



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

MODELO DE ESTIMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nayara Severo Pupin

2022

CAMPO GRANDE | MS

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**MODELO DE ESTIMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AGREGADOS
RECICLADOS DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

NAYARA SEVERO PUPIN

Trabalho de Conclusão Final de Curso para defesa do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Sustentabilidade.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula da Silva Milani

CAMPO GRANDE

AGOSTO/2022



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



FOLHA DE APROVAÇÃO

NAYARA SEVERO PUPIN

MODELO DE ESTIMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovada pela Banca Examinadora em 23 de agosto de 2022, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Banca examinadora:

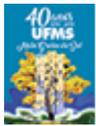
Dra. Ana Paula da Silva Milani - (Orientadora)

Dra. Dra. Luciana Paulo Gomes

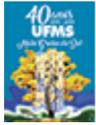
Dr. Willy Alves de Oliveira Soler

Dr. Fernando Silva Bernardes

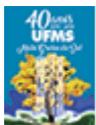
Dr. Daniel Anijar de Matos



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula da Silva Milani, Professora do Magistério Superior**, em 21/10/2022, às 07:50, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Willy Alves de Oliveira Soler, Professor do Magisterio Superior**, em 21/10/2022, às 09:12, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Paulo Gomes, Usuário Externo**, em 22/10/2022, às 13:16, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3623743** e o código CRC **B5A4B6CE**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

A Deus, que guia meus caminhos e me proporciona saúde e disposição para enfrentar todas as etapas desta árdua caminhada.

Aos meus pais Lacy e Milton, que sempre me apoiaram e incentivaram a estudar, fazendo o possível e o impossível para proporcionar uma boa educação.

Ao meu amor Fred, pela compreensão diária nas minhas ausências e pelo incentivo para eu concluir esta etapa.

A minha irmã Karina e família, pelo apoio.

A todos vocês, meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Obrigada Deus pela existência de tudo. Aos meus pais e minha irmã, por serem os incentivadores das minhas conquistas e por serem meu suporte. Ao Fred por estar sempre ao meu lado e por ser meu companheiro de vida.

Expresso minha gratidão à professora Ana Paula pela orientação, pelos ensinamentos e pela disponibilidade em ajudar e responder minhas infinitas dúvidas.

Agradeço a todos os colegas virtuais da Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade pela companhia e auxílio em diversas disciplinas, principalmente a Pollyanna, minha colega de desabafos e incentivos, apesar de nunca termos nos encontrado pessoalmente.

Sou grata aos professores do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade da UFMS por escolherem essa nobre profissão e me darem a honra de aprender com eles.

Agradeço às recicladoras de agregado de RCC da cidade de Campo Grande que sempre estiveram dispostas a me receber e fornecer os dados essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Sou grata ao IFMS e aos colegas de trabalho, por todo auxílio e compreensão nessa caminhada. Também agradeço as minhas amigas do tesouro, vocês são especiais.

Um agradecimento especial à CAPES por todo apoio; e a UFMS, por me proporcionar ensino de qualidade e gratuito ao longo desses dois anos.

RESUMO

A reciclagem dos resíduos da construção civil (RCC) é encorajada dentro dos novos preceitos de sustentabilidade e economia circular. O setor da construção civil percebeu a importância de quantificar os resíduos gerados e planejar sua reinserção no sistema, entretanto a maioria das empresas recicladoras não possuem previsibilidade de produção dos agregados reciclados, comprometendo suas vendas e a logística reversa no setor. O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo matemático do processo de reciclagem do RCC em uma recicladora de Campo Grande para previsão da produção dos agregados reciclados em tempo e volume, verificando a influência das variáveis no processo. Como ferramenta de análise foi utilizada a estatística, empregando para o tratamento dos dados a técnica de regressão linear múltipla. Também foi utilizado a metodologia de pesquisa *Survey*, por meio da aplicação de um formulário com os *stakeholders*, para compreender os motivos da pouca utilização do agregado reciclado de RCC nas obras/reformas. Como resultado, foi gerado um modelo estatístico formado pela variável dependente (volume de agregado de RCC produzido) e variáveis independentes relativas ao processo produtivo (tempo de funcionamento e volume inserido no britador). O modelo proposto obteve valor de R^2 ajustado = 0,9857, indicando que 99% do RCC produzido pode ser previsto a partir das variáveis livres consideradas. Com os dados coletados também foi possível estimar que 18,40% do volume de RCC inserido no britador se perde durante todo o processo. Já com a aplicação da *Survey*, verificou-se que a maioria dos participantes não sabe que a cidade possui recicladoras de RCC e conseqüentemente não utilizam o produto. Para haver o fomento à logística reversa do setor é preciso ocorrer divulgação dos agregados reciclados e garantir por meio da previsibilidade da reciclagem do RCC a produção do material.

Palavras-chave: RCC, agregado reciclado, regressão linear múltipla.

ABSTRACT

The recycling of construction and demolition waste (CDW) is encouraged by the new principles of sustainability and circular economy. The civil construction sector realized the importance of quantifying the waste generated and planning its reinsertion into the system, however most recycling companies do not have predictability of production of recycled aggregates, compromising their sales and reverse logistics in the sector. The general objective of this work is to propose a mathematical model of the CDW recycling process in a recycling plant in Campo Grande to predict the production of recycled aggregates in time and volume, verifying the influence of variables in the process. Statistics was used as an analysis tool, using the multiple linear regression technique for data treatment. The Survey research methodology was also used, through the application of a form with the stakeholders, to understand the reasons for the little use of recycled CDW aggregate in the works/renovations. As a result, a statistical model was generated formed by the dependent variable (volume of CDW produced) and independent variables related to the production process (operating time and volume inserted in the crusher). The proposed model obtained an adjusted R^2 value = 0.9857, indicating that 99% of the RCC produced can be predicted from the free variables considered. With the data collected, it was also possible to estimate that 18.40% of the raw material inserted in the crusher is lost during the entire process. With the application of the Survey, it was found that most participants do not know that the city has CDW recyclers and consequently do not use the product. In order to promote the sector's reverse logistics, it is necessary to disseminate the recycled aggregates and ensure the production of the material through the predictability of CDW recycling.

Keywords: CDW, recycled aggregate, multiple linear regression.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Coleta total de RCC nas regiões do Brasil entre 2010 e 2020..... | 17 |
| Figura 2 - Coleta per capita de RCC nas regiões do Brasil entre 2010 e 2020 | 17 |
| Figura 3 - Principais barreiras encontradas para aplicação da LR no Brasil | 19 |
| Figura 4 - Pátio de uma recicladora na cidade de Campo Grande/MS..... | 20 |
| Figura 5 - Etapas contempladas no PGRCC | 24 |
| Figura 6 - Destinação dos RCC, segundo suas classes | 24 |
| Figura 7 - Subcategorias do agregado reciclado..... | 25 |
| Figura 8 – Exemplo de LEV utilizado na cidade | 32 |
| Figura 9 - Exemplo de ECOPONTO | 32 |
| Figura 10 – Aterro de Entulhos Noroeste II..... | 33 |
| Figura 11 - Gestão do RCC na cidade de Campo Grande/MS..... | 33 |
| Figura 12 - Localização dos Ecopontos em Campo Grande/MS | 37 |
| Figura 13 - Fluxograma da Logística Reversa do RCC em Campo Grande/MS..... | 39 |
| Figura 14 - Composição gravimétrica dos RCC em Campo Grande | 40 |
| Figura 15 - Acúmulo de RCC em uma recicladora de Campo Grande/MS..... | 40 |
| Figura 16 - Fluxo da Pesquisa..... | 48 |
| Figura 17 - Questionário aplicado nas três recicladoras da cidade | 49 |
| Figura 18 - RCG com o pátio limpo..... | 50 |
| Figura 19 - Capacidade de pá do maquinário..... | 51 |
| Figura 20 - Pá carregadeira com volume superior a capacidade da concha..... | 51 |
| Figura 21 - Cone formado pela deposição natural do agregado reciclado de RCC | 52 |
| Figura 22 - Formulário enviado para os Agentes 5..... | 60 |
| Figura 23 - Resíduo armazenado no pátio aguardando segregação e britagem | 68 |
| Figura 24 - Resíduos classe B | 70 |

| | |
|---|----|
| Figura 25 - Cavaco de madeira..... | 70 |
| Figura 26 - Resíduo classe C (à esquerda) e classe D (à direita) | 71 |
| Figura 27 - Segregação dos resíduos no pátio..... | 71 |
| Figura 28 - Alimentação do equipamento com a pá carregadeira | 72 |
| Figura 29 - Bica corrida sendo produzida..... | 72 |
| Figura 30 - Britador de mandíbulas..... | 73 |
| Figura 31 - Processo de reciclagem do RCC após a britagem | 74 |
| Figura 32 - Materiais produzidos com suas respectivas faixas granulométricas | 74 |
| Figura 33 - Desobstrução do britador | 76 |
| Figura 34 - Produção paralisada devido à chuva..... | 77 |
| Figura 35 - Trabalhadores da recicladora..... | 78 |
| Figura 36 - Perda de material..... | 83 |
| Figura 37 - Teste de <i>Shapiro-Wilk</i> sobre a variável dependente (Y)..... | 85 |
| Figura 38 - Gráfico <i>boxplot</i> da variável dependente | 86 |
| Figura 39 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q <i>plot</i> para o volume produzido | 86 |
| Figura 40 - Gráfico de dispersão do volume produzido x volume inserido..... | 87 |
| Figura 41 - Gráfico de dispersão do volume produzido x tempo de funcionamento | 87 |
| Figura 42 - Análise de correlação entre todas as variáveis independentes do modelo..... | 88 |
| Figura 43 - Análise da multicolinearidade..... | 88 |
| Figura 44 – Gráficos de análise dos pressupostos..... | 90 |
| Figura 45 - Teste de <i>Breusch-Pagan</i> | 90 |
| Figura 46 - Teste de <i>Shapiro-Wilk</i> sobre os resíduos | 91 |
| Figura 47 - <i>Outliers</i> dos resíduos..... | 91 |
| Figura 48 - Análise do modelo 1 no programa R Studio | 92 |
| Figura 49 - Coeficientes padronizados | 93 |

| | |
|---|-----|
| Figura 50 – Intervalo com nível de confiança de 95% para cada um dos parâmetros..... | 94 |
| Figura 51 - Análise do modelo 2 no programa R Studio | 95 |
| Figura 52 – Intervalo com nível de confiança de 95% para o parâmetro tempo de funcionamento | 96 |
| Figura 53 - Análise AIC e BIC | 96 |
| Figura 54 - Gráfico da regressão linear múltipla | 97 |
| Figura 55 - Gráficos <i>Boxplots</i> | 100 |
| Figura 56 - Gráficos <i>Boxplots</i> referentes a cada faixa granulométrica | 101 |
| Figura 57 – <i>Layout</i> da Interface | 102 |
| Figura 58 - Operacionalização da <i>interface</i> | 103 |
| Figura 59 - Fórmulas utilizadas na interface | 103 |
| Figura 60 - Exemplo de modelagem..... | 104 |
| Figura 61 - Área de atuação e porte da empresa dos entrevistados..... | 106 |
| Figura 62 - O que entende sobre agregado reciclado de RCC? | 106 |
| Figura 63 - Percepção do uso do RCC..... | 107 |
| Figura 64 - Você se preocupa com o RCC gerado em sua obra? | 108 |
| Figura 65 - Motivos para não utilizar o agregado reciclado de RCC | 110 |
| Figura 66 - Requisitos para o agregado reciclado ser mais atrativo que o convencional | 111 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Exemplos de atrasos nas implementações das metas do PCSCG e falta de fiscalização nas ações do PIGRCC..... | 34 |
| Tabela 2 - Estratégias de incentivo ao uso de agregado reciclado | 36 |
| Tabela 3 - Agentes envolvidos na Logística Reversa do RCC | 38 |
| Tabela 4 - Sugestões para melhorias na gestão do RCC para cada ação de responsabilidade da PMCG apontada no PIGRCC | 42 |
| Tabela 5 - Modelos para estimar a geração de RCC na fase de projetos..... | 43 |
| Tabela 6 - Dados para coleta..... | 54 |
| Tabela 7 - Respostas das recicladoras..... | 65 |
| Tabela 8 - Volume de resíduo recebido pela RCG em 2020 | 69 |
| Tabela 9 - Possibilidades de utilização do agregado reciclado | 75 |
| Tabela 10 – Dias de precipitação na cidade de Campo Grande/MS..... | 77 |
| Tabela 11 - Dados coletados | 79 |
| Tabela 12 - Dados utilizados na Regressão Linear Múltipla | 84 |
| Tabela 13 - Comparativo entre os resultados obtidos pelo modelo proposto e pelo coletado <i>in loco</i> | 98 |
| Tabela 14 - Dados utilizados na elaboração do programa | 99 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|----------|--|
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| RCC | Resíduo da Construção Civil |
| LR | Logística Reversa |
| ABRELPE | Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| PNRS | Política Nacional dos Resíduos Sólidos |
| PIGRCC | Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil |
| GRCC | Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil |
| IPEA | Instituto de Pesquisa Econômica Avançada |
| EMLUR | Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana |
| USIBEN | Usina de Beneficiamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil |
| UBA | Usina de Beneficiamento da Atrevida |
| URPV | Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes |
| UEP | Unidades de Entrega Provisória |
| PMGIRS | Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos |
| PCSCG | Plano de Coleta Seletiva de Campo Grande |
| LEV | Local de Entrega Voluntária |
| PEV | Ponto de Entrega Voluntária |
| E-CTR | Controle de Transporte de Resíduos por meio eletrônico |
| AGETTRAN | Agência Municipal de Transporte e Trânsito |
| PMCG | Prefeitura Municipal de Campo Grande |
| ATT | Área de Transbordo e Triagem |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| BIM | <i>Building Information Model</i> (Modelagem de Informação da Construção) |
| IGRCC | Índice de Gestão Municipal de Resíduos da Construção Civil |

| | |
|--------------|---|
| AHP | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo Hierárquico Analítico) |
| APP | Área de preservação permanente |
| Sinduscon MS | Sindicato Intermunicipal da Indústria da Construção do Estado de Mato Grosso do Sul |
| NBR | Norma Brasileira |
| ARCI | Agregado reciclado cimentício |
| ARCO | Agregado reciclado de concreto |
| ARM | Agregado reciclado misto |
| RCG | Recicladora de Campo Grande |
| CREA | Conselho Regional de Engenharia e Agronomia |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1. | <i>Justificativa.....</i> | 20 |
| 1.2. | <i>Objetivos</i> | 21 |
| 1.3. | <i>Estrutura do trabalho</i> | 22 |
| 2. | REFERENCIAL TEÓRICO | 23 |
| 2.1. | <i>Planos de Gestão/Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no Brasil.</i> | 23 |
| 2.1.1. | Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de Belo Horizonte – MG | 26 |
| 2.1.2. | Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de João Pessoa – PB | 27 |
| 2.1.3. | Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de Curitiba - PR . | 29 |
| 2.1.4. | Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de São José dos Campos –SP | 30 |
| 2.1.5. | Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de Campo Grande – MS | 31 |
| 2.1.6. | Panorama dos planos municipais | 34 |
| 2.2. | <i>Logística Reversa do RCC.....</i> | 35 |
| 2.2.1 | Logística Reversa do RCC na cidade de Campo Grande/MS | 37 |
| 2.3. | <i>Modelagem na área de Gestão/Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no Brasil --</i> | 42 |
| 3. | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 47 |
| 3.1. | <i>Delineamento da pesquisa</i> | 48 |
| 3.2. | <i>Etapas da pesquisa.....</i> | 49 |
| 3.2.1. | Estudo preliminar | 49 |
| 3.2.2. | Coleta dos dados | 50 |
| 3.2.3. | Tratamento dos dados | 55 |
| 3.2.3.1. | Tratamento dos dados para a regressão linear múltipla..... | 55 |

| | |
|---|------------|
| 3.2.3.2. Tratamento dos dados para desenvolvimento da interface | 57 |
| 3.2.4. Desenvolvimento da interface..... | 58 |
| 3.2.5. Aplicação de formulário com os possíveis <i>Stakeholders</i> | 58 |
| 3.2.5.1. Definição da amostra | 58 |
| 4. RESULTADOS | 65 |
| 4.1. <i>Aplicação de questionário padronizado nas recicladoras da cidade de Campo Grande/MS</i> | 65 |
| 4.2. <i>Funcionamento da recicladora em estudo</i> | 68 |
| 4.3. <i>Influência das variáveis do processo de reciclagem na produção do agregado reciclado do RCC</i> | 75 |
| 4.3.1. Paralisação dos serviços para desobstrução do britador de mandíbulas | 75 |
| 4.3.2. Fator climático..... | 76 |
| 4.3.3. Mão-de-obra | 77 |
| 4.4. <i>Desenvolvimento da modelagem e da interface</i> | 78 |
| 4.4.1. Apresentação dos dados coletados | 78 |
| 4.4.2. Imprecisão na coleta dos dados | 82 |
| 4.4.3. Análise estatística dos dados e desenvolvimento do modelo matemático | 83 |
| 4.4.3.1. Análise da variável dependente (Y)..... | 85 |
| 4.4.3.2. Análise das variáveis independentes | 86 |
| 4.4.3.3. Análise dos resíduos | 89 |
| 4.4.3.4. Análise de regressão | 91 |
| 4.4.3.5. Aplicação do modelo para estimar o volume produzido na RCG | 98 |
| 4.4.4. Análise estatística dos dados e desenvolvimento da interface..... | 98 |
| 4.4.4.1. Tratamento dos dados para a confecção da interface | 99 |
| 4.4.4.2. Desenvolvimento da interface | 102 |
| 4.5. <i>Questionário aplicado aos agentes envolvidos (construtores/empreiteiros)</i> | 105 |
| 5. CONCLUSÃO | 113 |
| 5.1. <i>Sugestão para trabalhos futuros</i> | 114 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------|------------|
| 6. | REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO..... | 116 |
|-----------|---------------------------------------|------------|

1. INTRODUÇÃO

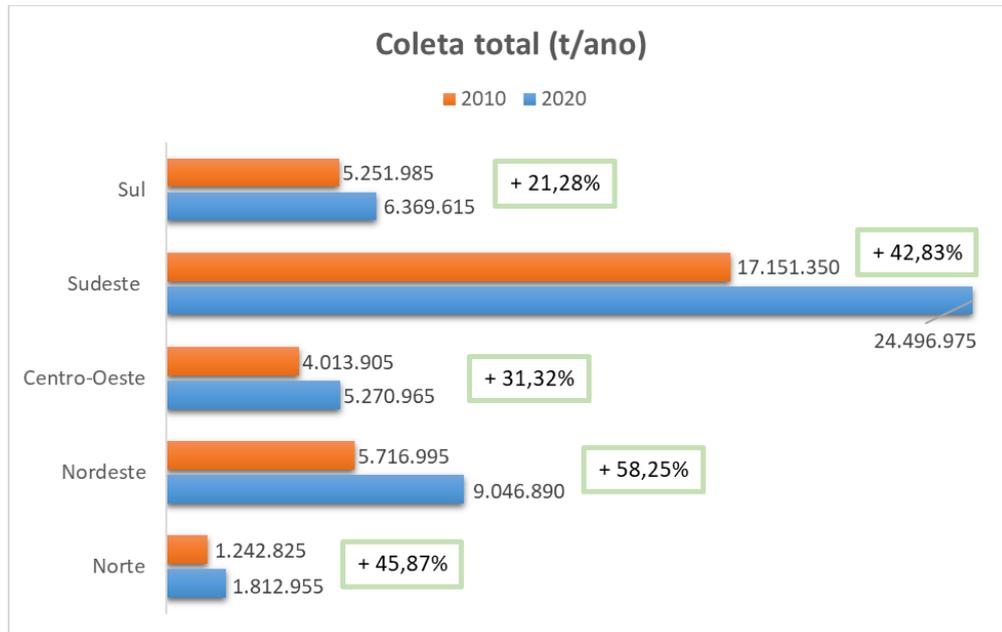
A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307 de 2002 foi instituída como primeiro instrumento regulatório da gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC), visando disciplinar os envolvidos na geração. Segundo ela, os RCC são:

Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., denominado de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Atualmente a China é o país que mais gera RCC no mundo, produzindo mais de 2,3 bilhões de toneladas deste resíduo anualmente (YAZDANI et al., 2021). Enquanto isso, os Estados Unidos produzem cerca de 700 milhões de toneladas e a União Europeia é responsável por gerar mais de 800 milhões de toneladas por ano (WU et al., 2019). A indústria da construção civil também é responsável por ocupar cerca de 23% dos aterros sanitários em Hong Kong (YU et al., 2013), 27% no Canadá (YEHEYIS et al., 2013), 29% no Estados Unidos, 40% no Brasil e 44% na Austrália (AJAYI et al., 2016). O RCC deve ser gerenciado de forma eficaz, caso contrário pode gerar efeitos sociais, econômicos e ambientais.

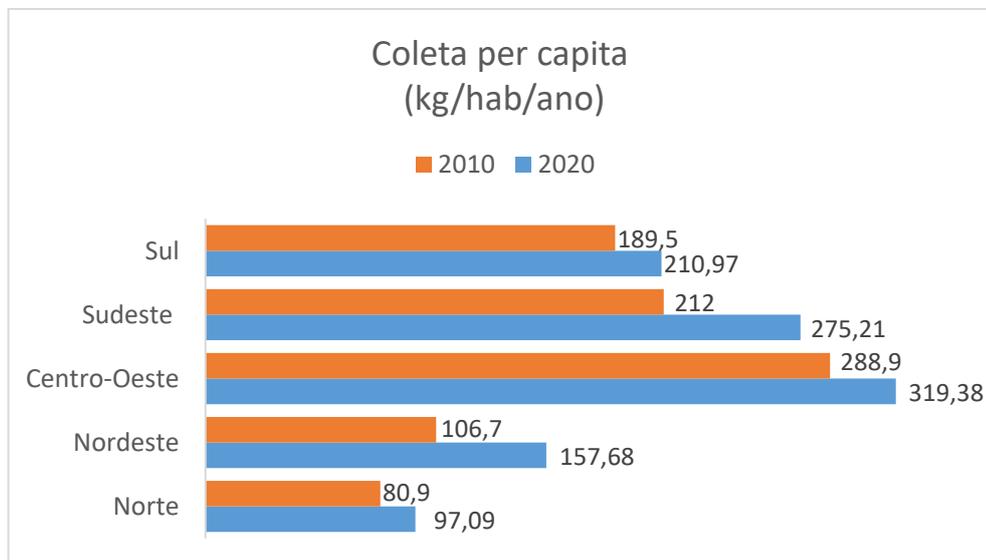
No Brasil, a quantidade de RCC coletado pelos municípios registrou aumento quantitativo em valor absoluto no período analisado, passando de 33 milhões de toneladas, em 2010, para 44,5 milhões, em 2019 (ABRELPE, 2020). Já em 2020, foram coletados cerca de 47 milhões de toneladas de RCC, o que representa um crescimento de 5,6% quando comparado ao ano anterior (ABRELPE, 2021). Com isso, a quantidade coletada per capita cresceu de 174,3 kg em 2010 para 221,2 kg por habitante em 2020 (ABRELPE, 2021). A Figura 1 retrata o quantitativo coletado de RCC por região, referente aos anos de 2010 e 2020. A região Nordeste aumentou a coleta de RCC em 58,25% quando comparado ao ano de 2010. Já a região Sudeste se destaca com 52% de participação no total coletado do país, registrando aproximadamente 24,5 milhões de toneladas em um ano (Figura 1). Por outro lado, a região que se destaca em termos de coleta per capita é a Centro-Oeste, com quase 319 kg por habitante/ano, conforme Figura 2 (ABRELPE, 2021).

