotado. Portanto, quanto maior o nível de industrialização do sistema, maior a geração de resíduos de embalagens de plástico, papelão, metal etc.

Ao analisar a contribuição da área construída, nota-se que na faixa de 50 a 1.000 m<sup>2</sup>, que pode ser considerado um intervalo de edificações de poucos pavimentos, há uma tendência constante da produção de RCC, enquanto que a

partir de 1.000 m<sup>2</sup> construídos há um decréscimo linear na geração de RCC (m<sup>3</sup>), o que pode ser explicado pela influência do efeito da repetição de pavimentos reduzindo a geração de resíduos.

Observou-se nas obras investigadas da RMB, que os critérios de gestão adotados sem enfoque no controle de desperdícios, e a ausência de pressão dos órgãos públicos quanto ao monitoramento da gestão e geração de resíduos podem ter ocasionado um certo relaxamento das empresas cujas obras apresentam em média de 0,23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> como índice de geração de RCC. Além disso, nas obras pesquisadas praticamente não foi observada segregação e priorização do reaproveitamento dos RCC.

Por fim, entende-se que o modelo proposto pode ser utilizado para estimar o volume de resíduos total de empreendimentos novos na região, ainda em fases de projeto, onde se tenha conhecimento das práticas de gestão a serem empregadas. Portanto, espera-se que a informação do volume de RCC a ser gerado seja utilizada no intuito de minimizar o desperdício e o sobreconsumo de materiais, conseqüentemente para reduzir a geração de RCC, além de auxiliar as construtoras na elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção.

## 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Espera-se que este trabalho, apesar de suas limitações, incentive as pesquisas na área de quantificação de RCC, principalmente no âmbito local, no intuito de produzir soluções mais práticas para as estimativas de RCC.

Sugere-se que em trabalhos futuros, utilizando os dados reais informados pelas empresas da região seja elucidado à comunidade o quanto é gasto na retirada de entulhos, em relação ao custo total das obras e o quanto esse custo pode variar, tendo em vista a divergência de informação relativa ao volume de resíduos gerado pelas obras de uma maneira geral.

Almeja-se que seja possível aprofundar o estudo a ponto de incentivar e embasar a gestão municipal dos RCC quanto a índices confiáveis, e que isso seja o pontapé necessário para criação de novas políticas públicas em relação a destinação, reciclagem e incentivo a redução da geração de resíduos de construção civil.

Ainda, sugere-se que seja feito um estudo considerando os custos relativos as etapas de retiradas de entulho bem como modelos que incorporem ou avaliem variáveis exógenas ao processos construtivos e projeto arquitetônico.

## REFERÊNCIAS

ABRAMAT; FGV. **Perfil da Indústria de Materiais de Construção**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[http://www.abramat.org.br/site/datafiles/uploads/Perfil\\_2015.pdf](http://www.abramat.org.br/site/datafiles/uploads/Perfil_2015.pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2017.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A. C. Alternativas para a redução dos desperdícios de materiais nos canteiros de obras. **Relatório Final – Volume 02, Coletânea Habitare**. São Paulo: PCC, Universidade de São Paulo, 1998.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. [s.l.]. Universidade de São Paulo, 2005.

ARNOSTI JR, S.; TRINCA, A. C. Avaliação da implantação e desempenho do plano de gerenciamento de resíduos sólidos - Comparativo entre obras residenciais plurifamiliares. **HOLOS Environment**, v. 15, n. 1, p. 63–74, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112:2004**: Resíduos da Construção Civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15113:2004**: Resíduos sólidos da Construção Civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15114:2004**: Resíduos sólidos da Construção Civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15115:2004**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116:2004**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BELÉM. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Termos de Referências**. Disponível em: <<http://www.belem.pa.gov.br/semma/site/>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

BERNARDES, A. et al. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 48, p. 65–76, 2012.

BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H. Construction Waste: quantification and

source evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 122, n. 1, p. 55–60, 1996.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. PNRS (Política Nacional dos Resíduos Sólidos) 2010. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 16 mar. 2017.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 307 do CONAMA**, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/item/681>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. [s.l: s.n.]. **Cadeia Produtiva da Construção**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/home/>. Acesso em: 10 ago. 2017.

CIB. **Agenda 21 for sustainable construction in developing countries: A discussion document**. South Africa, 2002. 82 p.