Figura 1 - Coleta total de RCC nas regiões do Brasil entre 2010 e 2020



Fonte: Autora (2022). Adaptado de ABRELPE (2020) e ABRELPE (2021)

Figura 2 - Coleta per capita de RCC nas regiões do Brasil entre 2010 e 2020



Fonte: Autora (2022). Adaptado de ABRELPE (2020) e ABRELPE (2021)

Os RCC representam, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos tanto no Brasil como em outros países. Os descartes irregulares e os aterros clandestinos tornaram-se uma realidade no território nacional. Isso evidencia um mau gerenciamento desses materiais, isto é, desperdício econômico de resíduos passíveis de reciclagem. Além disso, observa-se que não há uma destinação correta ou um reaproveitamento eficiente dos materiais utilizados nos canteiros de obras da construção civil (ABRELPE, 2018).

A reciclagem dos RCC é encorajada dentro dos novos preceitos de sustentabilidade e economia circular, em que os benefícios se estendem ao aumento da vida útil de jazidas minerais, à conservação dos recursos naturais e à eliminação da deposição ilegal desses resíduos nas cidades (BARBOZA et al., 2019). Ela é um importante canal para reduzir os impactos gerados por essa indústria e produzir materiais de construção mais baratos. O RCC apresenta valor agregado e pode ser explorado de forma positiva pelos empresários. Os diferentes produtos obtidos nesse processo têm se mostrado como boas alternativas ao agregado natural em diversas aplicações, como base e sub-base de pavimentos, cobertura primária de vias, agregado para concretos e argamassas, e matéria-prima para a fabricação de tijolos e blocos (GUALBERTO; AZEVEDO; PEREIRA, 2018).

As vantagens econômicas da reciclagem em substituição às deposições irregulares de RCC podem ser notadas nos custos de limpeza urbana para as administrações municipais, motivado pelo alto custo do descarte irregular, correção da deposição com aterramento e controle de doenças, contra um custo 25% menor para a reciclagem (CARNEIRO et al., 2001). Além disso, a eficiência da reciclagem do RCC pode ser melhorada caso exista um conjunto de instruções acompanhadas de avanços tecnológicos (Tessaro et al., 2012).

A reciclagem de RCC está vinculada a eficiência da Logística Reversa (LR) no setor. Esta é uma das possibilidades para o gerenciamento adequado desse resíduo. O maior desafio para promover a reciclagem e a utilização de materiais reciclados em obras é mostrar a possibilidade de obter ganhos financeiros com a comercialização e utilização de agregados reciclados (LUCHEZZI e TERENCE, 2015). A Lei Federal nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu Art. 3º, inc. XII, menciona que a LR é caracterizada “por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada”.

A LR, quando bem planejada e executada, pode agregar valor ao RCC, promover a reciclagem e a disposição final ambientalmente adequada. Segundo Schamne e Nagali (2016), as principais barreiras para aplicação da LR no Brasil estão dispostas na Figura 3:

Figura 3 - Principais barreiras encontradas para aplicação da LR no Brasil

| | |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">Área econômica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de incentivos governamentais; - Alto custo para a implantação do sistema logístico reverso. | <p style="text-align: center;">Área social</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta treinamento para os profissionais; - Leis e diretrizes são incipientes; - Falta de conscientização sobre o tema. |
| <p style="text-align: center;">Área ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impactos ambientais. | <p style="text-align: center;">Área tecnológica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baixo nível de conhecimento técnico; - Falta de empresas especializadas. |

Fonte: Autora (2022). Adaptado de Schamne e Nagali (2016)

Os autores também destacam que existe uma dificuldade por parte dos geradores de resíduos em reutilizar os resíduos ou destiná-los de maneira adequada de acordo com as legislações vigentes. Desta forma, segregar e destinar os RCC é uma das maiores dificuldades para a LR do setor. Tal fato mostra a necessidade de se desenvolver ferramentas que auxiliem as empresas a melhorar seus processos de gerenciamento de resíduos, de modo a cumprir com as exigências legais (MORAES, 2018).

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2014), a maioria dos municípios brasileiros coletam apenas os RCC lançados ou abandonados nos logradouros públicos, não respeitando o determinado pelas diretrizes. Verifica-se por meio do instrumento legal, que apesar da responsabilidade do setor privado, cabe ao poder público criar as condições necessárias para o gerenciamento adequado dos RCC, sendo os municípios os responsáveis pela gestão e destinação ambientalmente correta desses resíduos para a efetiva redução dos impactos ambientais (BRASILEIRO; MATTOS, 2015). Este cenário, onde a maioria ainda não atendeu as determinações do CONAMA e não estão em conformidade com a PNRS, fez com que os municípios atuassem como agentes corretivos, arcando com custos que poderiam ser evitados se houvesse o planejamento do Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil (GRCC) e se as diretrizes estipuladas por leis fossem cumpridas (LIMA, 2012).

A cidade de Campo Grande/MS, foco desta pesquisa, possui diretrizes para o GRCC desde 2010, que foram estabelecidas pela Lei Municipal nº 4.864 e regulamentadas em 2017 pelo Decreto Municipal nº 13.192. Este dispôs sobre a gestão dos RCC e instituiu o Plano

Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC), que é voltado à facilitação da correta disposição, ao disciplinamento dos fluxos e dos agentes envolvidos e à destinação adequada dos resíduos. Ele também determina as responsabilidades de quem gera o resíduo, comprometendo-o a destinar de forma adequada os materiais resultantes de construção, demolição, reformas e reparo.

Maia (2020) realizou algumas entrevistas com os agentes que estão diretamente envolvidos no processo de logística reversa dos RCC em Campo Grande. Segundo as empresas receptoras e recicladoras dos resíduos, em 75% dos pátios está ocorrendo empilhamento de entulhos recebidos (Figura 4). Elas alegam três principais fatores para que isso ocorra: a quantidade de entulho recebida é muito alta, as máquinas de reciclagem não dão conta da grande quantidade que chega nos pátios e não existe uma destinação final exata para o material triado e processado, ou seja, fica no pátio esperando alguém ter interesse.

Figura 4 - Pátio de uma recicladora na cidade de Campo Grande/MS



Fonte: Autora (2020)

1.1. Justificativa

É notório que a implementação eficiente do GRCC e da LR ainda são obstáculos para os gestores municipais, principalmente devido à complexidade da gestão e pela quantidade de agentes envolvidos. Diante desta situação desfavorável, tanto o setor acadêmico quanto o industrial perceberam a importância de modelar a geração de RCC para entender a

quantidade de resíduos gerados (BOSSINK E BROUWERS, 1996; POON, 1997; WANG et al., 2020). De uma perspectiva da administração, a quantificação confiável da geração de resíduos da construção fornece a base para a formulação de políticas e diretrizes do GRCC (MAK et al., 2019). A modelagem da geração de RCC facilita muitas práticas de gerenciamento, como a priorização de diferentes tipos de resíduos da construção, o planejamento de áreas de armazenamento no local para RCC e o encontro de soluções de compensação entre descarte e reciclagem (WU et al., 2014).

Tendo em vista que não foram encontrados estudos sobre a previsão do volume de agregado reciclado produzido a partir de um quantitativo de RCC e sabendo que essa informação é fundamental para as empresas recicladoras se programarem para conseguirem suprir os *stakeholders*, a justificativa deste trabalho é auxiliar as recicladoras a terem previsibilidade de sua produção através de uma modelagem simplificada, sendo possível estimar o volume de agregado reciclado produzido em cada faixa granulométrica e o tempo para fabricação do material. Assim, as recicladoras diminuirão seus estoques de RCC e terão controle de sua produção, agregando valor ao processo e fomentando a LR.

1.2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é propor um modelo matemático para previsão da produção de agregados reciclados em tempo e volume em uma recicladora de RCC na cidade de Campo Grande.

Especificamente pretende-se:

- Desenvolver uma interface numa planilha eletrônica, para previsibilidade da produção dos agregados reciclados conforme a distribuição granulométrica;
- Verificar a influência das variáveis do processo de reciclagem na produção do agregado reciclado do RCC;
- Indicar critérios relevantes para a melhora do sistema de logística reversa dos resíduos da construção civil, com base na opinião dos agentes envolvidos (construtores/empreiteiros).

1.3. Estrutura do trabalho

As estratégias de pesquisa adotadas para alcançar os objetivos propostos se organizam em 6 capítulos:

O capítulo 1, introdução, contextualiza o problema a ser tratado, justifica o porquê da pesquisa e apresenta os objetivos.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico, que inicialmente aborda os planos de gestão/gerenciamento de RCC no Brasil. Em seguida, há o panorama de planos municipais de algumas cidades brasileiras, com foco na cidade de Campo Grande. Em seguida, são abordados os principais temas sobre logística reversa do RCC na capital sul-mato-grossense. Na última etapa desta seção, é realizada uma revisão sobre a modelagem na área de gestão/gerenciamento de RCC.

No capítulo 3 são apresentados os procedimentos metodológicos empregados para atingir os objetivos estabelecidos, detalhando o tipo de pesquisa empregada, sua classificação, os instrumentos para coleta e análise dos dados.

Os resultados são apresentados no capítulo 4.

Já o capítulo 5 apresenta as considerações finais e as conclusões, sintetizando o aprendizado que esta pesquisa proporcionou, as suas contribuições e sugestões para futuros trabalhos.

O capítulo 6 contém as referências bibliográficas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

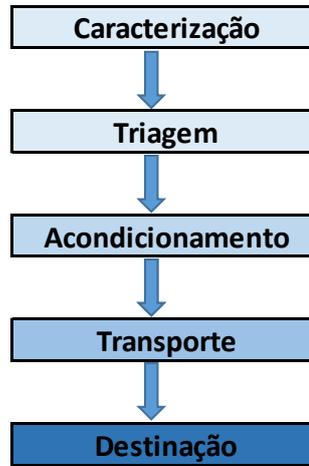
2.1. Planos de Gestão/Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no Brasil

A Resolução CONAMA n° 307 de 2002, em seu artigo 3º, classifica os RCC em quatro classes: Classe A (recicláveis como os agregados); B (recicláveis para outras destinações como plásticos, papel/papelão, metais, entre outros); C (sem tecnologia disponível para reciclagem e aproveitamento, como o isopor) e D (perigosos como tintas, solventes, óleos, fibrocimentos com amianto, entre outros). Já em seu artigo 5º, menciona sobre a implementação da gestão dos resíduos da construção civil, que é feita com o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil. Este é elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Deverão constar do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil:

- I - as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local e para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores;
- II - o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento;
- III - o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e reservação de resíduos e de disposição final de rejeitos;
- IV - a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas;
- V - o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;
- VI - a definição de critérios para o cadastramento de transportadores;
- VII - as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos;
- VIII - as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação (BRASIL, 2002).

Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão contemplar as seguintes etapas, conforme a Figura 5:

Figura 5 - Etapas contempladas no PGRCC



Fonte: Autora (2021). Adaptado do art. 9º da Resolução CONAMA nº 307 de 2002.

Os resíduos da construção civil, após triagem, deverão ser destinados das seguintes formas (Figura 6):

Figura 6 - Destinação dos RCC, segundo suas classes

| | |
|-----------------|---|
| Classe A | deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros; |
| Classe B | deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura; |
| Classe C | deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas; |
| Classe D | deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. |

Fonte: Autora (2021). Adaptado do art. 10º da Resolução CONAMA nº 307 de 2002.

Segundo a NBR (Norma Brasileira) 15116/2021, o agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção classe A, com características técnicas para aplicação em obras de engenharia. Ele é dividido em três subcategorias, descritas na Figura 7:

Figura 7 - Subcategorias do agregado reciclado

| ARCI (Agregado reciclado cimentício) | ARCO (Agregado reciclado de concreto) | ARM (Agregado reciclado misto) |
|---|--|--|
| Agregado reciclado constituído predominantemente por materiais cimentícios diversos (concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto etc.), podendo incluir teores reduzidos de cerâmica vermelha. | Agregado reciclado constituído predominantemente por resíduos de concreto. | Agregado reciclado constituído por uma mistura de materiais cimentícios (concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto etc.) e materiais cerâmicos (blocos e telhas de cerâmica vermelha etc.). |

Fonte: Autora (2022). Adaptado da NBR 15116 (2021)

Vale ressaltar que segundo a PNRS, a elaboração do Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos é requisito obrigatório para que municípios tenham acesso aos recursos da União, que devem ser destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e manejo de resíduos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.

No ano de 2012, o Instituto de Pesquisa Econômica Avançada (IPEA) realizou um diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil no Brasil. Neste estudo, constatou-se que cerca de 1% dos 5.568 municípios brasileiros estabeleceram seus planos de gerenciamento de RCC (MARQUES NETO, 2009, apud IPEA, 2012). De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2010, apud IPEA, 2012), dos 5.568 municípios brasileiros, 4.031 municípios (72,40%) apresentam serviços de manejo dos RCC. Contudo, apenas 392 municípios (7,04%) possuem alguma forma de processamento dos RCC, como reaproveitamento dos agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos ou triagem e trituração dos resíduos classe A.

Para melhor compreensão sobre o andamento dos Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC) nas cidades brasileiras, foi selecionado alguns municípios com PIGRCC. O critério utilizado para a escolha dos mesmos foi a existência de diagnóstico da implantação do PIGRCC publicado por meio de trabalhos técnicos-científicos e que contemplasse cidades de norte ao sul do país.

2.1.1. Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de Belo Horizonte - MG

A cidade de Belo Horizonte destaca-se por ter sido pioneira no cenário nacional pela implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos e no processo de reciclagem de RCC. No início dos anos 1990, foi elaborado o Plano de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil no município, sendo esse implantado em 1995. Ele foi pioneiro no país e serviu como referência para a elaboração da Resolução nº 307 do CONAMA, expandindo a lógica do plano de gestão em nível nacional (BESSA et al. 2019).

Em 2012, a Prefeitura de Belo Horizonte publicou a lei 10.522 que instituiu o Sistema de Gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e de Resíduos Volumosos e o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos. Este tem como objetivo o disciplinamento dos agentes envolvidos e a destinação ambientalmente adequada dos resíduos da construção civil e dos resíduos volumosos gerados no Município. Através dessa lei, os geradores de RCC passaram a estar obrigados a elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos da construção Civil sendo, também, responsáveis pela gestão dos resíduos (Belo Horizonte, 2012).

Atualmente, o sistema de gerenciamento de resíduos da cidade conta com 35 Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPV) e duas Estações de Tratamento. Desde 2015, foram implementadas, também, as Unidades de Entrega Provisória (UEP). A diretriz aplicada pela Prefeitura indica os locais onde as unidades devem ser implantadas, que são pontos com maior incidência de disposição clandestina de RCC. De acordo com a situação, as UEP podem permanecer nos locais tornando-se URPV ou podem ser desativadas (Resende, 2016).

Em abril de 2017, a Prefeitura lançou o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte (PMGIRS). Este é um instrumento de planejamento estratégico municipal, que contempla as diretrizes e ações para o manejo ambientalmente adequado e sustentável dos resíduos, assim como para a educação ambiental e mobilização social, em um horizonte de 20 anos, sendo assim um Plano que enfatiza a sustentabilidade econômica e ambiental e a inclusão social. O plano traz medidas com o fim de otimizar o sistema vigente, visando à educação ambiental de qualidade, controle, comunicação e

acompanhamento social, sustentabilidade financeira e ambiental, à modernização e otimização operacional, etc. (Belo Horizonte, 2018).

Segundo Bessa et al. (2019) o atual panorama do gerenciamento dos resíduos sólidos em Belo Horizonte mostra que o município mantém uma estrutura apropriada para o funcionamento da coleta, do transporte e da triagem de RCC e que tem buscado, nos últimos anos, destinar uma maior parcela dos RCC para triagem e reutilização. Apesar de alguns cortes orçamentários, a Prefeitura segue com Estação de Reciclagem de Entulho como ponto de coleta e processamento de parte dos RCC coletados no município.

Já Resende (2016) constatou diversos problemas da gestão de RCC como a desorganização do sistema de coleta e transporte por caçambeiros, favorecendo o descarte clandestino de entulho, e a existência de uma grande deficiência no que diz respeito a medidas relacionadas à não-geração e à minimização dos RCC. Com relação à reciclagem, o autor concluiu que a estrutura pública e privada destinada a esse fim é mal utilizada, principalmente devido à atuação inadequada de caçambeiros e empresas de terraplanagem que também prestam serviços de bota-fora.

2.1.2. Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de João Pessoa - PB

No Município de João Pessoa, capital paraibana, a Lei Municipal nº 11.176/2007 instituiu em 2007 o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição, cujo objetivo é a facilitação da correta disposição, o disciplinamento dos fluxos e dos agentes envolvidos e a destinação adequada dos resíduos da construção civil e demolição gerados na cidade (JOÃO PESSOA, 2007).

A mesma lei municipal aborda que os grandes volumes de resíduos da construção civil e demolição, superiores a 2,5 m³ por descarga, devem ser destinados à rede de área para recepção de grandes volumes, onde devem ser objeto de triagem e destinação adequada. As soluções para a destinação dos resíduos devem combinar compromisso ambiental e viabilidade econômica, garantindo a sustentabilidade e as condições para a reprodução da metodologia utilizada pelos construtores (JOÃO PESSOA, 2007).

A preocupação com a não geração dos resíduos está presente na implantação e consolidação do programa de gestão de resíduos. Os benefícios almejados com a implantação

PIGRCC são organização e limpeza do canteiro, triagem de resíduos, impedindo sua mistura com insumos; reaproveitamento de resíduos antes de descartá-los; quantificação e qualificação dos resíduos descartados, possibilitando a identificação de possíveis focos de desperdício de materiais (MIRANDA et al., 2019).

Segundo Medeiros (2018), na cidade de João Pessoa a responsabilidade é compartilhada entre geradores, transportadores e receptores ocorre da seguinte maneira:

- Os RCC são gerados por construtoras ou pessoas físicas ou jurídicas;
- Os resíduos são transportados por empresas transportadoras de ação privada de coleta regulamentada, cadastradas pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), que tem por obrigação além do transporte e destino, manter as caçambas em conformidade com a regulamentação específica, utilizar dispositivos de cobertura, fornecer aos geradores comprovantes identificando a destinação dos resíduos coletados, volumes, tipos de resíduos, prazo de uso da caçamba e etc.;
- Os RCC são depositados na Usina de Beneficiamento de resíduos sólidos da construção civil (USIBEN) quando em grande quantidade (maior que 2,5 m³), onde ocorre o transbordo, a triagem e a reciclagem dos resíduos Classe A. Quando os resíduos Classe A e B são realizados pela transportadora da Atrevida, são depositados na Usina de Beneficiamento da Atrevida (UBA);
- Após a triagem, os resíduos da classe A ficam na USIBEN, para passarem pelo processo de reciclagem. Os não recicláveis são encaminhados para o aterro sanitário de João Pessoa;

De acordo com Viana (2009), 69,23% das empresas geradoras de RCC realizam suas coletas com transportadoras clandestinas, ou seja, transportadoras não cadastradas na Prefeitura Municipal de João Pessoa, onde 41,15% destas empresas não sabem o destino destes resíduos. As outras que tem conhecimento sobre a destinação dos resíduos, cita locais inapropriados para deposição.

Para Medeiros (2018), os geradores deveriam se conscientizar quanto a produção de resíduos e contratar somente transportadoras cadastradas na EMLUR; evitando a disposição

final em lugares inapropriados. Também seria necessário desenvolver uma política de incentivo a utilização dos materiais reciclados de RCC, diminuindo o impacto causado pela retirada de materiais da natureza e diminuindo o estoque na USIBEN, já que sua capacidade se encontra no limite.

2.1.3. Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de Curitiba - PR

Em Curitiba, o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil é regulamentado pelo Decreto nº 1.068/04. Este foi implementado em 2004 e tem por objetivo disciplinar o manuseio e disposição dos resíduos produzidos nos canteiros de obras com a participação de toda cadeia produtiva, incluindo transportadores e áreas de destinação final. O PIGRCC classifica o gerador de acordo com o volume de resíduo acumulado. Também define quem são os pequenos geradores, aqueles que geram a quantidade máxima de 2.500 litros ou 2,5m³ de RCC classe A e C, num intervalo superior a dois meses, e estabelece que os empreendedores considerados grandes geradores, ou seja, construção com área construída acima de 600,00m² ou demolição com área acima de 100,00 m², devam elaborar e executar os Projetos de Gerenciamento de RCC (CURITIBA, 2004).

A classificação do gerador influencia diretamente em como deve ocorrer a destinação final do RCC. A separação do resíduo, a contratação do transporte e da empresa pública ou privada receptora do RCC é de responsabilidade do gerador. Este plano integrado é composto pelo Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, direcionado aos pequenos geradores e pelo Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, direcionado aos grandes geradores de resíduos (CURITIBA, 2004).

Segundo Miranda et al. (2014), a gestão dos RCC em Curitiba se caracteriza pela gestão corretiva e pouco inovadora. Embora o poder público tenha investido na implantação do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, por exemplo, não houve investimento em projetos de equipamentos urbanos para recebimento de materiais provenientes dos pequenos geradores, que correspondem à parcela significativa dos RCC gerados no município. Ainda segundo os autores, o atual modelo de gestão de resíduos de Curitiba é ineficiente na medida em que não contempla a gestão preventiva com relação aos pequenos geradores e ainda apresenta diversos pontos de despejo irregular de RCC,

principalmente nos bairros mais afastados e periféricos ao centro da cidade, o que dificulta a fiscalização e o gerenciamento dos RCC.

2.1.4. Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de São José dos Campos -SP

A gestão de RCC do município de São José dos Campos iniciou em 2006 com a promulgação da Lei municipal nº 7.146, que instituiu o Plano de Gerenciamento e o Sistema de Gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos. A lei definiu quem são os grandes geradores de RCC e determinou para estes, a obrigatoriedade de elaboração de planos de gerenciamento dos RCC, que compõem e são avaliados em processos de liberação do Habite-se (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2006). De forma complementar, foi promulgada a Lei municipal nº 8.646/2012 visando à incorporação, em cadastros de monitoramento, das informações sobre os transportadores de RCC (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2012).

A Lei nº 7.146/06 definiu ações para o desenvolvimento de um sistema de gestão de RCC, além dos seguintes componentes de infraestrutura:

- Rede de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e serviço disque-coleta para pequenos volumes de resíduos;
- Áreas de recepção de grandes volumes, tais como Áreas de Transbordo e Triagem (ATT) e áreas de reciclagem e aterros;
- Previsão de ações para informação e educação ambiental, para o controle e a fiscalização das atividades e para o núcleo de gestão permanente;
- Obrigatoriedade de cadastramento dos transportadores de RCC;
- Limitação volumétrica dos pequenos geradores, em 1 m³ por descarga de resíduos.

No estudo de Guimarães e Fiore (2020) foi verificado que o desempenho da gestão de RCC no município de São José dos Campos em 2017, obtido com o uso da ferramenta de análise de dados quanti-qualitativos, variou entre péssimo e razoável para as dimensões da sustentabilidade. As dimensões avaliadas como de menor desempenho foram a econômica e

social, evidenciando que todo o esforço de manejo dos resíduos ainda ocorre às expensas do Poder Público local e que a participação social ainda é pequena. Os autores ressaltaram que, a partir da implementação das metas associadas aos RCC, já especificadas no PMGIRS, o desempenho da gestão pode alcançar patamares classificados como bons e ótimos.

Isso demonstra que o município tem conhecimento das oportunidades de aprimoramento do sistema implantado e intenciona solucioná-los. No momento, apenas 37% do conteúdo mínimo do PMGIRS, estipulado pela PNRS, está sendo trabalhado no município. Os mesmos autores concluíram que o sistema de gestão de RCC do município possui, de modo geral, baixa efetividade, principalmente por não possuir mecanismos capazes de atender requisitos considerados mais significativos pelos próprios gestores públicos.

2.1.5. Plano Integrado de Gerenciamento de RCC da Cidade de Campo Grande - MS

Na cidade de Campo Grande/MS as diretrizes para o gerenciamento do RCC foram estabelecidas em 2010 pela Lei Municipal nº 4.864 e regulamentada em 2017 pelo Decreto Municipal nº 13.192, que dispôs sobre a gestão dos RCC e instituiu o PIGRCC. Este é voltado à facilitação da correta disposição, ao disciplinamento dos fluxos e dos agentes envolvidos e à destinação adequada dos resíduos. Ele também determina as responsabilidades de quem gera o resíduo, comprometendo-o a destinar de forma adequada os materiais resultantes de construção, demolição, reformas e reparo (CAMPO GRANDE, 2017).

Em 2017, a Prefeitura Municipal de Campo Grande (PMCG), em parceria com a iniciativa privada, realizou um estudo completo da geração de resíduos na cidade e elaborou o Plano de Coleta Seletiva de Campo Grande (PCSCG), que definiu todas as projeções futuras e planos com relação a destinação do resíduo, assim como toda uma série de normas de como se deve proceder para o recebimento e descarte do material e como será a organização do local. O PCSCG é um instrumento que objetivou planejar o manejo dos resíduos sólidos secos (recicláveis, incluindo os RCC) e úmidos (orgânicos), durante um horizonte de 20 anos, de forma a melhorar a eficiência, majorar a recuperação de materiais, potencializar a geração de emprego, renda e inclusão social, bem como promover o atendimento das premissas legais (PSCCG, 2017).

Para a gestão do RCC na cidade, tem-se a ação estratégica de pontos de entrega (receptoras) para pequenos volumes de RCC (< 1m³): os Locais de Entrega Voluntária – LEV (Figura 8) e os Ecopontos (Figura 9). Os LEV são uma modalidade de coleta seletiva que utiliza estruturas específicas para o acondicionamento de resíduos recicláveis, colocados em pontos fixos na cidade, onde o cidadão, espontaneamente, deposita os recicláveis. Já os Ecopontos são áreas para disposição temporária regular. A entrega é voluntária e gratuita e estes locais recebem resíduos recicláveis (metal, plástico, vidro, papel e papelão), resíduos gerados em construções, demolições e pequenas reformas em prédios ou residências, além de volumosos (móveis, sucatas e madeiras) e resíduos provenientes de poda de árvores/galhadas. O limite de descarte é de um metro cúbico por usuário do sistema (SOLURB, 2022).

Figura 8 – Exemplo de LEV utilizado na cidade



Fonte: site da SOLURB (2022)

Figura 9 - Exemplo de ECOPONTO



Fonte: site da SOLURB (2022)

Já para a recepção de grandes volumes ($> 1\text{m}^3$) tem-se as Áreas de Transbordo e Triagem (ATTs) de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos e os Aterros Sanitários. Futuramente pretende-se implementar as Áreas de Reciclagem e Aterro de Reservação exclusiva de RCC. Até o ano de 2016, todo o entulho recolhido pela prefeitura era disposto no Aterro de Entulhos Noroeste II (Figura 10), contudo o mesmo foi fechado pela justiça, pois o resíduo não era triado, e conseqüentemente, não havia a correta disposição final.

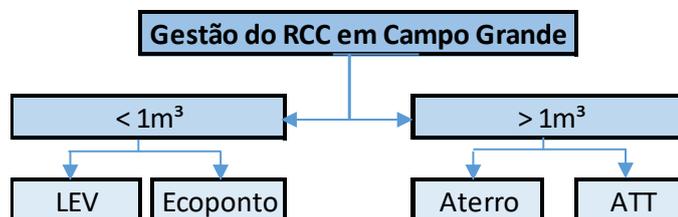
Figura 10 – Aterro de Entulhos Noroeste II



Fonte: site do MPMS (2018)

Esquemáticamente, a gestão atual do RCC na cidade de Campo Grande/MS ocorre conforme a Figura 11:

Figura 11 - Gestão do RCC na cidade de Campo Grande/MS



Fonte: Autora (2022)

A gestão municipal está engajada no controle e na execução da gestão dos RCC na cidade. Segundo Pupin (2021) a quantidade de ATTs e Ecopontos existentes atende à demanda atual, porém operam no limite. O pouco fomento a logística reversa faz com que esses locais permaneçam cheios. Em breve, será necessário a ampliação de locais para descarte dos

resíduos. Um dos maiores problemas enfrentado pelo município é o descarte irregular dos RCC. Também, há desconhecimento da sociedade em geral na utilização dos agregados reciclados; atrasos nas implementações das metas propostas no PCSCG e falta de fiscalização nas ações do PIGRCC, conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Exemplos de atrasos nas implementações das metas do PCSCG e falta de fiscalização nas ações do PIGRCC

| Ação Prevista | Situação atual |
|---|--|
| Implantar 12 Ecopontos até 2021. | Apenas 5 instalados. |
| Implantar o Aterro de Reservação de RCC Classe A, considerando as recomendações do Plano de Coleta Seletiva, aliadas a mecanismos de educação ambiental, divulgação e comunicação social. | Não realizado. |
| Modernizar as estratégias de fiscalização, agregando tecnologia de informação para direcionamento da ação fiscalizatória. | Pouco executado, sendo destacado a implantação do controle de transporte de resíduos eletrônico E-CTR. |
| Ampliar a fiscalização de transportadores e receptores não licenciados com monitoramento via sistema computacional de origem e destino de forma a combater as disposições irregulares, com atenção especial às áreas de mananciais. | Fiscalização incipiente. |
| Elaborar o Guia para Manejo Diferenciado de RCC Classe A e Classe B visando recuperação e valorização máxima dos resíduos, abordando processos; produção de artefatos; procedimentos e normas. | Não realizado. |

Fonte: Autora (2021)

2.1.6. Panorama dos planos municipais

O Gerenciamento/Gestão dos Resíduos da Construção Civil é um desafio para a administração municipal, que, embora obrigada por lei, encontra diversas barreiras e não consegue dar a destinação adequada para os mesmos. Nota-se que, mesmo com a implementação dos PIGRCC, ainda há deficiências nas ações relacionadas com o manejo dos RCC e grande desinteresse na aquisição desses resíduos reciclados para reaplicação no setor da construção civil, configurando desafios a serem superados. Para uma maior valorização destes resíduos reciclados é fundamental o envolvimento do Poder Público Municipal e dos demais atores, caracterizados por pequenos a grandes geradores e prestadores de serviços, aplicando o princípio da responsabilidade compartilhada em sua gestão e gerenciamento.

2.2. Logística Reversa do RCC

De acordo com o *Council of Supply Chain Management Professionals* (2013), a logística faz parte da gestão da cadeia de abastecimento, a fim de planejar, programar e controlar de forma eficiente e eficaz o fluxo e armazenamento de bens, serviços e informações relacionadas entre a fonte pontual e o ponto de consumo. A logística é uma ferramenta para aumentar a eficiência organizacional, reduzindo custos operacionais, viabilizando os processos em toda a cadeia de abastecimento.

O artigo 3º da PNRS define logística reversa como instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A incorporação da logística reversa na PNRS corrobora a importância dada ao operacional e solução logística deste retorno, revelando sua complexidade e a possibilidade de fazer parte dos planos de resíduos divulgados pela federação, estados, municípios e empresas envolvidas na geração desses resíduos (Leite, 2009). A PNRS estabelece a estruturação e implantação de sistemas de logística reversa para algumas atividades que geram resíduos específicos como pesticidas, baterias, óleo lubrificante, fluorescentes lâmpadas, produtos eletrônicos e seus componentes, entre outros (BRASIL, 2010).

No setor da construção civil, as atividades de logística reversa configuram-se como iniciativas isoladas e não possuem grau de organização necessário para serem reproduzidas e ampliadas. Sendo assim, é aconselhável que o setor da construção civil esteja preparado para atender a legislação e modelar os sistemas de logística reversa, considerando uma abordagem sistêmica do fluxo reverso, identificando os obstáculos e dificuldades a serem transpostos para a consecução e aplicação às obras civis (BEIRIZ, 2010; SOBOTKA, CZAJA, 2015, SCHAMNE, 2016).

A função dos sistemas de logística reversa no setor da construção civil é estabelecer canais de reaproveitamento dos produtos e de RCC, integrando os agentes envolvidos em torno da questão da responsabilidade compartilhada por todo o ciclo de vida do produto. A implantação da logística reversa contribui para melhor gerenciamento dos RCC, colaborando

com o desenvolvimento sustentável e com a minimização dos impactos ambientais. A gestão adequada contribui para redução da necessidade de grandes áreas para destinação final dos resíduos; além de conciliar o desenvolvimento econômico, social e ambiental, garantindo a preservação dos recursos para gerações futuras, premissa do desenvolvimento sustentável (BEIRIZ, 2010).

Silva e Milani (2022) fizeram uma análise global da logística reversa do RCC e constataram que a realidade brasileira demonstra pouco incentivo e as soluções encontradas são mínimas e de certa forma ineficazes. Já na análise internacional, em alguns países desenvolvidos, foram encontradas estratégias eficientes que incentivam a utilização de agregado reciclado e reuso de RCC (Tabela 2).

Tabela 2 - Estratégias de incentivo ao uso de agregado reciclado

| Tipo | Estratégias | Países |
|-------------------------------------|--|---|
| Aplicação de taxas | Descarte em aterro Imposto sobre agregado natural Imposto sobre caçambas de transporte, etc. | Dinamarca, Reino Unido, Suécia, Holanda, Singapura e Alemanha |
| Incentivos fiscais | Aquisição de equipamentos de reciclagem Redução de tarifas para transporte de agregados reciclados, etc. | Singapura |
| Adoção da demolição seletiva | Manuais de reaproveitamento de resíduos Capacitação dos profissionais Planejamento das ações de demolição (identificação, tratamento e destinação) | Estados Unidos, União Europeia |
| Controle de qualidade dos agregados | Triagem adequada Certificação de produtos reciclados Listas de fornecedores/usinas com credibilidade | Singapura, Coreia do Sul e Holanda |
| Estímulo a certificações ambientais | Adoção de agregado reciclado Boa gestão de RCC | Holanda e Singapura |
| Instituição de mercado de resíduos | Desenvolvimento de plataformas para unir compradores e vendedores Disponibilização das características dos resíduos vendidos | Alemanha, Coreia do Sul e Estados Unidos |

Fonte: Silva e Milani (2022)

Há algumas estratégias para promover o uso de materiais recicláveis nas construções e consequentemente fomentar a logística reversa. Essas estratégias, segundo Oyedele et al. (2014), incluem aplicação de benefício fiscal para influenciar o custo do produto; a premiação por pontos pelo uso de produtos reciclados na avaliação de ferramentas de design sustentável; medidas legislativas do governo; melhor entrosamento entre projetistas, construtores e fornecedores de materiais ainda na fase do projeto; melhorar a formação dos profissionais, entre outros.

A pesquisa realizada por Oyedele et al. (2014) mostrou que os projetistas não têm o costume de especificar materiais reciclados para projetos de construção. As razões para isso

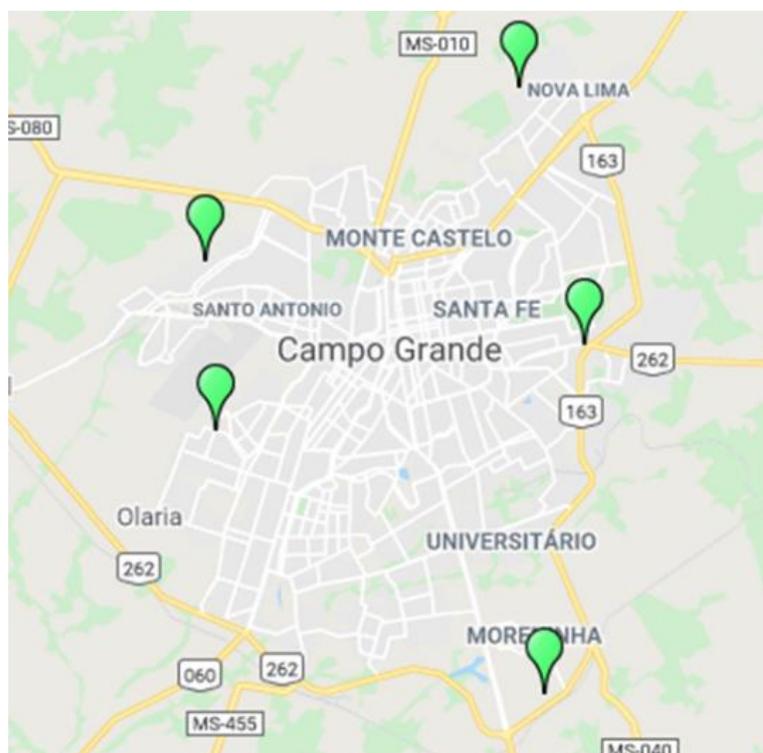
estão associadas a informações inadequadas sobre os produtos reciclados e percepção negativa sobre os produtos por parte dos clientes. Todos os impedimentos identificados para utilização dos produtos são devido às informações insuficientes sobre disponibilidade, durabilidade, qualidade e eficácia dos produtos para projetos de construção.

2.2.1 Logística Reversa do RCC na cidade de Campo Grande/MS

A área escolhida para o estudo da logística reversa do RCC é a cidade de Campo Grande, capital do Mato Grosso do Sul. De acordo com dados Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a cidade possui uma área territorial de 8.082,978 km² e uma população estimada em 916.001 habitantes (IBGE, 2021).

Atualmente, para a destinação final de RCC, Campo Grande conta com 2 áreas de Aterro e aproximadamente 5 ATTs, os quais são o destino de 69 empresas de caçambas licenciadas; e 5 Ecopontos espalhados pela cidade (Figura 12). Todos os agentes envolvidos nesse processo estão listados na Tabela 3 (CAMPO GRANDE, 2022).

Figura 12 - Localização dos Ecopontos em Campo Grande/MS



Fonte: Site da PMCG (2022)

Tabela 3 - Agentes envolvidos na Logística Reversa do RCC

| Agentes | |
|---|--|
| Agente 1 Geradores de RCC | Pessoa física ou jurídica / Grande ou pequeno construtor / Empreiteiro |
| Agente 2 Transportadores de RCC | Caçambeiros / Empresas de triagem e coleta / Freteiros |
| Agente 3 Receptores e/ou recicladores de RCC | ATTs / Aterro licenciado |
| Agente 4 Fiscalização | Prefeitura |
| Agente 5 <i>Stakeholders</i> (Interessados em adquirir o RCC reciclado) | Pessoa física ou jurídica / Grande ou pequeno construtor / Empreiteiro |

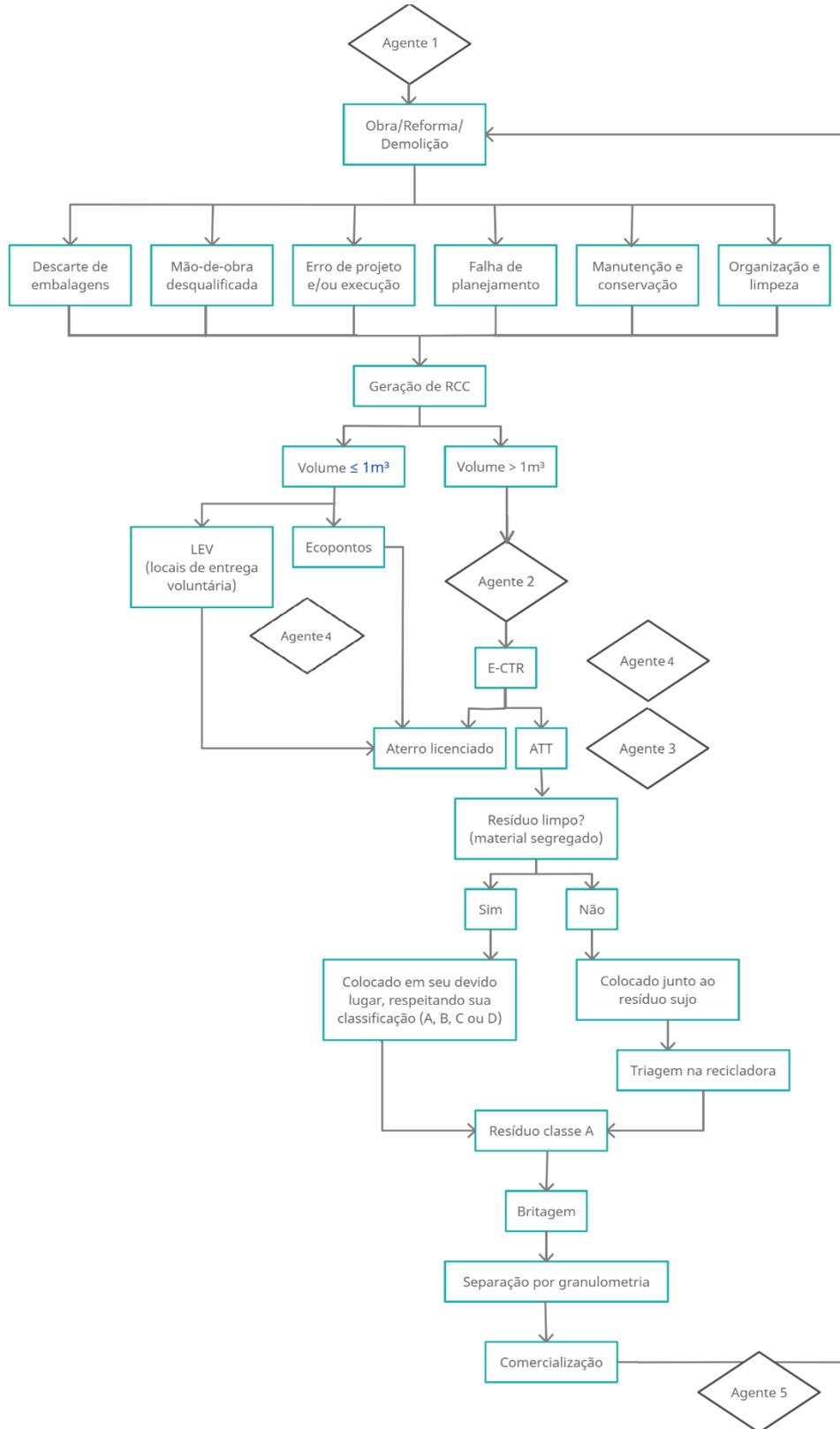
Fonte: Autora (2021)

A gestão do RCC em Campo Grande é realizada através do Controle de Transporte de Resíduos por meio eletrônico (E-CTR), na qual para a prestação dos serviços referentes a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos inertes; a pessoa física ou jurídica (agente 2) deverá cadastrar-se na Agência Municipal de Transporte e Trânsito (AGETTRAN) e apresentar a documentação solicitada, como declaração de destinação final e regularidade fiscal. Os transportadores do RCC (agente 2) deverão emitir um E-CTR para cada viagem que for realizada e no ato da descarga nas áreas de destino (agente 3), os mesmos deverão ser baixados imediatamente. Assim, a Prefeitura (agente 4) tem o controle de todo resíduo transportado, desde o gerador (agente 1) até a unidade de destinação (agente 3), isto é, quando feito legalmente (CAMPO GRANDE, 2019). A Figura 13 traz resumidamente um esquema da logística reversa de RCC na cidade de Campo Grande.

A Prefeitura, através das informações coletadas nas E-CTR, faz o controle das áreas de deposição através da análise dos balanços de massa. É considerado a capacidade instalada para armazenamento e processamento (volume) cadastrado no sistema e a disponibilidade calculada para armazenamento de resíduos, ou seja, já descontados os lançamentos de resíduos processados (agregados reciclados) e o volume de saída dos resíduos triados.

De acordo com Pupin (2021), a administração municipal possui o controle dos RCC desde o gerador até a unidade de destinação, porém há lacunas na prática da logística reversa como por exemplo o desinteresse dos grandes e pequenos construtores/empreiteiros pelo material reciclado, proporcionando o acúmulo de resíduos nas ATTs.

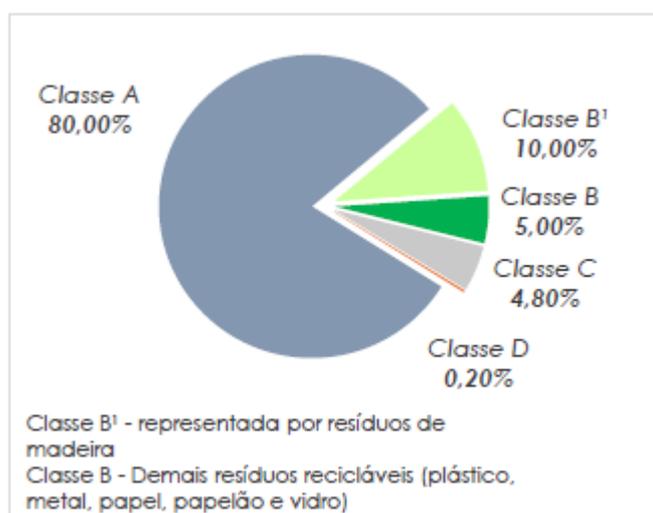
Figura 13 - Fluxograma da Logística Reversa do RCC em Campo Grande/MS



Fonte: Autora (2021)

Conforme os dados do E-CTR, em média, são gerados e depositados mensalmente nas áreas de destinação final 244.591,7 m³ de RCC, sendo que aproximadamente 80% são resíduos classe A, os quais poderiam ser beneficiados e comercializados, conforme Figura 14 (PCSCG, 2017). Porém, a reciclagem desse material é pequena, ocasionando o acúmulo desses resíduos nas recicladoras (Figura 15).