COCHRAN, K. et al. Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US. **Waste Management**, v. 27, n. 7, p. 921–931, 2007.

COMISSÃO EUROPEIA DE MEIO AMBIENTE (2016). **Construction and Demolition Waste (CDW)**. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/waste/construction\\_demolition.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm)>. Acesso em 04 out 2017.

DEL RÍO MERINO, M.; GRACIA, P. I; AZEVEDO, I. S. W. Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 2, p. 118–129, 2010.

DIAS, M. F. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais**. [s.l.] Universidade Do Vale do Rio Sinos, 2013.

FÁVERO, L. P. et al. **Análise de dados - Modelagem multivariadas para tomada de decisões**, 2009.

FERREIRA, J. C.; PATINO, C. M. O que realmente significa o valor-p. **J Bras Pneumol**, v. 41, n. 5, p. 485–485, 2015.

FIESP; CIESP. Construbusiness. 12º Construbusiness: Congresso Brasileiro da Construção: Investir com responsabilidade. **Anais...** São Paulo: 2016.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas,

2002.

GONÇALVES, P. H. **Planejamento e gerenciamento do resíduo sólido de construção e demolição – Estudo de casos Goianos**. [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2013.

GOOGLE MAPS. **Região Metropolitana de Belém**. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 18 jul. 2017.

IPEA. Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil. **Relatório de Pesquisa**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911\\_relatorio\\_construcao\\_civil.pdf](http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2017.

JOHN, V. M. Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. **Escola Politécnica da USP**, v. 5, p. 113, 2000.

KATZ, A.; BAUM, H. A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. **Waste Management**, v. 31, n. 2, p. 353–358, 2011.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza ( CE ). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 169–176, 2013.

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

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

LUCENA, L. F. L.; NEVES, G. A.; NASCIMENTO, J. D.; OLIVEIRA, D. F. Diagnóstico da geração de resíduos da construção civil no Município de Campina Grande. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 4, Encontro Latino-Americano de Gestão e Economia da Construção, 1. **Anais...** Porto Alegre, 2005.

MÁLIA, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição. **Dissertação de mestrado - Instituto Superior Técnico, Lisboa**, 2010.

MÁLIA, M.; BRITO, J. DE; BRAVO, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente Construído**, v. 351, n. 21, p. 117–130, 2011.

MAÑÀ I REIXACH, F.; GONZÁLEZ I BARROSO, J. M.; SAGRERA I CUSCÓ, A. **Plan de Gestión de Residuos en las obras de construcción y demolición: Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción**. [s.l: s.n.].

\_\_\_\_\_. **Plan de Gestión de Residuos en las Obras de Construcción y Demolición**. Catalunya, España: Dirección General de Medio Ambiente, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, 2000.

MARQUES NETO, J. da C.; SCHALCH, V. Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação no Município de São Carlos-SP, Brasil. **Revista de Engenharia Civil** - Universidade do Minho, v. 36, p. 41–50, 2010.

MARQUES NETO, J. da C. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na Bacia Hidrográfica do Turvo Grande**. 2009. 629 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.

\_\_\_\_\_. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: RIMA, 2005. 162p.

MASCARÓ, J.L. **O custo das decisões arquitetônicas**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 57–71, 2009.

MONTEIRO et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República SEDU. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4. ed. [s.l.]: LTC, 2003.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. DE O. **Estatística Básica**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

NASCIMENTO, B.M.O.; MAUÉS, L.M.F.; CORDEIRO, L.N.P.; DUARTE, A.A.A.M.; NEVES, R.M.. **Identificação e análise de indicadores de resíduos de construção em obras verticais na região metropolitana de Belém-PA**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

OLIVEIRA, R. R. de. Repetição e Produtividade na Construção Civil: Estudo da Execução de Estrutura de Edifícios. Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** 1997. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997\\_T3309.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997_T3309.PDF)>. Acesso em: 5 ago. 2017.

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste Management**, v. 28, n. 7, p. 1147–1158, 2008.

PICCHI, F. A. **Sistemas de Qualidade**: uso em empresas de construção de

edifícios. São Paulo, 1993. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1999.

\_\_\_\_\_. **Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais**. São Carlos, 1989. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. (Datilografado)

\_\_\_\_\_. Gerenciamento de resíduos da construção no Brasil. In: **RCD08**, Universidade de São Paulo, São Paulo. Apresentação (CD- ROM). São Paulo, 2008.