Figura 14 - Composição gravimétrica dos RCC em Campo Grande



Fonte: PCSCG (2017)

Figura 15 - Acúmulo de RCC em uma recicladora de Campo Grande/MS



Fonte: Autora (2020)

Segundo Maia (2020), com relação a procura aos produtos reciclados, há pouca a moderada procura. Isso se deve há diversos fatores como: a falta de um maior controle de qualidade que garanta ao consumidor um produto de qualidade, ausência de incentivos e propagandas para melhorar a imagem do reciclado no mercado, falta de interesse dos próprios consumidores, entre outros.

Segundo o PCSCG (2017), a administração municipal deve sempre prezar pela saúde pública e ambiental e pelo princípio da precaução, portanto, caso não exista interesse do setor privado em atuar no manejo de RCC e volumosos (resíduos vegetais), cabe à Prefeitura Municipal oferecer soluções para a destinação dos resíduos recebidos na rede pública de Ecopontos e ATTs.

Em 2018, a PMCG lançou um edital na modalidade pregão eletrônico para o registro de preços para futuras contratações de 805.700m³ de material de revestimento primário para manutenção de estradas vicinais, divididos igualmente em dois lotes, sendo que o lote 2 deveria ser integralmente de materiais provenientes de reciclagem de RCC, seguindo as especificações do item 4 – Materiais da ABNT 15115/2004. Houve a ata de registro de preço (nº 29/2019) e concluiu-se que o valor da aquisição de RCC reciclado é 10,65% menor que o valor do material convencional, o que demonstra a viabilidade econômica. A viabilidade técnica já havia sido comprovada por testes realizados pela equipe da Prefeitura. Porém, a quantidade de material reciclado utilizado pela Prefeitura até hoje está muito aquém do que foi contratado, havendo prejuízo na manutenção dessas estradas. A Prefeitura alega que a pandemia comprometeu os trabalhos.

O diagnóstico situacional do PCSCG realizado por Pupin (2021) apontou deficiências nas ações relacionadas com o manejo dos RCC, configurando desafios a serem superados. Na Tabela 4 é possível acompanhar as responsabilidades da PMCG apontadas no PIGRCC e as respectivas propostas de melhorias para esta gestão do RCC.

Tabela 4 - Sugestões para melhorias na gestão do RCC para cada ação de responsabilidade da PMCG apontada no PIGRCC

| Ações de Responsabilidade da Administração Municipal presentes no PIGRCC de Campo Grande (2017) | Sugestões de Pupin (2021) para melhoria ou solução das ações da Administração Municipal de Campo Grande |
|--|---|
| Implantação de uma rede de pontos de entrega para pequenos volumes de RCC e resíduos volumosos (Ecopontos); | Iniciou-se a implantação, porém é lenta. Os locais para instalação já foram mapeados. Seria necessário realizar a implantação desses novos Ecopontos o quanto antes e fomentar a utilização pela população da região, diminuindo a distância entre o Ecoponto e a População. |
| Incentivar o poder privado a atuar no setor ou estruturar Áreas de Triagem e Transbordo de RCC (ATTs) e caso não haja interesse de tal setor o poder público deve estruturar e operar estas unidades cobrando dos grandes geradores; | Isenção de impostos para atrair empresas atuantes no setor. Doação de áreas para a instalação das ATTs. |
| Prever ações para a informação e educação ambiental dos munícipes, dos transportadores de resíduos e das instituições sociais multiplicadoras, definidas em programas específicos; | Promover ações nos bairros, junto à população. Divulgar informações de educação ambiental nos meios de comunicação (televisão e internet). Desenvolver cartilhas com ilustrações, de fácil compreensão. |
| Prever ações para o controle e fiscalização do conjunto de agentes envolvidos, definidas em programa específico; | Utilização da tecnologia a favor, com o mapeamento de descarte irregular através de imagens de satélite. Fiscalizar os lançamentos realizados na E-CTR com mais rigor. |
| Ações de incentivo ao reuso e redução dos resíduos na fonte de produção, definidas em programas específicos; | Redução de impostos municipais para quem utilizar o RCC em suas obras. Conscientizar a população dos benefícios do resíduo reciclado e mostrar os seus variados usos. Realizar contratos com as empresas para garantir a utilização do agregado reciclado em todas as obras públicas. |
| Ações de incentivo à instalação no município de empresas recicladoras no que diz respeito aos resíduos de classes A e B, segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002; | Isenção de impostos para atrair empresas atuantes no setor. Doação de áreas para a instalação das ATTs. |

Fonte: Pupin (2021)

2.3. Modelagem na área de Gestão/Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no Brasil

A geração de resíduos da construção é a informação primordial para planejar medidas de redução, reutilização e reciclagem (3R). No Brasil, a Lei Federal 12.305/2010 que instituiu a PNRS e a Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelecem como responsabilidade do Poder Público Municipal a criação de condições necessárias para a gestão e o adequado gerenciamento dos RCC, buscando a efetiva redução de seus impactos ambientais. Uma maneira de aprimorar este gerenciamento é o emprego de ferramentas que permitam conhecer, medir e analisar o funcionamento dos processos executados no manejo de RCC, o

que pode ser alcançado pela técnica da modelagem de processos (ESGUÍCERO, 2020). Estimar a geração de resíduos da construção está no cerne de qualquer esforço para gerenciar adequadamente os resíduos da construção (LU et al., 2016).

Cheng e Ma (2013) mencionaram em sua pesquisa que faltavam ferramentas disponíveis para a estimativa de RCC. Os autores constataram que as ferramentas e os métodos existentes não eram apropriados o suficiente para que os contratantes estivessem dispostos a utilizá-los sem gastar muito tempo e esforço, uma vez que informações como volume de material precisam ser medidos ou recuperados manualmente dos documentos disponíveis. Entretanto, segundo os mesmos autores, a modelagem de informações de construção oferece a oportunidade de preencher essa lacuna.

De acordo com Maués et al. (2020) há diferentes modelos para estimar a geração de resíduos da construção na fase de projeto (Tabela 5). O modelo mais adotado para esta estimativa são fatores de quantificação estatística, enquanto a regressão múltipla e o sistema de estimativa de resíduos da construção baseado na *web* (*web-based*) são adotados com menor frequência. Segundo os mesmos autores, uma grande lacuna desses modelos é a imprecisão, pois a maioria das variáveis integrantes do processo não podem ser claramente definidas e medidas em projetos de construção.

Tabela 5 - Modelos para estimar a geração de RCC na fase de projetos.

| Autor | País | Modelo |
|--------------------------------|----------------|--|
| Mah et al. (2016) | Malásia | Ferramentas de estimação de valores |
| Kern et al. (2015) | Brasil | Regressão múltipla estatística |
| Li and Zhang (2013) | Hong Kong | Sistema de estimativa de resíduos da construção baseado na <i>web</i> (<i>web-based</i>) |
| Villoria Sáez et al. (2012) | Espanha | Ferramentas de estimação de valores |
| Katz and Baum (2011) | Israel | Regressão múltipla estatística |
| Llatas (2011) | Espanha | Ferramentas de estimação de valores |
| Kofoworola and Gheewala (2009) | Tailândia | Ferramentas de estimação de valores |
| Cochran et al. (2007) | Estados Unidos | Ferramentas de estimação de valores |

Fonte: Adaptado de Maués et al. (2020)

Segundo Bernardes et al. (2008), os estudos já realizados, de forma geral, indicaram que a realização de um diagnóstico local é o primeiro passo para o gerenciamento eficaz dos RCC. A identificação dos aspectos referentes a esses resíduos tais como origem, taxa de geração, agentes envolvidos na geração e coleta, destinação final, entre outros, acabam

servindo de base para o dimensionamento de ações que visem o cumprimento da resolução vigente. Uma previsão eficiente do volume de resíduos permite não só o controle dos resíduos gerados como também maior eficiência na gestão dos canteiros de obra (SOLÍS-GUZMÁN et al., 2009).

No trabalho de Oliveira et al. (2020) foi proposto um modelo BIM (*Building Information Model*) para estimar o RCC e o custo de retirada na fase de projeto, pois nela ainda são inexistentes ações visando estimar o resíduo a ser gerado em uma obra. Para isso, os autores utilizaram etapas como a revisão sistemática da literatura, levantamento de índices de perdas e modelagem BIM. Os resultados obtidos revelaram que 10% dos RCC quantificados pertencem à classe B, e 90%, à classe A, sendo a argamassa o material com o maior potencial de desperdício, 56% da estimativa total. A modelagem através de dados estatísticos e indicadores pode contribuir na elaboração do plano de gerenciamento de resíduos da construção civil (PGRCC), aperfeiçoando, desta forma, o planejamento, com redução da geração do RCC.

Esgúicero (2020) desenvolveu um *framework* específico para modelagem de processos no gerenciamento municipal de RCC, por meio de um estudo de caso no município de Lençóis Paulista. Foram identificados o funcionamento e a lógica dos processos e atividades desenvolvidas desde a geração dos resíduos até sua disposição final. Através do *framework* desenvolvido foi possível conhecer o fluxo integrado dos resíduos considerando as etapas da geração, coleta, transporte, destinação e a disposição final, o que possibilitou avaliar a eficiência do atual sistema de gerenciamento, a identificação das deficiências e melhorias necessárias. Também foi proposto uma modelagem para aprimorar as ações de manejo desta classe de resíduos.

Dias (2013) desenvolveu um modelo para estimar a quantidade de resíduos gerada na produção de obras verticais, para ser utilizado como parâmetro para implementação de ações voltadas à diminuição da geração de resíduos. No trabalho foi investigado a influência do projeto arquitetônico e do sistema produtivo na geração de RCC. A pesquisa consistiu em um estudo de caso com múltiplas fontes de evidências. A ferramenta utilizada foi a regressão linear múltipla. Na fase de tratamento dos dados, foi considerado uma variável dependente e dois tipos de variáveis independentes, das quais a variável dependente estava relacionada à

quantidade de resíduo gerada. As variáveis independentes consideradas foram: as características relacionadas ao projeto arquitetônico e as características relacionadas à produção, sendo as primeiras variáveis quantitativas e as outras variáveis qualitativas. Através da regressão linear múltipla demonstrou-se que o modelo adotado foi capaz de prever aproximadamente 69% da geração de resíduos em obras residenciais verticais.

Já Caetano et al. (2018) buscou a criação de um novo modelo que pudesse prever o volume de resíduos de obras em alvenaria estrutural. O modelo foi estruturado a partir de observações de obras já concluídas e baseou-se no modelo estatístico desenvolvido por Dias (2013). Foi observado que todas as variáveis se mostram significativas ao nível de confiança de 95%. Quanto ao nível de relacionamento da variável dependente com as variáveis independentes, o modelo explicou cerca de 74% da geração de resíduos em obras de edificações residenciais verticais, incluindo obras em alvenaria estrutural. Constatou-se que o novo modelo foi capaz de prever o volume de RCC (em metros cúbicos) com menor diferença entre o volume real de resíduos produzidos na obra com relação ao método de estimativa de Dias (2013).

No trabalho de Moraes (2018) foi criada uma ferramenta para avaliar o GRCC: o Índice de Gestão Municipal de Resíduos da construção Civil (IGRCC). Este foi desenvolvido a partir da seleção de indicadores de sustentabilidade aplicados aos resíduos da construção civil. Foi atribuído grau de importância aos indicadores através do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). O resultado do IGRCC varia de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 melhor é considerada a gestão. Os municípios estudados obtiveram um baixo desempenho e a GRCC foi considerada ineficiente. Em Santa Rita do Sapucaí/MG o IGRCC obtido foi de 0,40, em Pouso Alegre/MG de 0,41, em Machado/MG de 0,40 e em Três Corações/MG de 0,37. O resultado mostrou que os municípios apresentam uma série de dificuldades para obter uma gestão eficiente, sendo elas: ausência de legislações municipais; necessidade de criação de uma equipe capacitada para coordená-la; inexistência de áreas propícias para a GRCC; presença de áreas irregulares e falta de integração entre os diferentes agentes envolvidos.

Dentre os trabalhos elencados, foi possível observar que a maioria dos estudos criam modelos para estimar a geração de RCC. Wu et al. (2014) destacam a importância de quantificar a geração de resíduos da construção, visto que é um pré-requisito para a

implementação de uma gestão de resíduos de sucesso. Porém, há uma lacuna na modelagem do ciclo de reciclagem do RCC. Não foram encontrados estudos sobre a previsão do volume de agregado reciclado produzido a partir de um quantitativo de RCC gerado nas cidades. Essa informação é fundamental para as empresas recicladoras se programarem e poderem suprir o mercado local. Sendo assim, estudar modelos matemáticos para estimar a produção do agregado reciclado proveniente do RCC possibilita agregar valor ao processo e contribui para fomentar a logística reversa do RCC nas cidades.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos empregados para atingir os objetivos estabelecidos, detalhando o tipo de pesquisa empregada, sua classificação, os instrumentos para coleta e análise dos dados.

O presente trabalho classificou-se como uma pesquisa aplicada, haja vista que o conteúdo e conhecimento produzido destinou-se a aplicação prática, com objetivo de resolver a problemática central das recicladoras, que é a falta de previsibilidade da produção. Esta pesquisa possui natureza exploratória, pois buscou o entendimento das especificidades relativas à reciclagem do agregado de RCC.

A estratégia da pesquisa foi o estudo de caso de uma recicladora, ou seja, baseou-se na metodologia de investigação que, de acordo com Yin (2001), consiste numa visão empírica de um fenômeno dentro de seu contexto, onde o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e essencialmente busca resolver as questões relacionadas à “como” e “porque” os eventos ocorrem.

A realização desta pesquisa foi a partir de fontes de evidências primárias quantitativas observadas em uma recicladora de RCC da cidade de Campo Grande. Os dados foram coletados *in loco* para a modelagem da estimativa de produção de agregado reciclado, de acordo com o volume inserido no britador e o tempo despendido. Como ferramenta de análise foi utilizada a estatística, empregando para o tratamento dos dados a técnica de regressão linear múltipla. A equação de regressão é útil para explicar valores de uma variável em função de outras, isto é, quando se suspeita de uma relação de causa e efeito entre duas ou mais variáveis, a análise de regressão permite verificar qual relacionamento matemático pode existir entre elas (STEVENSON, 2001). Um modelo matemático ou simplesmente modelo, pode ser apresentado como uma representação de um sistema real, o que significa que um modelo deve representar um sistema e a forma como ocorrem as modificações no mesmo (SODRÉ, 2007).

Já para o desenvolvimento da interface foi utilizado a média dos seguintes dados coletados: volume produzido referente a cada faixa granulométrica, tempo de produção do

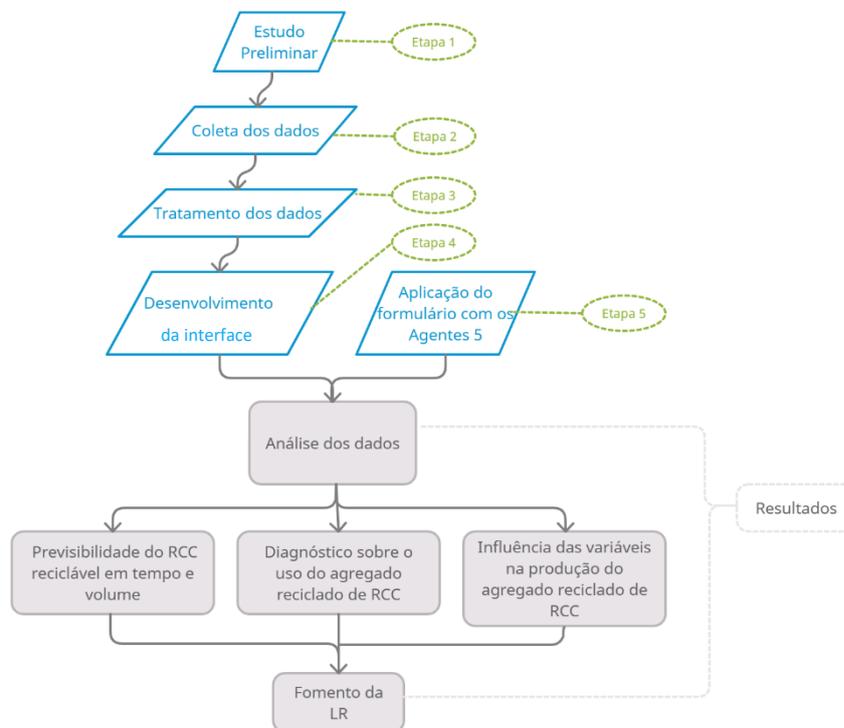
britador e perda de material durante o processo sendo possível passar uma previsibilidade da produção para o *stakeholder*.

Também foi utilizado a metodologia de pesquisa *Survey*, que segundo Dresch et al. (2015), a define como uma investigação conduzida por meio da coleta de dados e/ou informações, com o intuito de avaliar o comportamento das pessoas e/ou dos ambientes em que elas se encontram. Nesse trabalho foi aplicado um formulário com os Agentes 5 (*Stakeholders*) para compreender como a classe da construção civil campo-grandense enxerga os agregados reciclados de RCC e quais são os motivos da pouca/não utilização nas obras/reformas.

3.1. Delineamento da pesquisa

O trabalho será realizado em cinco etapas de pesquisa, denominadas “estudo preliminar”, “coleta dos dados”, “tratamento de dados”, “desenvolvimento da modelagem” e “aplicação de formulário com os possíveis *Stakeholders*”, conforme Figura 16.

Figura 16 - Fluxo da Pesquisa



Fonte: Autora (2022)

3.2. Etapas da pesquisa

3.2.1. Estudo preliminar

Essa primeira etapa do trabalho consistiu em analisar como funcionam as recicladoras e como os RCC são beneficiados. Inicialmente foi feito contato com as três recicladoras presentes na cidade de Campo Grande/MS. O objetivo foi entender como é o processo da reciclagem (desde o recebimento do resíduo até a sua britagem e comercialização).

Foram realizadas visitas nas três recicladoras e foi possível aplicar um questionário padrão (Figura 17) com informações básicas para compreensão do funcionamento e porte de cada empresa.

Figura 17 - Questionário aplicado nas três recicladoras da cidade

| Perguntas |
|--|
| 1. Qual a capacidade diária de produção? |
| 2. Qual a marca e modelo do britador? |
| 3. Qual é a capacidade de produção do britador? (fornecido pela empresa) |
| 4. A empresa possui capacidade de britar mais ou está operando no limite? |
| 5. Se possui capacidade de britar mais, o que impede essa produção? |
| 6. Qual a capacidade de armazenamento dos resíduos? (de acordo com a licença ambiental) |
| 7. Qual o volume recebido diariamente? |
| 8. Qual é o material mais comercializado? |
| 9. Qual é o material menos comercializado? |
| 10. Quem é o maior cliente que adquire o agregado reciclado? |
| 11. Qual é a finalidade do agregado reciclado que vocês comercializam? (ex: pavimentação, concreto não estrutural,...) |
| 12. Quantos funcionários a empresa possui? |
| 13. Desses funcionários, quantos trabalham na parte de reciclagem do RCC? (pá carregadeira, esteira, britador, ...) |
| 14. O resíduo recebido vem limpo? |
| 15. Qual a área da empresa? |
| 16. Qual a maior dificuldade que as recicladoras enfrentam na cidade de Campo Grande? |
| 17. Você acredita que a sociedade já tem boa aceitabilidade do produto? |

Fonte: Autora (2022)

3.2.2. Coleta dos dados

Para o desenvolvimento da pesquisa, apenas uma recicladora foi colaborativa com o fornecimento e disponibilidade na coleta dos dados. A empresa participante foi intitulada como Recicladora de Campo Grande – RCG.

Para a coleta *in loco* das informações, foi pensado em um método que não interferisse no cotidiano da empresa e que não alterasse o funcionamento da produção, a fim de que os dados fossem fidedignos ao processo como um todo. A coleta dos dados ocorreu entre 30 de maio e 10 de junho de 2022. A primeira coleta ocorreu no dia 30 pois o pátio da RCG estava limpo, sem materiais dispostos embaixo das esteiras (Figura 18). Anterior a esta data, a empresa estava com a britagem paralisada devido a uma reestruturação interna. Após 10 de junho, a usina estava em manutenção e quando iria retornar a britagem, ocorreu um acidente interno e a produção foi suspensa. Em virtude desses fatores, a amostra coletada ficou reduzida.

Figura 18 - RCG com o pátio limpo



Fonte: Autora (2022)

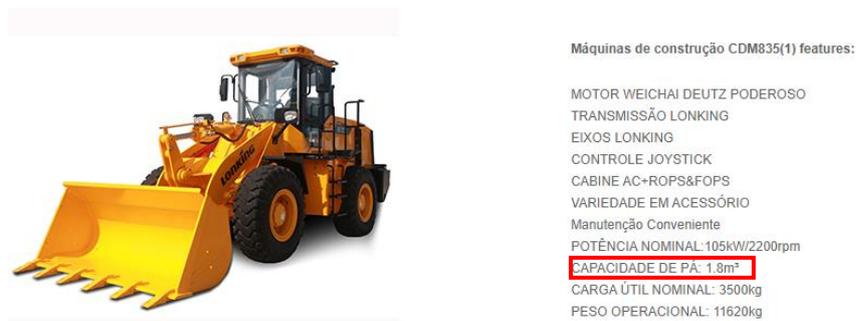
Os dados da produção coletados *in loco* foram:

- Volume de RCC inserido no equipamento;
- Tempo despendido pela pá carregadeira para pegar o material no monte e despejar no britador;
- Volume de agregado reciclado produzido por faixa granulométrica e

- Tempo de funcionamento do britador por dia.

O volume de RCC inserido no equipamento foi coletado através da informação do registro do número de pás do maquinário (pá carregadeira) despejado na peneira vibratória inicial. De acordo com o fabricante, a concha da pá tem capacidade de $1,8\text{m}^3$ (Figura 19). Porém, quando o operador carrega a concha, geralmente ela vem com um volume extra (Figura 20). Para fins de cálculo, foi considerado que cada pá tem $2,0\text{m}^3$. Importante salientar que não foi considerado fator de empolamento dos resíduos nas conchas. Então, o volume inserido no equipamento deu-se através da quantidade de pás inseridas no britador multiplicado pelo volume da concha ($2,0\text{m}^3$).

Figura 19 - Capacidade de pá do maquinário



Fonte: lonkinggroup.com (2010)

Figura 20 - Pá carregadeira com volume superior a capacidade da concha



Fonte: Autora (2022)

O tempo despendido pela pá carregadeira para pegar o material no monte e alimentar o britador foi medido em minutos (min).