PINTO, T. de P.; GONZÁLEZ, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Volume 2. Brasília: CAIXA, 2005.

ROVAI, G. A.; ROCCO, E.; FRANCISCATO, L. S. Aplicação da filosofia kaizen para redução no índice de refugo em uma linha de montagem de uma estamparia. Um estudo de caso. **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 17, 2015.

SÁEZ, P. V.; DEL RÍO MERINO, M.; PORRAS-AMORES, C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Waste Management & Research**, v. 30, n. 2, p. 137– 146, 2012.

SALGOSA, Ademar; DEL BEL, Diógenes. A importância da infraestrutura de destinação de resíduos sólidos. **Revista SANEAS**. São Paulo, 2012. Ano XII – n. 43, p. 17-19.

SINDUSCONPA. **Empresas Associadas**. Disponível em: <<http://www.sindusconpa.org.br/site/empresasAssociadas.php>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

SOILBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações**: sua incidência e seu controle. Porto Alegre, 1993. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Curso de Pós- graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.

SOUZA, U. E. L. de et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 4, p. 33–46, 2004.

SOUZA, U. E. L. **Como reduzir perdas nos canteiros**: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. São Paulo: Pini, 2005.

SOUZA, U. E. L.; DEANA, D. F. **Levantamento do estado da arte: Consumo de materiais**. Documento 2.5. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007.

STEVENSON, W. J. **Estatística aplicada à administração**. 1. ed. [s.l.] Editora Harbra, 2001.

TOWNSEND, T.; ANSHASSI, M. **The Benefits of Construction and Demolition Materials Recycling in the United States CDRA White Paper**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://cdra.memberclicks.net/assets/docs/cdd\\_2014\\_executive\\_summary.pdf](https://cdra.memberclicks.net/assets/docs/cdd_2014_executive_summary.pdf)>. Acesso em: 4 out. 2017.

TROCA, J. R. **Estimativa da geração e destinação do resíduo da construção civil na cidade de Lavras - MG**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2007.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

## APÊNDICE A

# PESQUISA SOBRE GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM CONSTRUÇÕES

Esta empresa está sendo convidada para participar de uma pesquisa, que subsidiará dissertação de Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Pará, sobre Geração de Resíduos em construções com finalidade residencial. A pesquisa conta com o apoio institucional do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará.

Para participar da pesquisa é necessário que um Engenheiro da sua empresa, ou profissional da área de construção, que tenha pleno conhecimento dos empreendimentos, responda um questionário, que leva de 10 a 20 minutos, cuja maior parte das questões é objetiva e direta. Além do preenchimento do Questionário é necessário também o envio do documento a seguir para o e-mail [quantificacaoderesiduos@gmail.com](mailto:quantificacaoderesiduos@gmail.com):

- Planta Baixa do Pavimento Tipo (em formato “.dwg”);

Reiteramos que a sua participação é voluntária, que a pesquisa tem finalidade acadêmica, sendo assegurado o anonimato da identidade dos respondentes e das empresas participantes. Desde já, agradecemos pelas contribuições recebidas, que serão indispensáveis para a efetivação da pesquisa, cujos resultados possibilitarão base informacional, tanto para o âmbito acadêmico, quanto empresarial, através da disseminação de número que poderão estimular boas práticas de gerenciamento de resíduos de construção.

Contato dos pesquisadores:

Prof. Dra. Luciana Cordeiro: [lucianapc@ufpa.br](mailto:lucianapc@ufpa.br) - (91) 991728563

Prof. MSc. Luiz Maurício Maués: [maues@ufpa.br](mailto:maues@ufpa.br) - (91) 981469591

Eng<sup>a</sup>. Civil. Brisa Nascimento: [brisa.nascimento@itec.ufpa.br](mailto:brisa.nascimento@itec.ufpa.br) - (91) 980835654

\*Obrigatório

## 1. Dados do Empreendimento

É necessário que a obra já esteja concluída para que seja possível informar os dados solicitados para todos os meses de construção.

Qual o nome do empreendimento? \*

Em qual classificação esse empreendimento pode ser enquadrado? \*

- Edifício Residencial
- Edifício Comercial
- Condomínio Horizontal
- Outro:

**Qual a quantidade de pavimentos do empreendimento? \***

Todos os pavimentos, incluindo subsolos e pavimentos técnicos (casa de máquinas, barrilete, etc.)

**Qual a quantidade de Pavimentos Tipo do empreendimento? \***

Somente pavimentos que se repetem (pavimentos de apartamentos)

**Qual a área construída total do empreendimento? \***

Em metros quadrados

**Qual a área construída do Pavimento Tipo? \***

Área de 1 Pavimento Tipo, em metros quadrados.

**Em qual padrão construtivo o empreendimento se enquadra? \***

- Alto Padrão
- Médio Padrão
- Padrão Popular

## 2. Dados sobre Gestão de Resíduos

**Qual o volume total de resíduos gerado? \***

Resíduo sólido de construção e demolição é popularmente conhecido como "Entulho" ou "Lixo que sai da Obra". Esta quantidade não deve incluir volume de solo.

**Caso a empresa não possua dados para quantificar o volume total de resíduos gerado até o final da construção, informe o custo total gasto com o pagamento dos contêineres de "entulho"?**

**Quanto a empresa coletora de "entulho" cobra (aproximadamente) por contêiner coletado?**

**Qual o volume mais usual de contêiner usado para a remoção de "entulho"?**

Os volumes mais comuns de contêineres são 4, 5 e 6 metros cúbicos

**Qual o prazo total da obra? \***

Prazo em que a obra foi concluída

**A empresa separa o volume de resíduo gerado em tipos de resíduo? \***

Tipos de resíduo: Madeira, concreto, metais, argamassa, tijolos, solo, rocha, papel, rocha, asfalto, orgânico, etc.

- Sim
- Não

**Caso a resposta da questão acima seja positiva, qual o volume produzido por tipo de resíduo?**

Listar o volume de resíduo por tipo

**A obra possui sistema de seleção e reaproveitamento de resíduos? \***

- Sim  
 Não

### 3. Dados de Produção

**Qual o sistema construtivo adotado no empreendimento? \***

1. Produção tradicional: estrutura de concreto armado moldada in loco, sem paginação de alvenaria, corte e dobra de aço no local, argamassa produzida no local, poucos equipamentos de transporte;
2. Produção intermediária: alguns itens industrializados, tais como elementos de concreto pré-moldados, corte e dobra de aço industrializados, argamassas industrializadas, paginação da alvenaria e alguns equipamentos de transporte;
3. Produção industrializada: maior uso de práticas industrializadas, maior aplicação de equipamentos de transporte, produção padronizada e práticas de gestão (planejamento de produção, filosofia lean construction).

**Qual o nível de organização do Canteiro (ambiente de construção)? \***

Com base na percepção dos gestores (ou pesquisadores).

1. Sérios problemas de organização no canteiro (todos os aspectos);
2. Problemas de organização (muitos aspectos);
3. Intermediário (problemas em alguns aspectos);
4. Problemas em poucos aspectos;
5. Canteiro organizado e boas práticas de gestão (em todos os aspectos).

### 4. Geral

**Contato do respondente \***

Nome e Telefone para contato

Enviar

100% concluído.

*Nunca envie senhas pelo Formulários Google.*

Powered by

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

[Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Termos Adicionais](#)

## ANEXO 1



**PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM**  
**SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE**  
**DEPARTAMENTO DE CONTROLE AMBIENTAL**

**ROTEIRO ORIENTATIVO PARA A ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DE**  
**INFORMAÇÕES AMBIENTAIS ANUAL – RIAA**

OBJETIVO - Este roteiro tem como objetivo orientar as empresas licenciadas a cumprírem com o que estabelece a SÚMULA ADMINISTRATIVA publicada no Diário Oficial do Município de Belém nº 12.850/2015, onde estabelece que as empresas que receberam a partir de 21 de julho 2015 as Licenças Ambientais de Instalação e Operação deverão apresentar o **RELATÓRIO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL ANUAL** para que sua licença seja revalidada. A não apresentação do mesmo implicará na perda imediata das Licenças, bem como instauração de procedimentos administrativos.

**Ressalta-se que, devido às especificidades dos empreendimentos e suas atividades informações e/ou documentos complementares ao roteiro orientativo deverão ser solicitados.**

Mediante o exposto esta Secretaria disponibiliza o seguinte roteiro:

CONTEÚDO BÁSICO

1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR E DO EMPREENDIMENTO

1.1. Identificação do Empreendedor:

- Nome;
- Endereço completo;
- Documento de identificação e CPF;
- Endereço para correspondência;
- Localização (Município, Distrito, Estado);
- Declaração de Informações Ambientais – DIA.