A variável tempo de funcionamento da máquina foi medido em minutos (min) e correspondeu ao tempo que ela permaneceu ligada - desde seu acionamento até o seu desligamento ou interrupção. Estas eram feitas quando algum material travava o britador e para o lanche dos funcionários, cerca de 20 minutos a cada período do dia.

Já o volume de agregado reciclado produzido por faixa granulométrica foi medido através de fita métrica (50m). Foi considerado a pilha de agregado reciclado como sendo um cone (Figura 21). Assim, mediu-se o perímetro da circunferência da base. Com esta medida, encontrou-se o raio do monte com a seguinte fórmula:

$$C = 2. \pi. r, \text{ onde:}$$

C = circunferência do monte medido com a fita métrica;

r = raio da circunferência.

Figura 21 - Cone formado pela deposição natural do agregado reciclado de RCC



Fonte: Autora (2022)

Já a altura foi medida com uma trena eletrônica. Esta era posicionada no pé do cone e era apontada para o vértice do cume, então encontrava-se o valor da diagonal (d). Com o valor do raio (encontrado pela circunferência) e o valor da diagonal (d), calculava-se o valor da altura por Pitágoras:

$$d^2 = r^2 + h^2, \text{ onde:}$$

d = diagonal;

r = raio da circunferência e

h = altura.

Com os dados aferidos *in loco*, calculou-se o volume pela seguinte fórmula:

$$V = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h}{3}, \text{ onde:}$$

V = Volume (m³),

r = raio da circunferência (m),

h = altura (m).

A

Tabela 6 foi utilizada na coleta das informações na recicladora. Os itens em azul são os dados que foram coletados *in loco* para alimentação da tabela. Já os demais itens em verde são calculados automaticamente por fórmulas do *software* MS Excel 2016. Com relação ao volume acumulado e ao volume do dia, este corresponde à diferença entre o volume acumulado no pátio de produções anteriores e o volume medido no dia, pois a limpeza do pátio (retirada de todo material acumulado embaixo das esteiras) não é realizado diariamente.

Tabela 6 - Dados para coleta

| Data ¹ | | | | | |
|--|---------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| Tempo de funcionamento do britador ² | XXX | h | = | XXX | min |
| Volume inserido no britador (m ³) ³ | Nº de pás: | XXX | Volume pá: | 2,0 | m ³ |
| | | | | XXX | |
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) ⁴ | 00:00:00 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
| Circunferência (m) ⁵ | XXX | XXX | XXX | XXX | XXX |
| Raio (m) ⁶ | XXX | XXX | XXX | XXX | XXX |
| Diagonal (m) ⁷ | XXX | XXX | XXX | XXX | XXX |
| Altura (m) ⁸ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Volume Acumulado (m ³) ⁹ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Volume do dia (m ³) ¹⁰ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total produzido no dia (m³)¹¹ | 0,00 | | | | |
| % Referente a cada material¹² | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| Produção (m³ / min)¹³ | 0,00 | | | | |
| Perda de material¹⁴ | 0,00 m³ | | | % | 0,00% |

1 – Data da coleta;

2 – Tempo de funcionamento total do britador, descontado o tempo do intervalo dos funcionários e interrupções;

3 – Volume inserido no britador = nº de pás x 2,0 m³;

4 – Ciclo de uma viagem da pá carregadeira = $\frac{\text{Tempo de funcionamento do britador}}{\text{nº de pás}}$;

5 – Circunferência medida *in loco*;

6 – Raio encontrado pela fórmula $C = 2 \cdot \pi \cdot r$;

7 – Diagonal medida *in loco*;

8 – Altura encontrada por Pitágoras $h^2 = d^2 - r^2$;

9 - Volume acumulado no pátio de produções anteriores;

10 – Volume produzido no dia;

11 – Total produzido no dia é a soma da produção por cada granulometria;

12 - % referente a cada material = $\frac{\text{Volume referente àquela granulometria}}{\text{Volume total produzido no dia}}$;

13 - Produção (m³ / min) = $\frac{\text{Volume total produzido no dia}}{\text{Tempo de funcionamento do britador}}$;

14 – Perda de material = Volume inserido no britador – Volume total produzido no dia e % = $\frac{\text{Perda de material}}{\text{Volume total inserido no britador}}$.

Fonte: Autora (2022)

3.2.3. Tratamento dos dados

3.2.3.1. Tratamento dos dados para a regressão linear múltipla

Nesta etapa do estudo todas as análises e gráficos foram feitos no software *R Studio*. Foi realizado o tratamento dos dados coletados na etapa anterior através da utilização da regressão linear. Ela consiste na análise de dados amostrais, para uma determinada população, de forma a determinar um modelo que relaciona as variáveis baseadas nos dados observados, obtendo um modelo empírico (MONTGOMERY e RUNGER, 2003). O produto dessa análise é uma equação que descreve o relacionamento entre as variáveis em termos matemáticos. A regressão linear envolve uma variável dependente (ou resposta), e as demais são independentes (STEVENSON, 2001). Caso ela possua mais de uma variável independente, é considerada múltipla, senão, é simples.

A variável dependente é o volume de RCC produzido (em m³). Já as variáveis independentes são chamadas de variáveis contínuas quando assumem qualquer valor em um intervalo contínuo. Esses tipos de dados são classificados como quantitativos. As variáveis qualitativas, são consideradas nominais, pois não são representadas por números. Para aproveitamento desses dados no procedimento estatístico, 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 (STEVENSON, 2001).

Trabalhou-se com as seguintes variáveis independentes quantitativas:

- Volume de RCC que é inserido no britador, em m³;
- Tempo de britagem do material, em min;

Para a regressão analisada, não se utilizou nenhuma variável qualitativa devido a homogeneidade do processo de produção referente aos dias de coleta. O método da coleta dos dados já foi descrito no item 3.2.2.

Um modelo geral pode ser definido pela seguinte equação:

$$Y_i = a + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_k X_{k,i} + \varepsilon, \text{ onde:}$$

Y_i = variável dependente quantitativa (volume produzido);

a = intercepto (constante ou coeficiente linear);

β_j ($j = 1, 2, \dots, k$) = coeficiente de cada variável;

X_j = variáveis independentes;

i = representa cada uma das observações da amostra em análise ($i = 1, 2, \dots, n$, em que n é o tamanho da amostra).

ε = erro.

A equação apresentada representa um modelo de regressão múltipla, uma vez que considera a inclusão de diversas variáveis explicativas para o estudo do comportamento do fenômeno em questão. Por outro lado, caso seja inserida apenas uma variável X , estaremos diante de um modelo de regressão simples.

Para a variável dependente (Y) foram feitas verificações necessárias de normalidade através do teste de *Shapiro-Wilk*, afinal ela 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 foram o gráfico *boxplot* e o gráfico de probabilidade normal.

As variáveis independentes foram analisadas individualmente junto a variável dependente (Y) através do gráfico de dispersão para visualizar uma possível relação de causa e efeito entre elas. Além disso, analisou-se a correlação entre as variáveis independentes, buscando verificar a existência de multicolinearidade, que seriam duas variáveis que explicam o mesmo fenômeno, podendo ocasionar erro-padrão elevado na regressão (BELFIORE, FÁVERO, 2017).

O efeito da multicolinearidade também foi analisado através do Fator de Inflação de Variância (*Variance Inflation Factor* - VIF) de cada coeficiente de regressão observado no modelo final obtido. Segundo Montgomery e Runger (2003), quanto maior for o VIF mais severa a multicolinearidade. Alguns autores sugerem que o $VIF > 10$ é um indicativo de que há multicolinearidade (BELFIORE, FÁVERO, 2017).

O pressuposto da regressão linear não é a normalidade das variáveis e sim dos resíduos. Eles foram analisados graficamente e por testes. Foi verificado a linearidade, a normalidade, a homocedasticidade e a presença de *outliers*.

Num segundo momento as variáveis coletadas que apresentaram influência sobre a variável dependente (Y) foram utilizadas na análise de regressão. Foi estabelecido nível de significância $\alpha = 0,05$ e analisados os coeficientes de determinação (R^2), coeficientes de determinação ajustado (R^2 ajustado), a análise de variância (F) e teste das variáveis explicativas (t). Verificou-se quais variáveis independentes tiveram maior influência no modelo através dos coeficientes padronizados. O intervalo de confiança 95% para os coeficientes também foi verificado.

Dois modelos foram criados e para a escolha do mais apropriado, do ponto de vista estatístico, foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (Akaike's Information Criterion - AIC) e o Critério de Informação Bayesiano (Bayesian Information Criterion - BIC). Quanto menor o valor, melhor.

O modelo matemático obtido na equação a seguir, pode ser utilizado para a estimativa de valores desconhecidos, ou seja, tendo os valores das variáveis dependentes de uma nova coleta pode-se estimar o volume de RCC produzido.

$$\hat{Y}_i = \alpha + \hat{\beta}_1 X_{1,i} + \hat{\beta}_2 X_{2,i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{k,i} + \varepsilon$$

Onde:

\hat{Y}_i = valor previsto da variável dependente (volume reciclado);

α = intercepto estimado (constante ou coeficiente linear);

$\hat{\beta}_j$ ($j = 1, 2, \dots, k$) = coeficientes parciais de regressão estimados;

X_i = variáveis independentes;

i = representa cada uma das observações da amostra em análise ($i = 1, 2, \dots, n$, em que n é o tamanho da amostra).

ε = erro.

3.2.3.2. Tratamento dos dados para desenvolvimento da interface

Nesta fase foi realizada a análise estatística dos dados e a plotagem dos gráficos no *software* MS Excel 2016. Foi calculado a média aritmética, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos e houve a verificação da existência de valores discrepantes (*outliers*)

através de gráficos *boxplots* dos seguintes dados: perda de material, volume produzido de acordo com cada faixa granulométrica, produção e o ciclo da pá carregadeira.

Os gráficos *boxplots* são uma ferramenta gráfica que permite visualizar a distribuição e valores discrepantes (*outliers*) dos dados, fornecendo assim um meio complementar para desenvolver uma perspectiva sobre o caráter dos dados (DEVORE, 2006).

3.2.4. Desenvolvimento da interface

Após a realização da regressão linear, criou-se um modelo de estimativa do volume produzido global, não sendo possível estimar o volume referente a cada faixa granulométrica, então elaborou-se uma interface com o intuito de realizar essa previsibilidade setorial.

Interface significa comunicação. Seu objetivo é realizar uma conexão entre dois elementos que, diretamente, não poderiam se conectar. Ela corresponde a um tipo de material de ordem lógica e material, a partir da qual são realizadas diversas atividades entre dois sistemas distintos ou entre o usuário e o sistema a ser utilizado (Conceito.de, 2013).

A interface foi desenvolvida no *software* MS Excel 2016 e foram utilizadas as médias aritméticas calculadas e regra de três (método para encontrar valores desconhecidos quando se tem grandezas direta ou inversamente proporcionais).

3.2.5. Aplicação de formulário com os possíveis Stakeholders

Concomitante as outras fases, nesta etapa foi desenvolvido um formulário na plataforma *Google Forms*, que foi enviado através de um *link* para os Agentes 5. Pretendeu-se encaminhar a pesquisa para o maior número de pessoas físicas ou jurídicas que utilizam ou possam utilizar o agregado reciclado em suas obras.

3.2.5.1. Definição da amostra

A seleção dos sujeitos participantes desta etapa da pesquisa se deu por amostragem “bola de neve”. Segundo Vinuto (2014), esse tipo específico de amostragem não busca

determinar a probabilidade de seleção de cada participante, mas torna-se útil para estudar determinados grupos difíceis de serem acessados.

De acordo com Biernacki e Waldorf (1981) essa técnica é adequada para estudo no qual o foco é alguma questão que requer o conhecimento e a contribuição das pessoas pertencentes ao grupo estudado, no caso, buscou-se os Agentes 5 (Pessoa física ou jurídica / Grande ou pequeno construtor / Empreiteiro).

Para Vinuto (2014) a amostragem em bola de neve é um processo de permanente coleta de informações. Ela é utilizada principalmente para fins exploratórios, usualmente com três objetivos: desejo de melhor compreensão sobre um tema, testar a viabilidade de realização de um estudo mais amplo, e desenvolver os métodos a serem empregados em todos os estudos ou fases subsequentes.

A amostragem em bola de neve se inicia com informantes, também chamados de sementes (pessoas físicas e jurídicas envolvidas na área da construção civil, pavimentação e terraplanagem da cidade), a partir dos quais se localizam pessoas com o perfil necessário para a pesquisa. Em seguida, as pessoas indicadas pelas sementes indicam novos sujeitos com as características desejadas, e assim o quadro de amostragem pode crescer a cada entrevista, conforme os objetivos da pesquisa.

Sendo assim, a busca para a amostragem desta etapa do trabalho teve início a partir do contato com:

- As 63 empresas associadas ao Sinduscon MS (Sindicato Intermunicipal da Indústria da Construção do Estado de Mato Grosso do Sul) disponível no site. Foi feito contato telefônico e foi solicitado que o responsável pela empresa respondesse ao questionário, que foi encaminhado por e-mail;
- 83 profissionais (Engenheiros civis, construtores e arquitetos) que não estão associados ao Sinduscon MS. O contato foi feito por *whatsapp* e pela rede social *Instagram*.

O período de coleta de dados foi entre os meses de março a junho de 2022, e a partir disso, a análise dos dados foi realizada de forma quantitativa e qualitativa. Apesar dos esforços para captar respondentes, não se pode afirmar que a amostra obtida tenha alguma

representatividade com relação à quantidade total, porque não se sabe qual é o universo. Foram recebidos 64 questionários válidos.

O formulário aplicado possuía perguntas objetivas, de fácil compreensão (Figura 22) .

Figura 22 - Formulário enviado para os Agentes 5

Agregado reciclado de Resíduo da Construção Civil (RCC), você conhece esse material?

Caro(a) leitor(a), gostaríamos de convidá-lo(a) a participar desta pesquisa online. Será uma pesquisa rápida e objetiva. O tempo máximo de preenchimento é de 3 min.

Esta pesquisa faz parte de um trabalho realizado no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - (PPGEES/UFMS).

Aqui estamos analisando a utilização dos agregados reciclados de Resíduos de Construção Civil (RCC) nas obras. Os resultados serão usados para contribuir com estudos que se propõem a fomentar a logística reversa deste tipo de resíduo em Campo Grande/MS.

Pedimos que só colaborem com a pesquisa os(as) envolvidos(as) com obras e/ou reformas, por favor. Caso não se enquadre em seu perfil, agradecemos sua disponibilidade.

Lembrando que a participação é voluntária e totalmente anônima. Qualquer dúvida ou esclarecimento, entrar em contato pelo telefone (67) 99828-2727 - Nayara Pupin.

Muito obrigada!

Elaboradores:

Profª. Dra. Ana Paula Milani (PPGEES-UFMS) - email: ana.milani@ufms.br

Mestranda Nayara Severo Pupin (PPGEES-UFMS) - email: nayara.pupin@ufms.br

*Obrigatório

1. Qual é a sua área de atuação? *

Marcar apenas uma oval.

- Construção civil (casas, prédios, condomínios, reformas, etc.)
- Terraplanagem e Pavimentação
- Apenas Terraplanagem
- Apenas Pavimentação
- Todas as opções apresentadas
- Outro: _____

2. Qual é o porte de sua empresa? *

Marcar apenas uma oval.

- Autônomo
- Pequeno (até 50 funcionários)
- Médio (de 51 a 100 funcionários)
- Grande (mais de 100 funcionários)

3. Você já ouviu falar em agregado reciclado de Resíduo da Construção Civil (RCC)?

Marcar apenas uma oval.

- Sim *Pular para a pergunta 4*
- Não *Pular para a pergunta 5*

4. Se sim, o que entende sobre o assunto? (pode marcar mais de uma opção) *

Marque todas que se aplicam.

- É produzido a partir de vários materiais, como materiais cerâmicos, concretos, solos,...
- Pode ser utilizado em qualquer tipo de obra
- Plástico, papel, gesso também são resíduos da construção civil e podem se tornar agregado reciclado
- O agregado reciclado é mais resistente que o agregado convencional
- O agregado reciclado é mais barato que o agregado convencional
- O agregado reciclado é mais sustentável que o agregado convencional
- O agregado reciclado não tem qualidade
- Outro: _____

5. Conhece alguém ou alguma empresa que utiliza ou já utilizou o Resíduo de Construção Civil (RCC)? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim *Pular para a pergunta 6*
- Não *Pular para a pergunta 7*

6. Se sim, qual foi a percepção? *

Marcar apenas uma oval.

- Insatisfeito
- Razoável
- Bom
- Muito satisfeito

7. Você se preocupa com os Resíduos de Construção Civil (RCC) gerados em sua(s) obra(s)? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim, inclusive sei em qual área licenciada pela Prefeitura o RCC será depositado
- Sim, mas não sei onde o RCC será depositado
- Sim, mas sei que a empresa contratada descarta irregularmente o resíduo em áreas inapropriadas
- Não me preocupo com os RCC, mas descarto conforme as leis municipais
- Não me preocupo com os RCC, apenas faço/contrato a limpeza e retirada da obra.

8. Você sabia que Campo Grande tem usinas recicladoras de Resíduo de Construção Civil (RCC) que transformam o resíduo em agregado reciclado, como pó de pedra, pedrisco, brita 1, bica corrida e rachão? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

9. Você usa agregado de Resíduo de Construção Civil (RCC) em sua obra? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim, já utilizo *Pular para a pergunta 10*
- Não, mas tenho interesse *Pular para a pergunta 11*
- Não utilizaria *Pular para a pergunta 11*

10. Quais são os motivos para você utilizar o agregado reciclado de Resíduo de Construção Civil (RCC)? (Assinalar quantos itens achar necessário) *

Marque todas que se aplicam.

- Qualidade do produto
- Preço
- Preocupação da empresa com os impactos que este tipo de resíduo gera ambiental, social e economicamente
- Já realiza segregação dos resíduos da construção civil (RCC) em suas obras
- Se sente responsável pelo resíduo que gera
- Empresa tem consciência ambiental
- Outro: _____

11. Quais são os motivos para você NÃO utilizar o agregado reciclado de Resíduo de Construção Civil (RCC)? (Assinalar quantos itens achar necessário) *

Marque todas que se aplicam.

- Qualidade do produto
 Preço
 Disponibilidade da recicladora em atender a demanda desejada
 Não conhece o produto
 Empresa não realiza a separação dos resíduos
 Empresa não conhece sobre logística reversa
 Outro: _____

12. Se o agregado de Resíduo de Construção Civil (RCC) fosse mais barato que o agregado convencional, você usaria? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

13. O que deveria ter o agregado reciclado para ser mais atrativo que o agregado convencional? (pode marcar mais de uma opção) *

Marque todas que se aplicam.

- Custar menos que o agregado convencional
 Ter maior divulgação da existência desse tipo de material
 Ter maior incentivo por parte do Poder Público na utilização deste material, por exemplo, com a redução de alguns impostos
 Ter mais empresas que vendem este tipo de material
 Ter uma logística reversa mais consolidada na cidade
 Ter maior publicidade sobre consciência ambiental e logística reversa
 Ter acesso aos estudos que comprovam a qualidade do agregado
 Outro: _____

Fonte: Autora (2022)

Com ele, pretendeu-se:

- Conhecer a amostra onde a pesquisa foi aplicada (perguntas 1 e 2);
- Entender o nível de conhecimento das pessoas/empresas sobre o RCC e a logística reversa no setor (perguntas 3, 4, 7);
- Analisar a percepção dos usuários que já utilizaram o agregado de RCC (perguntas 5, 6, 8, 9, 10 e 12);
- Saber quais são as diretrizes empregadas pelas pessoas/empresas para o maior alcance da sustentabilidade no tocante à responsabilidade com resíduos gerados (perguntas 7, 9, 10 e 13);

- Diagnosticar o porquê da não utilização dos agregados reciclados de RCC nas obras (perguntas 11, 12 e 13), principalmente nas obras rodoviárias, onde esse material é muito bem empregado na pavimentação de estradas vicinais e na execução de base e sub-base dos pavimentos, conforme os preceitos da NBR 15115/2004 (LEITE et al.,2001, ANGULO et al. 2002, CARDOSO et al., 2016, GAUTAM et al., 2018, BARRETO E AMORIM, 2020).

4. RESULTADOS

4.1. Aplicação de questionário padronizado nas recicladoras da cidade de Campo Grande/MS

Na cidade de Campo Grande/MS há três empresas que realizam a reciclagem do RCC. Sendo assim, nas visitas realizadas a elas, foi aplicado um questionário padronizado. As respostas encontram-se na Tabela 7 e o conteúdo respondido foi integralmente mantido.

A empresa 1 e 2 comercializam apenas os agregados reciclados, já a empresa 3 também trabalha com artefatos produzidos com agregado reciclado.

Tabela 7 - Respostas das recicladoras

| Empresa 1 | Empresa 2 | Empresa 3 |
|--|---|---|
| 1. Qual a capacidade diária de produção? | | |
| Capacidade de produção é de 100m ³ por dia porém nem sempre alcançamos esse valor. | Se considerarmos 8h de britagem por dia e com o material seco a usina brita 400 m ³ por dia. | Antes da pandemia era de 50m ³ por hora. Atualmente não tenho esse dado. |
| 2. Qual a marca e modelo do britador? | | |
| Marca Queixada modelo P-400 mandíbula. | Foi fabricado e montado pela METALCHAPE, é uma empresa de Chapecó/SC. | - |
| 3. Qual é a capacidade de produção do britador? (fornecido pela empresa) | | |
| Capacidade do Britador é 50m ³ hora | No projeto do britador consta a capacidade de 500m ³ diários com 08h trabalhadas. | - |
| 4. A empresa possui capacidade de britar mais ou está operando no limite? | | |
| Possui capacidade pra britar muito mais. | Possivelmente sim, se levarmos em conta material seco e com pouca terra. | Atualmente a empresa está operando com 15% da capacidade. |
| 5. Se possui capacidade de britar mais, o que impede essa produção? | | |
| O que impede é a terra que vem misturada ao entulho (por isso estamos modificando o alimentador pra remover mais terra pra poder britar mais). | Material com muita terra, por vezes úmido ou com impurezas como ferro e madeira. | O que impede o aumento da produção é a readaptação de economia de mercado no pós pandemia |
| 6. Qual a capacidade de armazenamento dos resíduos? (de acordo com a licença ambiental) | | |
| Capacidade pela licença ambiental é de 17 mil m ³ . | De acordo com nossa Licença, a capacidade é de 85 mil m ³ . | De acordo com nossa Licença, a capacidade é de 800 mil m ³ . |

| | | |
|--|--|--|
| 7. Qual o volume recebido diariamente? | | |
| Recebemos aproximadamente 60 a 70 m ³ de material. | Atualmente não estamos recebendo resíduos, mas na época que recebíamos era em torno de 400m ³ dia. | Chegamos a receber 400m ³ dia, porém atualmente não estamos recebendo resíduos. |
| 8. Qual é o material mais comercializado? | | |
| Rachão, seguido do pedrisco. | O que tem a maior procura é o Rachão. | O bloco de concreto produzido com RCC. |
| 9. Qual é o material menos comercializado? | | |
| Pó de pedra reciclado. | O material de menor procura é a Bica Corrida. | A telha produzida com RCC. |
| 10. Quem é o maior cliente que adquire o agregado reciclado? | | |
| Os maiores clientes são empresas que precisam de estradas e pátios, onde o Rachão é utilizado, seguido de pedrisco reciclado que são utilizados pra fazer artefatos de concreto. | Atualmente nosso maior cliente é a Prefeitura Municipal de Campo Grande, a qual fornecemos todos os materiais produzidos e possuímos contrato por meio de licitação. | Empresas de construção civil que adquirem os blocos. |
| 11. Qual é a finalidade do agregado reciclado que vocês comercializam? (ex: pavimentação, concreto não estrutural,...) | | |
| A principal finalidade é pra concreto não estrutural, estamos melhorando pra atender esse mercado. | A PMCG utiliza nosso material para a manutenção das vias não asfaltadas (estradas vicinais). | Os agregados reciclados são utilizados pela nossa empresa para produção de artefatos com agregado reciclado, principalmente bloco de concreto. Dos agregados em geral, o mais comercializado é o rachão para pavimentação. |
| 12. Quantos funcionários a empresa possui? | | |
| 10 funcionários | Atualmente contamos com apenas 6 funcionários contratados e trabalhamos com mais 4 diaristas. | Atualmente 7 funcionários. Antes da pandemia eram 60. |
| 13. Desses funcionários, quantos trabalham na parte de reciclagem do RCC? (pá carregadeira, esteira, britador, ...) | | |
| Apenas 04 funcionários. | No RCC durante a britagem são 6 funcionários, sendo 3 na usina, 1 na pá carregadeira e mais 2 na limpeza e segregação do material. | Todos estão na produção. |
| 14. O resíduo recebido vem limpo? | | |

| | | |
|--|---|---|
| Não, o entulho tem que ser triado duas vezes, uma vez na primeira descarga e depois os finos na esteira. | Não, dos 400m ³ recebidos no dia podemos considerar apenas 25% como limpo, no entanto, quando retornarmos o recebimento, pretendemos trabalhar apenas com o material limpo. | Não, vinha tudo misturado. |
| 15. Qual a área da empresa? | | |
| 3 hectares. | São 5 hectares, sendo 1 hectare de APP (área de preservação ambiental). | São 4 hectares. |
| 16. Qual a maior dificuldade que as recicladoras enfrentam na cidade de Campo Grande? | | |
| A maior dificuldade é a mão de obra de triagem e falta de incentivo do município, estamos resolvendo um problema da cidade, reciclando toneladas dia e não temos nenhum tipo de benefício. | As dificuldades no meu ponto de vista são: A falta de mão de obra, pois existe uma rotatividade muito grande de funcionários nesse setor e a falta de consciência do gerador na hora de separar os resíduos, tanto das obras quanto no lixo doméstico, pois em ambos os casos sempre vem tudo misturado. | A maior dificuldade são os órgãos governamentais. |
| 17. Você acredita que a sociedade já tem boa aceitabilidade do produto? | | |
| Todos os clientes que conheceram o material conosco gostaram bastante, pelo preço e pelo resultado. Já existe uma boa aceitação | Aqui em Campo Grande é muito pouco, mas quem usou recomenda. Depois da Prefeitura, nossos maiores clientes são os fazendeiros que utilizam o Rachão nas estradas das fazendas, e eles gostam muito. Vejo muitas empresas como a nossa em São Paulo e em Mato Grosso, nesses estados a população já tem bastante aceitação dos resíduos reciclados. | A sociedade tem mas a divulgação é pequena. |

Fonte: Autora (2022)

Com a aplicação do questionário foi possível observar que todas as recicladoras possuem capacidade de britar mais material, porém operam aquém do seu limite. A principal barreira que impede o aumento da produção é que a maioria dos resíduos chega sujo aos locais, ou seja, eles têm que limpar todo o material, isso demanda tempo e mão-de-obra.

Inclusive a mão-de-obra foi citada em duas respostas como sendo a maior dificuldade que as recicladoras enfrentam. Por ser um trabalho extremamente braçal e estar envolto constantemente com poeira e barulho, é complicado encontrar recursos humanos para trabalhar com tal serviço.

Com relação a aceitabilidade do produto, todos afirmaram que quem já utilizou o aprovou e o recomenda.

4.2. Funcionamento da recicladora em estudo

A recicladora participante da pesquisa (RCG) recebia aproximadamente 400m³ de resíduo diariamente, porém desde dezembro de 2021 não está recebendo material pois atingiu a capacidade limite de armazenamento. Sendo assim, eles estão reestruturando a empresa, aguardando a nova licença ser aprovada e britando apenas o material já armazenado no pátio (Figura 23).

Figura 23 - Resíduo armazenado no pátio aguardando segregação e britagem



Fonte: *Google Earth* (2022) e *Autora* (2022).

Até dezembro de 2021 a empresa recebia materiais de todas as classes. Quando o resíduo estava segregado, o preço para descarte era menor, porém a maioria das caçambas recebidas vinha com resíduos classe A e B misturados. A Tabela 8 traz dados fornecidos pela

RCG referentes a 2020. É possível observar que 53.442,50 m³ (61,46%) são resíduos considerados sujos, evidenciando que a correta segregação no canteiro de obras ainda não é realizada conforme às normas.

Tabela 8 - Volume de resíduo recebido pela RCG em 2020

| 2020 | Classe A | Classe A/B | Classe B | Classe C | Classe D | Volumoso | Solos |
|---|------------------|------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Janeiro | 1.569,00 | 3.067,00 | 118,00 | / | 4,00 | 184,00 | / |
| Fevereiro | 2.578,00 | 3.294,50 | 152,00 | 8,00 | / | 49,00 | 12,00 |
| Março | 2.414,10 | 3.606,00 | 281,00 | 8,00 | 2,00 | 8,00 | / |
| Abril | 2.194,70 | 4.132,00 | 51,00 | 4,00 | 8,00 | 32,00 | 12,00 |
| Mai | 2.285,00 | 4.501,50 | 100,00 | 12,00 | 2,00 | 36,00 | / |
| Junho | 2.832,00 | 4.533,00 | 38,00 | 4,00 | 8,00 | 20,00 | / |
| Julho | 2.740,00 | 5.241,00 | 124,00 | / | 2,00 | 208,00 | / |
| Agosto | 2.587,50 | 3.947,00 | 102,00 | / | / | 156,00 | / |
| Setembro | 2.576,00 | 5.299,00 | 28,00 | / | 4,00 | 24,00 | / |
| Outubro | 3.444,50 | 4.879,50 | 33,00 | / | / | 40,00 | / |
| Novembro | 3.188,00 | 5.556,00 | 72,00 | / | 14,00 | 20,00 | / |
| Dezembro | 3.078,00 | 5.386,00 | / | / | / | 44,00 | / |
| Total por categoria (m³) | 31.486,80 | 53.442,50 | 1.099,00 | 36,00 | 44,00 | 821,00 | 24,00 |
| Volume total recebido(m³) | 86.953,30 | | | | | | |

Fonte: Autora (2022). Adaptado de RCG (2020).

A produção da reciclagem sempre foi aquém do volume recebido, ocorrendo acúmulo de material para reciclar. Conforme dados divulgados pela RCG, dos 86.953,30 m³ (Tabela 8) de resíduos recebidos, foram reciclados apenas 21.268,00 m³ (24,46%). Os outros 75,54% ficaram armazenados no pátio.

Os resíduos classe A descarregados no pátio eram colocados em uma parte do monte a fim de que fossem utilizados na britagem. Os resíduos recicláveis (classe B) eram segregados, acondicionados em *bags* e prensados para posterior venda à empresa especializada que recebe somente recicláveis (Figura 24).

Figura 24 - Resíduos classe B



Fonte: Autora (2020)

Outros resíduos, como madeiras, eram triturados, transformados em cavaco e posteriormente comercializados (Figura 25).

Figura 25 - Cavaco de madeira



Fonte: Autora (2020)

Os resíduos classificados como classe C eram separados e encaminhados para o aterro da capital. Já os resíduos classe D eram armazenados temporariamente em local coberto e sobre piso impermeabilizado, até o recolhimento por empresas especializadas e devidamente licenciadas (Figura 26).

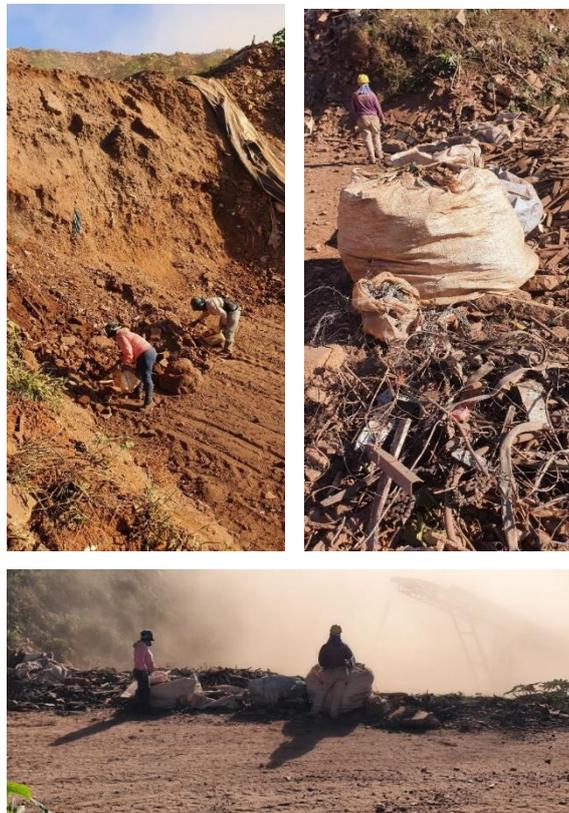
Figura 26 - Resíduo classe C (à esquerda) e classe D (à direita)



Fonte: Autora (2020)

Atualmente, como a empresa não está mais recebendo resíduos, eles estão segregando e britando apenas o material já acumulado no pátio da empresa. Primeiro é feita uma separação manual a fim de separar os resíduos que não irão ao britador como: madeira, plástico, ferro, papel, etc. Estes são retirados e dispostos em *bags* (Figura 27).

Figura 27 - Segregação dos resíduos no pátio



Fonte: Autora (2022)

Os resíduos que passaram por esta seleção primária são carregados pela pá carregadeira e são despejados na primeira peneira vibratória (malha 4cm x 4 cm) (Figura 28). Com a vibração, os materiais passantes (RCC passante na peneira de malha 40mm) são encaminhados pela esteira até a pilha da bica corrida (Figura 29). Este é o primeiro material produzido no processo.

Figura 28 - Alimentação do equipamento com a pá carregadeira



Fonte: Autora (2022)

Figura 29 - Bica corrida sendo produzida



Fonte: Autora (2022)

O material que ficou retido na malha é direcionado ao britador de mandíbulas. Antes de cair no britador, ocorre mais uma segregação manual para retirar algum material que possa interferir no processo, como resíduos de grande volume, plástico, metal, etc (Figura 30).

Figura 30 - Britador de mandíbulas



Fonte: Autora (2022)

Após serem britados, os agregados são conduzidos através de uma esteira até uma segunda peneira vibratória. Nela, ocorre manualmente uma última retirada de impurezas e conforme a faixa granulométrica do agregado reciclado, eles ficam retidos nas peneiras e são direcionados através de esteiras para seus devidos montes (Figura 31).

Figura 31 - Processo de reciclagem do RCC após a britagem



Fonte: Autora (2022)

Após o beneficiamento, todo material está apto a ser comercializado. Conforme os dados coletados *in loco* e que serão apresentados no item 4.4.1, esta recicladora produz pó de pedra, pedrisco, brita 1, bica corrida e rachão (Figura 32). Os materiais mais produzidos são a bica corrida e o rachão. Os menos produzidos são o pedrisco e a brita 1.

Figura 32 - Materiais produzidos com suas respectivas faixas granulométricas



Fonte: Autora (2022)

Atualmente o material mais comercializado é o rachão, pois a empresa possui um contrato com a PMCG, onde fornece o material para pavimentação de estradas vicinais. O material menos comercializado é a bica corrida. A Tabela 9 traz algumas possibilidades de utilização do agregado reciclado.

Tabela 9 - Possibilidades de utilização do agregado reciclado

| Material Uso | Pó de pedra | Pedrisco | Brita 1 | Bica corrida | Rachão |
|--|------------------------|-----------------|----------------|-------------------------|---------------|
| Confecção de artefatos de concreto sem fins estruturais | X | X | X | | |
| Assentamento de paver | X | | | | |
| Jardinagem | X | | | | |
| Subbase de pavimento | | X | X | X | |
| Pavimentação de estradas vicinais | | | | | X |
| Preenchimento de fundo de vala | | | X | | X |

Fonte: Autora (2022)

Após analisar toda a cadeia de produção, conclui-se que se o material fosse inserido limpo (material classe A com pouca adição de terra/solo e isento de impurezas de outras classes) no britador, seria possível produzir menos bica corrida e conseqüentemente mais rachão e pedrisco. Isso seria interessante para comercialização do produto, porém demandaria mais mão-de-obra na segregação da matéria-prima para transformá-lo em limpo.

4.3. Influência das variáveis do processo de reciclagem na produção do agregado reciclado do RCC

Após observar todo o processo da reciclagem do RCC, pode-se observar as seguintes variáveis no processo:

4.3.1. Paralisação dos serviços para desobstrução do britador de mandíbulas

Constantemente o operador do britador interfere na produção para desobstruí-lo de impurezas como vergalhões e chapas que enroscam nas mandíbulas ou quando algum resíduo de grande volume entra no britador, paralisando toda a produção para retirar tal volume

(Figura 33). Foi constatado *in loco* que as paralisações na maioria das vezes são rápidas, na média de 3 minutos, porém pode ocorrer de paralisar por 15 minutos, dependendo da complexidade. A cada hora, ocorre em média 5 paralisações.

Figura 33 - Desobstrução do britador



Fonte: Autora (2022)

Para minimizar o problema de enroscamento de material metálico no britador poderia ser colocado um ímã na entrada da primeira peneira vibratória para retirar os objetos metálicos. Já para minimizar o travamento do britador com materiais de excessivo volume, seria possível inserir uma tela com malha grande sobre o alimentador, delimitando o volume aceitável de operação do britador, evitando que materiais de grande volume entrassem e paralisassem a produção.

4.3.2. Fator climático

Como a recicladora não possui pátio coberto, nos dias chuvosos toda a produção é paralisada. Não é possível britar o material úmido/molhado, pois ele gruda nas peças e prejudica o motor. Após chuvas intensas, é necessário aguardar vários dias para o material secar (Figura 34).

Figura 34 - Produção paralisada devido à chuva



Fonte: Autora (2022)

Conforme dados do CEMTEC (Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de MS) apresentados na Tabela 10, no ano de 2021 choveu o equivalente a 127 dias, ou seja, 34,79% do ano. Considerando que dependendo da intensidade da chuva, a produção paralisa alguns dias, as condições climáticas interferem significativamente no processo.

Tabela 10 – Dias de precipitação na cidade de Campo Grande/MS

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|--------------|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Chuva (dias) | 23,00 | 14,00 | 16,00 | 8,00 | 6,00 | 6,00 | 3,00 | 2,00 | 5,00 | 15,00 | 17,00 | 12,00 |
| Total (dias) | 127,00 | | | | | | | | | | | |

Fonte: CEMTEC (2021)

Para reverter o problema seria possível cobrir a área de britagem e um espaço de reservação de material que seria britado naquela semana, porém o custo seria elevado. Uma saída mais econômica seria cobrir com lona o material que será britado em breve.

4.3.3. Mão-de-obra

Por se tratar de um serviço extremamente braçal (a separação dos resíduos, a retirada manual de impurezas nas esteiras, a desobstrução do britador) e por trabalhar diretamente com o barulho do britador e poeira, é complicado encontrar mão-de-obra disposta a trabalhar com tal serviço (Figura 35). A rotatividade de funcionários é muito grande. Tal situação foi

observada em duas das três respostas obtidas nas entrevistas com as recicladoras da Tabela 7.

Figura 35 - Trabalhadores da recicladora



Fonte: Autora (2022)

4.4. Desenvolvimento da modelagem e da interface

Para o desenvolvimento do modelo matemático e da interface foi realizada a coleta de dados *in loco*. Eles foram coletados durante os dias 30/05/2022 a 10/06/2022, totalizando 10 dias de produção, já que a RCG trabalha de segunda à sexta-feira. Porém choveu 2 dias, restando 8 dias de análise. Foi possível observar todo o processo de produção, conforme descrito no item 4.2.

4.4.1. Apresentação dos dados coletados

A Tabela 11 contém os dados coletados. Com a produção acontecendo diariamente, no final do dia há acúmulo de agregados reciclados embaixo das esteiras. Não é todo dia que é feita a limpeza para retirada do material produzido. Quando ela ocorre, o agregado reciclado é removido e armazenado em um local ao lado da produção, aguardando a sua comercialização e foi inserida a informação “Limpeza do Pátio” na tabela.

Tabela 11 - Dados coletados

| Data | 30/05/2022 | | | | |
|---|----------------------------|---------------|---------------|---------------------|---------------|
| Tempo de funcionamento do britador | 3h18 | | = | 198 min | |
| Volume inserido no britador (m ³) | Nº de pás: 108,00 | Volume pá: | | 2,00 m ³ | |
| | 216,00 | | | | |
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) | 00:01:49 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
| Circunferência (m) | 14,30 | 17,90 | 25,00 | 23,40 | 26,04 |
| Raio (m) | 2,28 | 2,85 | 3,98 | 3,72 | 4,14 |
| Altura (m) | 1,74 | 2,20 | 2,88 | 2,48 | 2,82 |
| Volume Acumulado (m ³) | 9,45 | 18,66 | 47,76 | 36,06 | 50,76 |
| Volume do dia (m ³) | 9,45 | 18,66 | 47,76 | 36,06 | 50,76 |
| Total produzido no dia (m³) | 162,69 | | | | |
| % referente a cada material | 5,81% | 11,47% | 29,36% | 22,16% | 31,20% |
| Produção (m³ / min) | 0,82 | | | | |
| Perda de material | 53,31 m³ | | | % | 24,68% |

| Data | 31/05/2022 | | | | |
|---|-----------------------------|---------------|---------------|---------------------|---------------|
| Tempo de funcionamento do britador | 3h35 | | = | 215 min | |
| Volume inserido no britador (m ³) | Nº de pás: 151,00 | Volume pá: | | 2,00 m ³ | |
| | 302,00 | | | | |
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) | 00:01:25 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
| Circunferência (m) | 20,80 | 23,30 | 31,54 | 29,70 | 33,50 |
| Raio (m) | 3,31 | 3,71 | 5,02 | 4,73 | 5,33 |
| Altura (m) | 1,98 | 2,90 | 4,12 | 3,56 | 3,60 |
| Volume Acumulado (m ³) | 22,72 | 41,78 | 108,73 | 83,21 | 107,22 |
| Volume do dia (m ³) | 13,27 | 23,12 | 60,96 | 47,15 | 56,46 |
| Total produzido no dia (m³) | 200,96 | | | | |
| % referente a cada material | 6,60% | 11,50% | 30,34% | 23,46% | 28,10% |
| Produção (m³ / min) | 0,93 | | | | |
| Perda de material | 101,04 m³ | | | % | 33,46% |