1.2. Identificação e Localização do Empreendimento:

- Nome;
- Razão Social;
- CNPJ e Inscrição Estadual;
- Documentos Administrativos que tem vencimento anual.
  - a) Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros (Habite-se);
  - b) Alvará de licença da SEFIN ou TLPL;
  - c) Licença da Vigilância Sanitária ou Protocolo;
  - d) IPTU.

## 2. IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA RESPONSÁVEL E/OU DO RESPONSÁVEL TÉCNICO PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

- Nome;
- Cópia da carteira profissional do Conselho de Classe;
- Anotação de Responsabilidade Técnica - ART ou Registro de Responsabilidade Técnica - RTT (atualizado);
- Cadastro de Consultor Ambiental - CCAM (atualizado);
- Como medida de segurança, sugere-se ao empreendedor rubricar todas as páginas do relatório apresentado;
- Contato (e-mail e número do telefone).

## 3. DESCRIÇÃO DO RELATÓRIO

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A caracterização do empreendimento deverá apresentar:

- Descrição completa do empreendimento, com informações sobre modificações realizadas em suas diferentes etapas, bem como mudanças futuras;
- Descrição completa do processo produtivo, acompanhado de fluxograma demonstrativo;
- Descrição dos produtos e subprodutos;
- Descrição da logística de escoamento do produto final;
- Produção diária, mensal e anual.

### 3.2. MATÉRIA-PRIMA/INSUMOS

- a) Tipo;
- b) Quantidade consumida;
- c) Procedência (Razão Social, CNPJ, alvará de funcionamento e Licença Ambiental);
- d) Armazenamento;
- e) Limpeza e desinfecção (frequência e quais produtos utilizados).

### 3.3. PROGRAMAS DE ACOMPANHAMENTO E MONITORAMENTO

- a) Laudos de qualidade da água utilizada no processo produtivo;
- b) Efluentes Líquidos (se aplicável)
  - Informar as características dos efluentes (quantidade e qualidade);
  - Tipo de tratamento utilizado (descrição, eficiência do tratamento comprovada por meio dos laudos laboratórios, relatório fotográfico de situações adversas e outros);
  - Análises laboratoriais (pontos de monitoramento - georreferenciado, parâmetros, Indicação da cadeia de custódia\* das amostragens coletadas, periodicidade);
  - Descrever medidas aplicadas em caso de identificação de problemas de operação e outros.

**OBS<sub>1</sub>:** Em caso de lançamento em recursos hídricos, apresentar laudo de qualidade, cuja amostragem deve incluir ponto de lançamento, montante e jusante do corpo hídrico.

c) Resíduos sólidos (se aplicável)

- Detalhar a geração de resíduos;
- Inventário de resíduos (identificação, quantificação e classificação técnica)
- Monitoramento (método, periodicidade e outros);
- Destinação e disposição final.

d) Ruídos e Vibração (se aplicável)

- Equipamentos que geram ruídos;
- Classificação do ruído;
- Pontos de medição dos ruídos;
- Níveis dos ruídos (gráficos e curva de ponderação);
- Raio (m) de alcance dos ruídos;
- Ações de controle destes ruídos.

**OBS<sub>2</sub>:** Em caso de obras de construção civil, apresentar informações conforme disposto no Termo de Referência para Licenciamento de Obras da Construção Civil.

e) Emissões atmosféricas (se aplicável)

- Unidades que geram emissões atmosféricas;
- Classificação do poluente;
- Tipo de tratamento;
- Monitoramento (pontos georreferenciados, parâmetros, metodologia de análise, periodicidade, informações meteorológicas, o alcance da poluição atmosférica no entorno e outros).

**OBS<sub>3</sub>:** Em caso de obras de construção civil, apresentar informações conforme disposto no Termo de Referência para Licenciamento de Obras da Construção Civil.

f) Laudo Radiométrico (no caso de ARB)

#### 3.4. IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

- Descrição dos possíveis impactos ambientais de acordo com as atividades realizadas;
- Medidas mitigadoras adotadas pelo empreendimento (deve constar a descrição das medidas mitigadoras adotadas em caráter corretivo e sua eficácia).

#### 4. TREINAMENTOS, CERTIFICADOS AMBIENTAIS E RELACIONAMENTO COM A SOCIEDADE (se aplicável)

- Informar treinamentos realizados sobre informações ambientais e de segurança do trabalho para os funcionários e fornecedores (mini-cursos, palestras, seminário e outros); Em caso de verdadeira informar o conteúdo, periodicidade, ministrante, apresentar cópias de certificados;
- Informar se possui Certificado Ambiental (tipo, validade e a procedência);

c) Relacionamento social (informar: programas sócio-ambiental, comunicação com a vizinhança, parceria com Organização Não Governamental - ONG e outros).

d) Relatório consolidado, acompanhado de anotação de responsabilidade técnica - ART ou Registro de Responsabilidade Técnica - RTT do elaborador, relativo aos treinamentos e demais ações realizadas, o qual deve apresentar:

- Dias de reunião e palestrantes;
- Carga horária;
- Materiais e métodos;
- Registro de participação de colaboradores do empreendimento;
- Registro fotográfico das reuniões.

5. Considerações Finais

6. Comprovante de Recolhimento da DAM (Documento de Arrecadação Municipal).

ANEXO 2

<b>loc norte</b>		<b>007243</b>
CLIENTE:	PABLO OFFICE	
VEÍCULO:	OTC 5904	
MOTORISTA:	OSVALDO	
NOME ENCARREGADO:		
DATA ENTREGA:	/ /	HORA:
DATA RETIRADA:	02 / 03 / 2015	HORA:
Nº CAIXA:	8484	OBS: Weverson
<small>Razão social: A.C.F. ALVES-EPP - End. Rua Alacid Nunes, nº 18 - Bairro Tenoné - Belém - Pará                  Cep: 66.820-020 - cnpj: 07.441.042/0001-07 - insc. est.: 15.301.863-1 insc. municipal: 165.222-6                  Tel: (91) 3226-1132 / 3347-9049 / 8273-2224 / 9195-8722</small>		

<b>loc norte</b>		<b>007242</b>
CLIENTE:	PABLO OFFICE	
VEÍCULO:	OTC 5904	
MOTORISTA:	OSVALDO	
NOME ENCARREGADO:		
DATA ENTREGA:	/ /	HORA:
DATA RETIRADA:	02 / 03 / 2015	HORA:
Nº CAIXA:	8484	OBS: Weverson Silva
<small>Razão social: A.C.F. ALVES-EPP - End. Rua Alacid Nunes, nº 18 - Bairro Tenoné - Belém - Pará                  Cep: 66.820-020 - cnpj: 07.441.042/0001-07 - insc. est.: 15.301.863-1 insc. municipal: 165.222-6                  Tel: (91) 3226-1132 / 3347-9049 / 8273-2224 / 9195-8722</small>		

<b>loc norte</b>		<b>007701</b>
CLIENTE:	PABLO OFFICE ESTADOS	
VEÍCULO:	OTC 5904	
MOTORISTA:	OSVALDO	
NOME ENCARREGADO:		
DATA ENTREGA:	/ /	HORA:
DATA RETIRADA:	03 / 03 / 2015	HORA:
Nº CAIXA:	57	OBS: Weverson Silva
<small>Razão social: A.C.F. ALVES-EPP - End. Rua Alacid Nunes, nº 18 - Bairro Tenoné - Belém - Pará                  Cep: 66.820-020 - cnpj: 07.441.042/0001-07 - insc. est.: 15.301.863-1 insc. municipal: 165.222-6                  Tel: (91) 3226-1132 / 3347-9049 / 8273-2224 / 9195-8722</small>		

<b>loc norte</b>		<b>007703</b>
CLIENTE:	PABLO OFFICE ESTADOS	
VEÍCULO:	OTC 5904	
MOTORISTA:	OSVALDO	
NOME ENCARREGADO:		
DATA ENTREGA:	/ /	HORA:
DATA RETIRADA:	03 / 03 / 2015	HORA:
Nº CAIXA:	11	OBS: Weverson Silva
<small>Razão social: A.C.F. ALVES-EPP - End. Rua Alacid Nunes, nº 18 - Bairro Tenoné - Belém - Pará                  Cep: 66.820-020 - cnpj: 07.441.042/0001-07 - insc. est.: 15.301.863-1 insc. municipal: 165.222-6                  Tel: (91) 3226-1132 / 3347-9049 / 8273-2224 / 9195-8722</small>		