Limpeza do pátio

| Data | 01/06/2022 |
|------|------------|
|------|------------|

| | | | | | |
|---|----------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Tempo de funcionamento do britador | 5h20 | | = | 320 min | |
| Volume inserido no britador (m ³) | Nº de pás: 183,00 | Volume pá: | 2,00 m ³ | | |
| | 366,00 | | | | |
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) | 00:01:44 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
| Circunferência (m) | 17,90 | 21,35 | 26,70 | 22,31 | 27,21 |
| Raio (m) | 2,85 | 3,40 | 4,25 | 3,55 | 4,33 |
| Altura (m) | 2,10 | 2,20 | 5,00 | 4,60 | 5,10 |
| Volume Acumulado (m ³) | 17,85 | 26,60 | 94,58 | 60,71 | 100,13 |
| Volume do dia (m ³) | 17,85 | 26,60 | 94,58 | 60,71 | 100,13 |
| Total produzido no dia (m³) | 299,86 | | | | |
| % referente a cada material | 5,95% | 8,87% | 31,54% | 20,25% | 33,39% |
| Produção (m³ / min) | 0,94 | | | | |
| Perda de material | 66,14 m³ | | | % | 18,07% |

| | | | | | |
|---|----------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Data | 02/06/2022 | | | | |
| Tempo de funcionamento do britador | 4h43 | | = | 283 min | |
| Volume inserido no britador (m ³) | Nº de pás: 152,00 | Volume pá: | 2,00 m ³ | | |
| | 304,00 | | | | |
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) | 00:01:52 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
| Circunferência (m) | 23,00 | 27,00 | 36,44 | 30,00 | 36,00 |
| Raio (m) | 3,66 | 4,30 | 5,80 | 4,77 | 5,73 |
| Altura (m) | 2,15 | 3,00 | 5,30 | 4,80 | 5,20 |
| Volume Acumulado (m ³) | 30,17 | 58,01 | 186,71 | 114,59 | 178,76 |
| Volume do dia (m ³) | 12,32 | 31,41 | 92,13 | 53,88 | 78,63 |
| Total produzido no dia (m³) | 268,38 | | | | |
| % referente a cada material | 4,59% | 11,70% | 34,33% | 20,08% | 29,30% |
| Produção (m³ / min) | 0,95 | | | | |
| Perda de material | 35,62 m³ | | | % | 11,72% |

| | | | | | |
|---|-------------------|------------|---------------------|---------|--|
| Data | 03/06/2022 | | | | |
| Tempo de funcionamento do britador | 3h42 | | = | 222 min | |
| Volume inserido no britador (m ³) | Nº de pás: 106,00 | Volume pá: | 2,00 m ³ | | |
| | 212,00 | | | | |

| | | | | | |
|---|----------------------------|-----------------|---------------|--------------------|-------------------------|
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) | 00:02:05 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
| Circunferência (m) | 25,00 | 30,00 | 40,21 | 32,36 | 40,53 |
| Raio (m) | 3,98 | 4,77 | 6,40 | 5,15 | 6,45 |
| Altura (m) | 2,85 | 3,30 | 5,45 | 5,35 | 5,65 |
| Volume Acumulado (m ³) | 47,25 | 78,78 | 233,77 | 148,59 | 246,15 |
| Volume do dia (m ³) | 17,08 | 20,77 | 47,06 | 34,00 | 67,39 |
| Total produzido no dia (m³) | 186,30 | | | | |
| % Referente a cada material | 9,17% | 11,15% | 25,26% | 18,25% | 36,17% |
| Produção (m³ / min) | 0,84 | | | | |
| Perda de material | 25,70 m³ | | | % | 12,12% |

| Limpeza do pátio | | | | | |
|---|----------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Data | 06/06/2022 | | | | |
| Tempo de funcionamento do britador | 2h02 | = | 122 min | | |
| Volume inserido no britador (m ³) | Nº de pás: 59,00 | Volume pá: | 2,00 m ³ | | |
| | 118,00 | | | | |
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) | 00:02:04 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
| Circunferência (m) | 12,30 | 12,60 | 24,00 | 18,55 | 23,00 |
| Raio (m) | 1,96 | 2,01 | 3,82 | 2,95 | 3,66 |
| Altura (m) | 1,50 | 1,60 | 2,50 | 2,00 | 2,20 |
| Volume Acumulado (m ³) | 6,02 | 6,74 | 38,20 | 18,26 | 30,87 |
| Volume do dia (m ³) | 6,02 | 6,74 | 38,20 | 18,26 | 30,87 |
| Total produzido no dia (m³) | 100,08 | | | | |
| % Referente a cada material | 6,01% | 6,73% | 38,17% | 18,24% | 30,85% |
| Produção (m³ / min) | 0,82 | | | | |
| Perda de material | 17,92 m³ | | | % | 15,19% |

| | | | | | |
|---|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Data | 07/06/2022 | | | | |
| Tempo de funcionamento do britador | 2h55 | = | 175 min | | |
| Volume inserido no britador (m ³) | Nº de pás: 88,00 | Volume pá: | 2,00 m ³ | | |
| | 176,00 | | | | |
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) | 00:01:59 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |

| | | | | | |
|---|----------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Circunferência (m) | 18,00 | 20,20 | 32,50 | 26,80 | 32,60 |
| Raio (m) | 2,86 | 3,21 | 5,17 | 4,27 | 5,19 |
| Altura (m) | 1,65 | 1,90 | 2,70 | 2,20 | 3,20 |
| Volume Acumulado (m ³) | 14,18 | 20,56 | 75,65 | 41,91 | 90,21 |
| Volume do dia (m ³) | 8,16 | 13,83 | 37,45 | 23,66 | 59,34 |
| Total produzido no dia (m³) | 142,44 | | | | |
| % Referente a cada material | 5,73% | 9,71% | 26,29% | 16,61% | 41,66% |
| Produção (m³ / min) | 0,81 | | | | |
| Perda de material | 33,56 m³ | | | % | 19,07% |
| Data | 08/06/2022 | | | | |
| - | Chuva | | | | |
| Data | 09/06/2022 | | | | |
| - | Chuva | | | | |
| Limpeza do pátio | | | | | |
| Data | 10/06/2022 | | | | |
| Tempo de funcionamento do britador | 3h15 | = | 195 min | | |
| Volume inserido no britador (m ³) | Nº de pás: 92,00 | Volume pá: | 2,00 m ³ | | |
| | 184,00 | | | | |
| Ciclo da pá carregadeira (min / nº de pás) | 00:02:07 | | | | |
| Material | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
| Circunferência (m) | 15,30 | 16,50 | 27,30 | 21,60 | 26,50 |
| Raio (m) | 2,44 | 2,63 | 4,34 | 3,44 | 4,22 |
| Altura (m) | 1,80 | 1,95 | 2,80 | 2,00 | 2,95 |
| Volume Acumulado (m ³) | 11,18 | 14,08 | 55,35 | 24,75 | 54,95 |
| Volume do dia (m ³) | 11,18 | 14,08 | 55,35 | 24,75 | 54,95 |
| Total produzido no dia (m³) | 160,32 | | | | |
| % Referente a cada material | 6,97% | 8,78% | 34,53% | 15,44% | 34,28% |
| Produção (m³ / min) | 0,82 | | | | |
| Perda de material | 23,68 m³ | | | % | 12,87% |

Fonte: Autora (2022)

4.4.2. Imprecisão na coleta dos dados

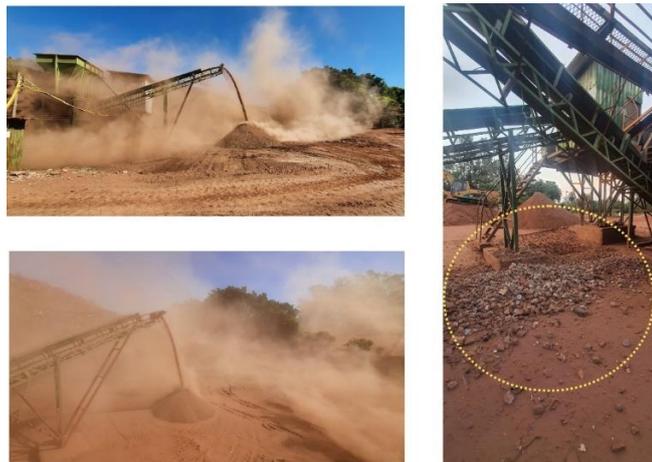
Os dados coletados possuem algumas imprecisões ocasionadas por:

- Índice de vazios do RCC. O índice de vazios corresponde ao volume de vazios dividido pelo volume dos sólidos. Quando a pá carregadeira coleta o material, o mesmo possui vazios entre os resíduos. O volume considerado para

alimentação do equipamento foi de 2m^3 , que é a capacidade da concha da máquina ($1,8\text{m}^3$) mais um volume extra, porém, o volume real seria menor, caso fosse descontado os vazios.

- Volume de agregado reciclado produzido. Foi considerado o volume dos montes como sendo um cone, porém é um arredondamento. Isso foi feito para coletar este dado *in loco* sem atrapalhar toda a logística da empresa.
- Perda de material durante o processo. Desde o despejo do material no britador até sua deposição nos montes respectivos a cada faixa granulométrica ocorre uma perda significativa de material. Isso se deve à parte pulverulenta do material que se dispersa. Também ocorre de o material cair das esteiras (Figura 36). De acordo com os cálculos, a perda ocorrida é em torno de 18,40 %.

Figura 36 - Perda de material



Fonte: Autora (2022)

4.4.3. Análise estatística dos dados e desenvolvimento do modelo matemático

Os dados levantados são apresentados em termos de variável dependente (volume de RCC produzido) e em variáveis independentes (volume inserido e tempo de funcionamento), conforme Tabela 12:

Tabela 12 - Dados utilizados na Regressão Linear Múltipla

| Data | Volume Produzido (m³) | Tempo de funcionamento (min) | Volume Inserido (m³) |
|----------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------|
| 30/05/2022 | 162,69 | 198 | 216,00 |
| 31/05/2022 | 200,96 | 215 | 302,00 |
| 01/06/2022 | 299,86 | 320 | 366,00 |
| 02/06/2022 | 268,38 | 283 | 304,00 |
| 03/06/2022 | 186,30 | 222 | 212,00 |
| 06/06/2022 | 100,08 | 122 | 118,00 |
| 07/06/2022 | 142,44 | 175 | 176,00 |
| 10/06/2022 | 160,32 | 195 | 184,00 |
| Média | 190,13 | 216,25 | 234,75 |
| Desvio Padrão | 65,82 | 61,67 | 82,00 |

Fonte: Autora (2022)

Considerando as informações das oito amostras, num primeiro momento realizou-se a análise estatística, com o objetivo de conhecer a distribuição das variáveis para posteriormente aplicar a análise de regressão linear múltipla e, por fim, chegar-se ao modelo de regressão linear. As análises foram realizadas no *software R Studio*.

Para a análise do tamanho da amostra, calculou-se o intervalo de confiança (IC) do volume produzido (variável dependente). Considerando um nível de confiança (γ) de 95%, tem-se a seguinte fórmula:

$$IC(\mu, 95\%) = \left[\bar{X} - z_{\frac{\gamma}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{X} + z_{\frac{\gamma}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right], \text{ onde:}$$

IC = intervalo de confiança;

μ = média populacional;

γ = nível de confiança = 95%;

\bar{X} = média amostral = 190,13;

$z_{\frac{\gamma}{2}}$ = obtido na tabela normal padrão. Para 95%, $z_{\frac{\gamma}{2}} = 1,96$;

σ = desvio padrão = 65,82 e

n = número da amostra = 8.

Substituindo os valores na fórmula, tem-se:

$$IC(\mu, 95\%) = [144,52 ; 235,74].$$

Para determinar qual seria o tamanho da amostra ideal, considerando a amplitude do intervalo de 75 m³ associado a confiança de 95%, calculou-se:

$$\bar{X} + z_{\frac{\gamma}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} - \left(\bar{X} - z_{\frac{\gamma}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \leq 75,$$

$$2 \cdot z_{\frac{\gamma}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq 75,$$

$$n \leq 11,83.$$

Portanto, o tamanho ideal da amostra com amplitude de 75m³ seria 12 observações. Conclui-se que as 8 observações podem ser representativas para a previsibilidades do RCC.

4.4.3.1. Análise da variável dependente (Y)

Foi aplicado o teste estatístico de *Shapiro-Wilk* sobre a variável dependente (Y) a fim de demonstrar a viabilidade de aplicação da metodologia de análise estatística por regressão linear múltipla. Ele verifica se os dados apresentam distribuição aproximadamente normal, que é uma distribuição simétrica em torno da média, com formato de sino (BELFIORE, FÁVERO, 2017). O teste tem as seguintes hipóteses:

Hipótese nula H₀: distribuição normal dos dados = normal → p > 0,05

Hipótese alternativa H₁: distribuição dos dados ≠ normal → p ≤ 0,05

Foi testada a hipótese de normalidade dos dados da variável dependente cujos resultados são apresentados na Figura 37. Inicialmente observou-se o p-valor obtido para o teste *Shapiro-Wilk*, considerado o mais indicado para amostras menores do que 30 unidades (MAROCO, 2014 apud BELFIORE, FÁVERO, 2017). Com o resultado encontrado de p-valor = 0,65 não se rejeita a hipótese de normalidade para a variável dependente.

Figura 37 - Teste de *Shapiro-Wilk* sobre a variável dependente (Y)

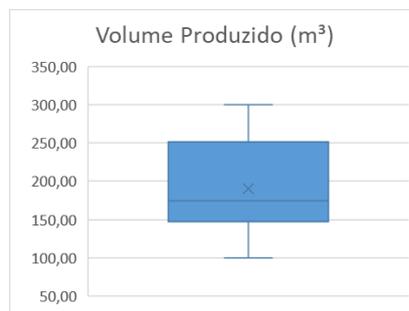
```
shapiro-wilk normality test
data: vetorComDados
w = 0.9438, p-value = 0.6488
```

Fonte: Autora (2022)

Como a amostra passou no teste de normalidade, mantivemos todos os dados amostrais do volume produzido e calculou-se qual era a confiança, chegando a um valor em torno de 88%. Já mantendo a confiança de 95%, calculou-se o tamanho da amostra necessária.

O gráfico *boxplot* apresentado na Figura 38 demonstra que não existe presença de *outliers* na amostra. O *boxplot*, ou gráfico de caixa, é um recurso utilizado para avaliar visualmente a distribuição empírica dos dados.

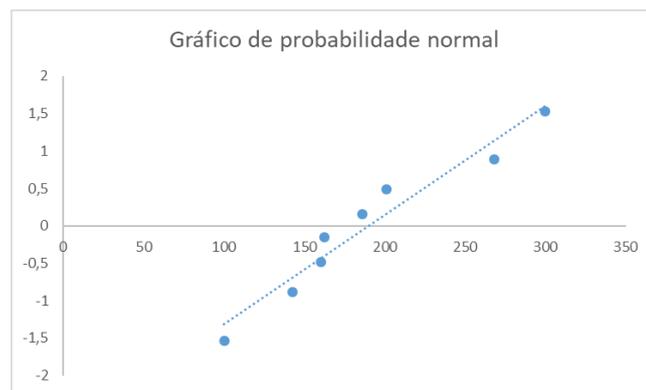
Figura 38 - Gráfico *boxplot* da variável dependente



Fonte: Autora (2022)

O gráfico de probabilidade normal da Figura 39 comprova a distribuição normal da variável devido à proximidade dos pontos e sua aleatoriedade em relação à reta ascendente.

Figura 39 - Gráfico de probabilidade normal Q-Q *plot* para o volume produzido



Fonte: Autora (2022)

4.4.3.2. Análise das variáveis independentes

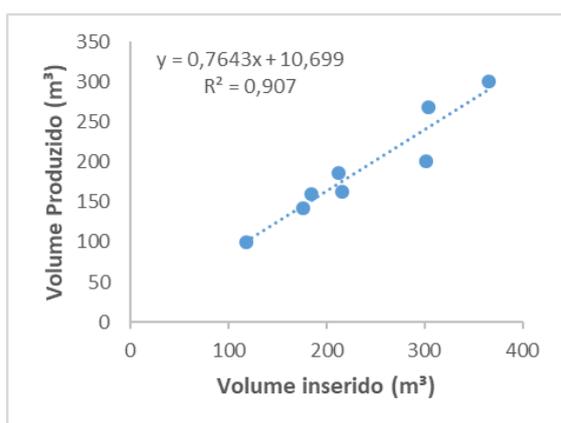
Em sequência à análise da variável dependente, procedeu-se a análise de cada uma das variáveis independentes (volume inserido e tempo de funcionamento). Inicialmente

foram elaborados gráficos de dispersão de alguns dados quantitativos *versus* a variável dependente com intuito de visualizar uma possível relação de causa e efeito entre elas.

A Figura 40 e a Figura 41 mostram os gráficos de dispersão das variáveis “volume inserido (m³)” e “tempo de funcionamento (min)” em relação ao “volume produzido (m³)” respectivamente. Observa-se elevação no volume produzido conforme aumenta o volume inserido, assim como também ocorre com o tempo de funcionamento.

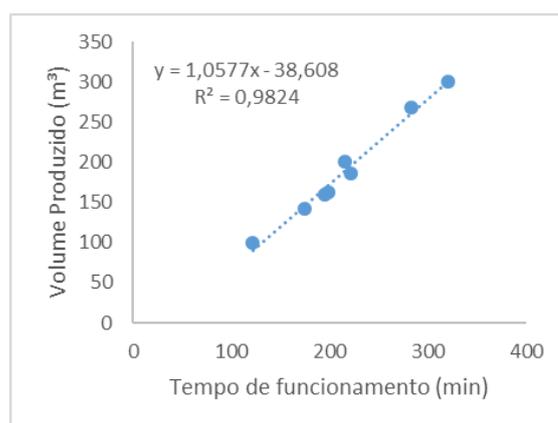
Nos gráficos foi possível observar que as variáveis independentes quando analisadas de maneira isolada em relação à variável dependente apresentaram alto coeficiente de determinação (R^2), porém é necessário analisar a influência das variáveis independentes, em conjunto, sobre a variável resposta (dependente).

Figura 40 - Gráfico de dispersão do volume produzido x volume inserido



Fonte: Autora (2022)

Figura 41 - Gráfico de dispersão do volume produzido x tempo de funcionamento



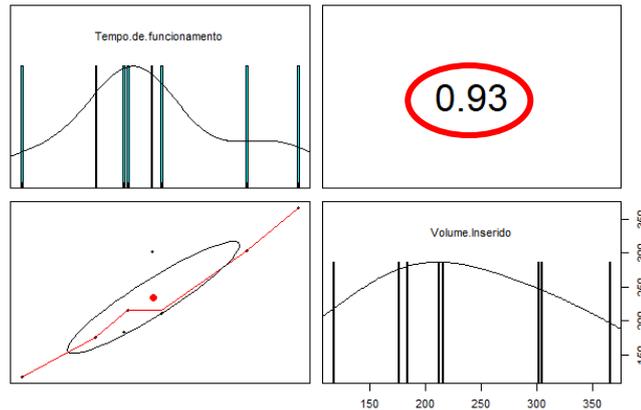
Fonte: Autora (2022)

Outra verificação importante na relação entre as variáveis consiste na análise de correlação. Esta permite verificar o grau de correlação e a sua direção, positiva ou negativa. Avaliar a correlação entre as variáveis independentes é conveniente, pois permite verificar a existência de multicolinearidade, que seriam duas variáveis que explicam o mesmo fenômeno, podendo ocasionar erro-padrão elevado na regressão (BELFIORE, FÁVERO, 2017). Observando o coeficiente de correlação ρ (de *Pearson*), sugere-se que há multicolinearidade se $\rho > 0,9$.

Essas análises são apresentadas na Figura 42, que demonstra valores de correlação *Pearson* para variáveis independentes. O painel abaixo cruza todas as variáveis, vindo a relação duas a duas. Há o gráfico de dispersão, histograma com a frequência das variáveis e o

coeficiente de correlação. A correlação entre o tempo de funcionamento e o volume inserido ficou em 0,93 que é maior que 0,9, ou seja, possivelmente há multicolinearidade entre as variáveis independentes.

Figura 42 - Análise de correlação entre todas as variáveis independentes do modelo



Fonte: Autora (2022)

Outra forma de verificar se há multicolinearidade é através do Fator de Inflação de Variância (*Variance Inflation Factor* - VIF), que mede o quanto da variância de cada coeficiente de regressão do modelo estatístico se encontra inflado em relação à situação em que as variáveis independentes não estão correlacionadas. Alguns autores sugerem que o $VIF > 10$ é um indicativo de que há multicolinearidade (BELFIORE, FÁVERO, 2017).

Analisando a Figura 43, nota-se que nenhuma das variáveis independentes apresentou $VIF > 10$, porém os valores são elevados.

Figura 43 - Análise da multicolinearidade

```
> vif(mod)
Tempo.de.funcionamento
7.260478
volume.Inserido
7.260478
```

Fonte: Autora (2022)

Como a amostra é pequena, as duas análises elaboradas mostraram resultados diferentes. Segundo Vasconcellos e Alves (2000 apud BELFIORE, FÁVERO, 2017) a existência de multicolinearidade não afeta a intenção de elaboração de previsões, desde que as mesmas condições que geraram os resultados se mantenham para a previsão. Desta forma, as previsões incorporarão o mesmo padrão de relação entre as variáveis explicativas, o que não

representa problema algum. Gujarati (2011 apud BELFIORE, FÁVERO, 2017) ainda destaca que a existência de altas correlações entre variáveis explicativas não gera necessariamente estimadores ruins ou fracos e que a presença de multicolinearidade não significa que o modelo possui problemas. Alguns autores argumentam que uma solução para a multicolinearidade é identificá-la, reconhecê-la e não fazer nada (BELFIORE, FÁVERO, 2017).

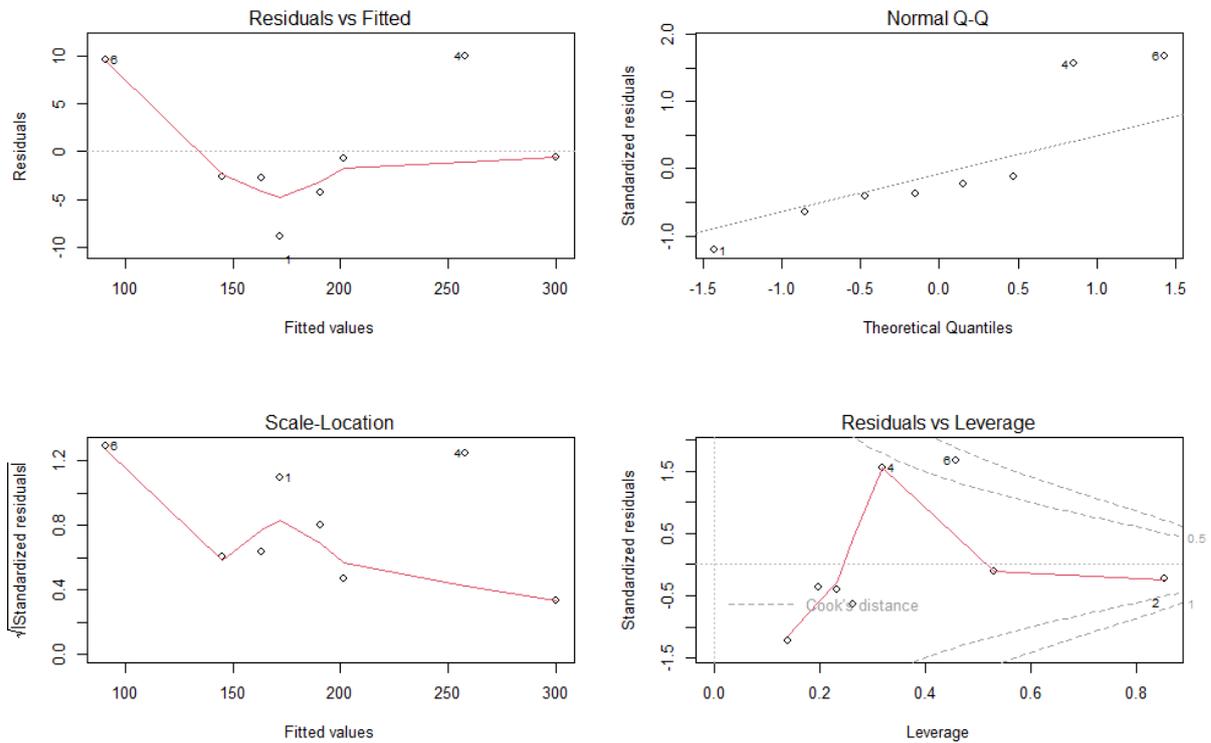
4.4.3.3. Análise dos resíduos

O pressuposto da regressão linear não é a normalidade das variáveis e sim dos resíduos. Eles são a diferença entre o valor observado (pontos) e o valor previsto pelo modelo (reta). Correspondem à distância dos pontos até a reta. Para definir a melhor reta, os resíduos são elevados ao quadrado e somados. A regressão seleciona a reta com menor soma dos quadrados (método dos mínimos quadrados) (BELFIORE, FÁVERO, 2017). A Figura 44 traz os gráficos de análise dos pressupostos. O primeiro gráfico é dos resíduos pelos valores ajustados. Ele permite analisar a linearidade. Observa-se a linha vermelha do gráfico. Se ela estiver aproximadamente horizontal próxima a linha cinza pontilhada, então tem-se a linearidade. Como a amostra é pequena e a linha vermelha está parcialmente na horizontal, conclui-se que o pressuposto de linearidade foi atendido.

Já o segundo gráfico (Q-Q *plot*) permite analisar se os resíduos apresentam distribuição normal. No eixo y estão os resíduos padronizados e no eixo x os resíduos teóricos, que seriam os resíduos esperados caso a distribuição fosse normal. Se isso ocorrer, eles devem estar em cima da linha cinza pontilhada. Nota-se que eles não estão exatamente em cima da linha, porém a acompanham, seguindo uma distribuição normal, atendendo o pressuposto.

O terceiro gráfico é o mais recomendado para analisar a homocedasticidade, que é a constância da variância dos resíduos ao longo da variável explicativa (BELFIORE, FÁVERO, 2017). Caso ela exista, a linha vermelha deve ser aproximadamente horizontal e é possível analisar o padrão de dispersão dos pontos. O eixo y é a raiz quadrada dos resíduos padronizados e o eixo x são os valores previstos. No caso, a amostra é pequena e dificulta a análise da dispersão dos pontos, pois não é possível concluir que os pontos estão dispersos em um padrão retangular.

Figura 44 – Gráficos de análise dos pressupostos



Fonte: Autora (2022)

Então foi realizado o teste *Breusch-Pagan* para verificar se há homocedasticidade. Ele tem os seguintes pressupostos:

Hipótese nula H_0 : há homocedasticidade $\rightarrow p > 0,05$

Hipótese alternativa H_1 : não há homocedasticidade $\rightarrow p \leq 0,05$

Como o valor de p é 0,7351, maior que 0,05, então há homocedasticidade (Figura 45).

Figura 45 - Teste de *Breusch-Pagan*

```
studentized Breusch-Pagan test
data: mod
BP = 0.61556, df = 2, p-value = 0.7351
```

Fonte: Autora (2022)

O quarto gráfico é para analisar se existem resíduos que são *outliers* e se há pontos de alavancagem (ponto que está distante e influencia a estimação do modelo). Se houvesse *outliers*, existiriam resíduos abaixo de -3 e acima de 3 (no eixo y), o que não é o caso. A linha pontilhada vermelha é calculada com base na distância de *Cook's* e na alavancagem. Se existir

algum ponto para fora da linha vermelha, ele influencia a estimação do modelo, como é o caso do ponto 6. Neste caso, como a amostra é pequena, optou-se por mantê-lo.

Também foi feita a análise dos pressupostos por testes. Foi realizado o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* em cima dos resíduos. A normalidade dos resíduos é requerida apenas e tão somente para que sejam validados os testes de hipótese dos modelos de regressão, ou seja, o pressuposto da normalidade assegura que o valor-p dos testes t e do teste F sejam válidos (BELFIORE, FÁVERO, 2017). O valor de p foi de 0,1546, que é maior que 0,05 (Figura 46). Então considera-se que a distribuição é aproximadamente normal, como foi analisado no segundo gráfico.

Figura 46 - Teste de *Shapiro-Wilk* sobre os resíduos

```
shapiro-wilk normality test
data:  mod$residuals
w = 0.87113, p-value = 0.1546
```

Fonte: Autora (2022)

Para analisar os valores mais altos e baixos dos resíduos, foi analisado se há *outliers* neles (Figura 47). Nota-se que o mínimo ficou em -1,21 e o máximo em 1,68. Os resíduos não estão fugindo do intervalo -3 e +3 e a mediana fica próxima de zero.

Figura 47 - *Outliers* dos resíduos

```
> summary(rstandard(mod))
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-1.21310 -0.46280 -0.29623  0.03439  0.30643  1.68044
```

Fonte: Autora (2022)

4.4.3.4. Análise de regressão

Tendo em vista a normalidade dos resíduos, a análise de regressão foi executada testando as duas variáveis independentes a fim de buscar o melhor ajuste do modelo. Para os testes foi adotado o nível de significância $\alpha = 0,05$.

Inicialmente testou-se todas as variáveis independentes (tempo de funcionamento e volume inserido) para este estudo, sendo criado o Modelo 1 (Figura 48):

Figura 48 - Análise do modelo 1 no programa R Studio

```

> summary(mod)

Call:
lm(formula = volume.Produzido ~ Tempo.de.funcionamento + volume.Inserido,
    data = dados)

Residuals:
    1     2     3     4     5     6     7     8 
-8.8401 -0.6667 -0.5961 10.1008 -4.3481  9.7138 -2.6000 -2.7637

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -32.59643    11.22704   -2.903  0.0337 *
Tempo.de.funcionamento  0.82764    0.12974    6.379  0.0014 **
Volume.Inserido    0.18636    0.09758    1.910  0.1144
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.857 on 5 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9898,    Adjusted R-squared:  0.9857 
F-statistic: 243.1 on 2 and 5 DF,  p-value: 1.045e-05

```

Fonte: Autora (2022)

O teste F informou que pelo menos uma das variáveis X relacionou-se significativamente com Y, pois o valor de p foi de $1,045 \times 10^{-5}$ e foi menor que 0,05, então rejeitou-se a hipótese nula e o modelo teve maior capacidade de predição.

Hipótese nula H_0 : modelo criado = modelo nulo $\rightarrow p > 0,05$

Hipótese alternativa H_1 : modelo criado \neq modelo nulo $\rightarrow p \leq 0,05$.

Além disso, verificou-se ao nível de significância de 5%, se todos os parâmetros (α , β_1 e β_2) são estatisticamente diferentes de zero.

O teste-t verificou as seguintes hipóteses:

Hipótese nula H_0 : coeficiente = 0 $\rightarrow p > 0,05$

Hipótese alternativa H_1 : coeficiente $\neq 0 \rightarrow p \leq 0,05$.

Analisando os dados gerados no R *Studio* (Figura 48) o valor de p fornecido pelo teste-t do coeficiente do tempo de funcionamento foi de $p = 0,0014 < 0,05$. Então o coeficiente é estatisticamente diferente de zero com valor de 0,83. Este coeficiente indica que a cada 1 minuto de funcionamento da máquina o volume de produção é de aproximadamente $0,83\text{m}^3$.

Já para o coeficiente volume inserido, temos o valor de $p = 0,1144 > 0,05$, ou seja, o coeficiente é igual a zero. Então ele não impacta no volume produzido.

O intercepto foi de -32,60 com valor de $p = 0,0337 < 0,05$.

No modelo 1 (Figura 48) observou-se o valor obtido de coeficiente de determinação $R^2 = 0,9898$. Stock e Watson (2004 apud BELFIORE, FÁVERO, 2017) definem o R^2 como a fração da variância da amostra de Y explicada (ou prevista) pelas variáveis explicativas. No modelo 1, como seu valor foi 0,9898, ele indica elevada explicação da variável dependente. Já o coeficiente de determinação ajustado (indicado para análises de regressões múltiplas), que pondera o R^2 de acordo com o número de variáveis independentes no modelo e o número de amostras penalizando a inclusão de regressores pouco explicativos, teve resultado pouco inferior ficando em R^2 ajustado = 0,9857, fato que pode ser justificado pelo pequeno número de amostras.

A equação produzida pelo modelo 1 é:

$$Y = -32,60 + 0,83 X_1 + 0,19 X_2, \text{ onde:}$$

Y = Volume produzido (m^3);

X_1 = Tempo de funcionamento (min) e

X_2 = Volume inserido (m^3).

Para saber qual das variáveis independentes têm maior influência no modelo, verificou-se os coeficientes padronizados. Estes servem para comparar, dentro de um modelo, as variáveis preditoras que possuem unidades de medidas distintas. Comparou-se as variáveis independentes, por meio do resultado desses codificadores (Figura 49).

Figura 49 - Coeficientes padronizados

```
> lm.beta(mod)
Tempo.de.funcionamento      0.7755447
Volume.Inserido              0.2321963
```

Fonte: Autora (2022)

Nota-se que o tempo de funcionamento obteve 0,78 de coeficiente, tendo um impacto maior que o volume inserido, ou seja, ele é um previsor que está mais associado ao volume produzido. Isso se deve ao fato do tempo de funcionamento influenciar diretamente a

produção do agregado reciclado, pois ele refere-se ao tempo de funcionamento do equipamento, descontando-se apenas as paralisações, conforme mencionado anteriormente. Já o volume inserido no britador possui menor influência na previsão do volume, isso pode estar associado ao valor de $p = 0,1144 > 0,05$ e de ter apresentado multicolinearidade com a variável tempo de funcionamento.

Analisando o intervalo de confiança 95% para os coeficientes do modelo 1 (Figura 50), temos:

Figura 50 – Intervalo com nível de confiança de 95% para cada um dos parâmetros

```
> confint(mod)
              2.5 %    97.5 %
(Intercept) -61.4564522 -3.736408
Tempo.de.funcionamento  0.4941255  1.161162
Volume.Inserido -0.0644694  0.437183
```

Fonte: Autora (2022)

Para que o coeficiente possa ser interpretado, é necessário que o intervalo não inclua o zero. O intervalo do tempo de funcionamento é: $P[0,49 \leq \beta_1 \leq 1,16] = 95\%$, ou seja, não inclui o zero, o que indica que são estatisticamente diferentes de zero. Já para o coeficiente volume inserido, o intervalo de confiança é $P[-0,06 \leq \beta_2 \leq 0,44] = 95\%$, ou seja, inclui o zero.

Como observado no modelo 1, o coeficiente volume inserido obteve valor de $p = 0,1144 > 0,05$, ou seja, é nulo, não explicando o modelo criado. Analisando o intervalo de confiança, nota-se que ele possui o zero, então sugere-se excluir o parâmetro do modelo. Então, optou-se por retirá-lo, criando o modelo 2 tendo como variável dependente o volume produzido e variável independente o tempo de funcionamento (Figura 51).

Figura 51 - Análise do modelo 2 no programa R Studio

```

> mod2 <- lm(volume.Produzido ~ Tempo.de.funcionamento, dados)
> summary(mod2)

Call:
lm(formula = volume.Produzido ~ Tempo.de.funcionamento, data = dados)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-9.911 -7.532 -2.033  8.146 12.153

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -38.60786   12.93784   -2.984  0.0245 *
Tempo.de.funcionamento  1.05774    0.05781  18.298 1.72e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.432 on 6 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9824,    Adjusted R-squared:  0.9795
F-statistic: 334.8 on 1 and 6 DF,  p-value: 1.716e-06

```

Fonte: Autora (2022)

Analisando a regressão linear simples, o valor de p obtido no teste F foi de $1,716 \times 10^{-6}$ que é menor que 0,05, então rejeita-se a hipótese nula e diz que o modelo tem capacidade de predição.

Além disso, verificou-se ao nível de significância de 5% se o parâmetro β_1 é estatisticamente diferente de zero. O valor de p fornecido pelo teste-t do coeficiente do tempo de funcionamento foi de $p = 1,72 \times 10^{-6} < 0,05$. Então o coeficiente é estatisticamente diferente de zero com valor de 1,06. Este coeficiente indica que a cada 1 minuto de funcionamento do britador o volume produzido é $1,06 \text{ m}^3$.

O intercepto foi de $-38,61$ com valor de $p = 0,0245 < 0,05$.

No modelo 2 (Figura 51) observou-se que o valor obtido de coeficiente de determinação foi de $R^2 = 0,9824$. Já o R^2 ajustado é menor que o R^2 ajustado do modelo 1, ou seja, o modelo 2 explica menos a variação dos dados.

A equação produzida pelo modelo 2 é:

$$Y = -38,61 + 1,06 X_1, \text{ onde:}$$

Y = Volume produzido e

X_1 = Tempo de funcionamento.

O intervalo de confiança 95% para o modelo 2 é: $P[0,92 \leq \beta_1 \leq 1,20] = 95\%$, ou seja, não incluiu o zero (Figura 52).

Figura 52 – Intervalo com nível de confiança de 95% para o parâmetro tempo de funcionamento

| | 2.5 % | 97.5 % |
|------------------------|-------------|-----------|
| (Intercept) | -70.2656166 | -6.950109 |
| Tempo.de.funcionamento | 0.9162939 | 1.199189 |

Fonte: Autora (2022)

Comparando os dois modelos analisados, o modelo 1 apresentou R^2 ajustado mais elevado que o modelo 2, porém o coeficiente volume inserido presente no modelo 1 obteve valor nulo e possui o zero em seu intervalo de confiança. Isso pode ter ocorrido devido a amostra ser muito pequena.

A escolha do modelo apropriado, do ponto de vista estatístico, é um tópico extremamente importante na análise de dados. Busca-se que envolva o mínimo de parâmetros possíveis a serem estimados e que explique bem o comportamento da variável resposta (BELFIORE, FÁVERO, 2017). Dentre os critérios para seleção de modelos há alguns índices para a comparação entre eles. Foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (*Akaike's Information Criterion* - AIC) e o Critério de Informação Bayesiano (*Bayesian Information Criterion* - BIC) para analisar qual o melhor modelo (Figura 53). Quanto menor o valor, melhor. No caso, tanto no AIC quanto no BIC, o modelo 1 mostrou-se melhor.

Figura 53 - Análise AIC e BIC

```
> AIC(mod, mod2)
      df      AIC
mod    4 59.92477
mod2   3 62.30753
> BIC(mod, mod2)
      df      BIC
mod    4 60.24254
mod2   3 62.54585
```

Fonte: Autora (2022)

Sendo assim, embora o modelo 1 possua a variável independente volume inserido, que não obteve resultado significativo ao nível de significância estabelecido, optou-se por escolhê-lo, pois, os testes de AIC e BIC indicaram que ele é o mais indicado, além de possuir R^2 ajustado

maior e por entender que a variável volume inserido é determinante para definir o volume produzido. Essas inconsistências podem ter ocorrido devido a amostra ser pequena.

Então, a equação da regressão que melhor representa o modelo é:

$$Y = -32,60 + 0,83 X_1 + 0,19 X_2, \text{ onde:}$$

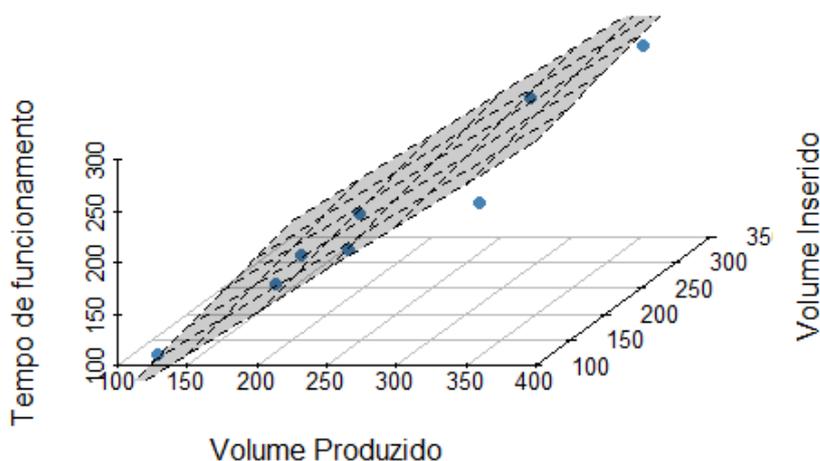
Y = Volume produzido;

X₁ = Tempo de funcionamento e

X₂ = Volume inserido.

O gráfico da regressão linear múltipla está na Figura 54:

Figura 54 - Gráfico da regressão linear múltipla



Fonte: Autora (2022)

A regressão linear múltipla mostrou que o tempo de produção e o volume inserido têm efeito sobre o volume produzido. A cada 1 minuto de produção, o volume produzido é de 0,83 m³. Já a cada metro cúbico inserido no britador, o volume produzido é 0,19 m³. Não foi possível comparar o modelo encontrado com outros pois este estudo é pioneiro na modelagem da produção de recicladoras, porém comparou-se o valor da produção informada pelo fabricante do britador, (Tabela 7, pergunta 3) com os valores encontrados. Se considerarmos 8h de britagem por dia e com o material seco, a usina britaria 500 m³ por dia, conforme o fabricante. Analisando o dia de maior produção da amostra (dia 01/06, volume produzido 299,86 m³), extrapolou-se os dados e estimou qual seria a produção, caso o britador

funcionasse 8h contínuas. Realizando este cálculo, concluiu-se que o volume produzido seria de 449,80 m³, bem próximo ao estipulado pelo fabricante, que foi de 500m³ por dia. Porém, na realidade, a empresa acaba executando outros serviços como limpeza do material, organização do pátio e acaba não trabalhando com a britagem as 8h completas.

4.4.3.5. Aplicação do modelo para estimar o volume produzido na RCG

Para verificar a capacidade de predição do modelo proposto foi realizada a operação inversa, onde foram lançados na equação os valores das variáveis independentes utilizadas para a verificação da aproximação do resultado ao valor real coletado. Os dados são apresentados na Tabela 13:

Tabela 13 - Comparativo entre os resultados obtidos pelo modelo proposto e pelo coletado *in loco*

| Data | Volume produzido previsto (m ³) | Volume produzido real (m ³) | Diferença (%) em relação ao volume previsto |
|--------|---|---|---|
| 30/mai | 171,53 | 162,69 | 5,43% |
| 31/mai | 201,63 | 200,96 | 0,33% |
| 01/jun | 300,46 | 299,86 | 0,20% |
| 02/jun | 258,28 | 268,38 | -3,76% |
| 03/jun | 190,65 | 186,30 | 2,33% |
| 06/jun | 90,36 | 100,08 | -9,71% |
| 07/jun | 145,04 | 142,44 | 1,83% |
| 10/jun | 163,08 | 160,32 | 1,72% |

Fonte: Autora (2022)

É possível observar que nenhum resultado apresentou erro percentual superior a 10%. A menor diferença foi analisada na comparação do dia 01/jun com 0,20%. Já a maior foi no dia 06/jun (no caso é o ponto 6), que na análise do quarto gráfico da Figura 44 indicou que ele influencia a estimação do modelo. Como optou-se por mantê-lo, verificamos que ele obteve a maior diferença percentual.

4.4.4. Análise estatística dos dados e desenvolvimento da interface

Observou-se que a equação de regressão linear múltipla foi modelada, porém ela informa o valor global do volume, ou seja, não o distingue por faixa granulométrica. Então,

optou-se por fazer um modelo simples através de regra de três, para ser possível prever o quanto é produzido por cada granulometria.

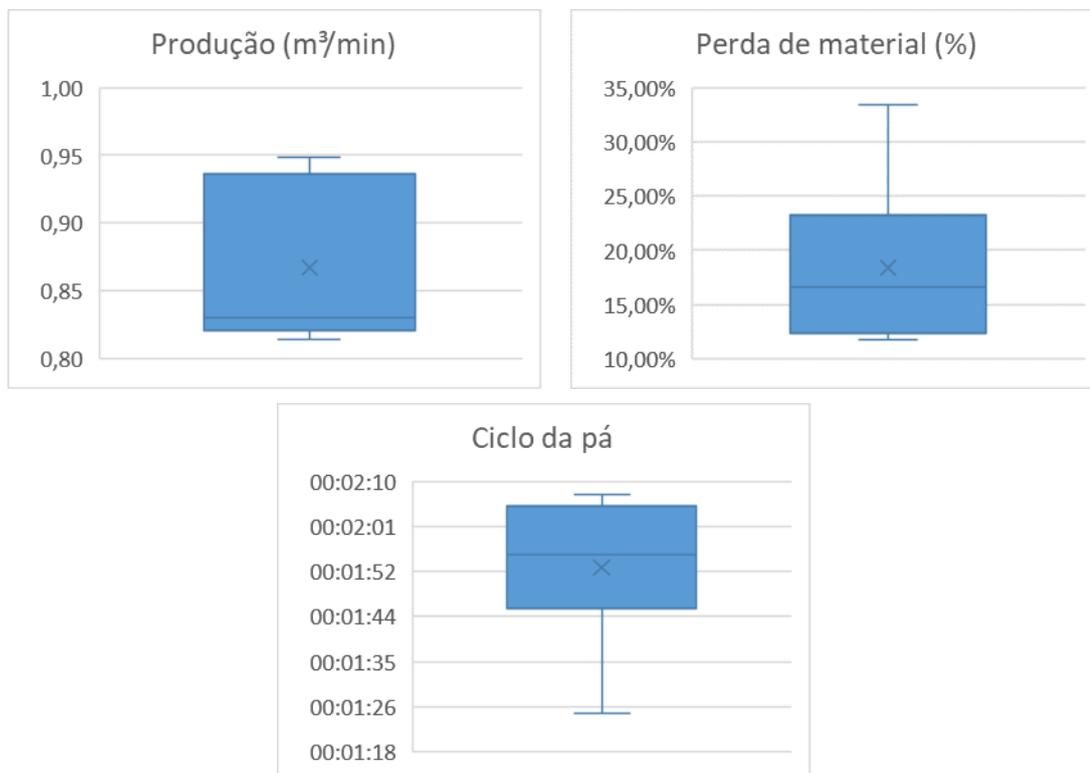
4.4.4.1. Tratamento dos dados para a confecção da interface

Considerando todos os dados apresentados no item 4.4.1, nesta fase foi realizada a análise estatística dos dados para o desenvolvimento da interface. Foi calculado a média aritmética, mediana, desvio padrão, mínimos e máximos (Tabela 14) e houve a verificação da existência de valores discrepantes (*outliers*) através dos gráficos *boxplots* dos seguintes dados: produção, perda de material, volume produzido de acordo com cada faixa granulométrica, e ciclo da pá carregadeira. Todas as análises foram feitas no *software* MS Excel 2016.

Tabela 14 - Dados utilizados na elaboração do programa

| Data | Produção (m ³ /min) | Perda de material (%) | Ciclo da pá | Brita 1 | Pedrisco | Rachão | Pó de pedra | Bica corrida |
|---------------|--------------------------------|-----------------------|-------------|---------|----------|--------|-------------|--------------|
| 30/mai | 0,82 | 24,68% | 00:01:49 | 5,81% | 11,47% | 29,36% | 22,16% | 31,20% |
| 31/mai | 0,93 | 33,46% | 00:01:25 | 6,60% | 11,50% | 30,34% | 23,46% | 28,10% |
| 01/jun | 0,94 | 18,07% | 00:01:44 | 5,95% | 8,87% | 31,54% | 20,25% | 33,39% |
| 02/jun | 0,95 | 11,72% | 00:01:52 | 4,59% | 11,70% | 34,33% | 20,08% | 29,30% |
| 03/jun | 0,84 | 12,12% | 00:02:05 | 9,17% | 11,15% | 25,26% | 18,25% | 36,17% |
| 06/jun | 0,82 | 15,19% | 00:02:04 | 6,01% | 6,73% | 38,17% | 18,24% | 30,85% |
| 07/jun | 0,81 | 19,07% | 00:01:59 | 5,73% | 9,71% | 26,29% | 16,61% | 41,66% |
| 10/jun | 0,82 | 12,87% | 00:02:07 | 6,97% | 8,78% | 34,53% | 15,44% | 34,28% |
| Mínimo | 0,81 | 11,72% | 00:01:25 | 4,59% | 6,73% | 25,26% | 15,44% | 28,10% |
| Máximo | 0,95 | 33,46% | 00:02:07 | 9,17% | 11,70% | 38,17% | 23,46% | 41,66% |
| Média | 0,87 | 18,40% | 00:01:53 | 6,35% | 9,99% | 31,23% | 19,31% | 33,12% |
| Mediana | 0,83 | 16,63% | 00:01:56 | 5,98% | 10,43% | 30,94% | 19,16% | 32,30% |
| Desvio Padrão | 0,06 | 7,48% | 00:00:14 | 1,33% | 1,78% | 4,36% | 2,71% | 4,35% |

Fonte: Autora (2022)

Figura 55 - Gráficos *Boxplots*

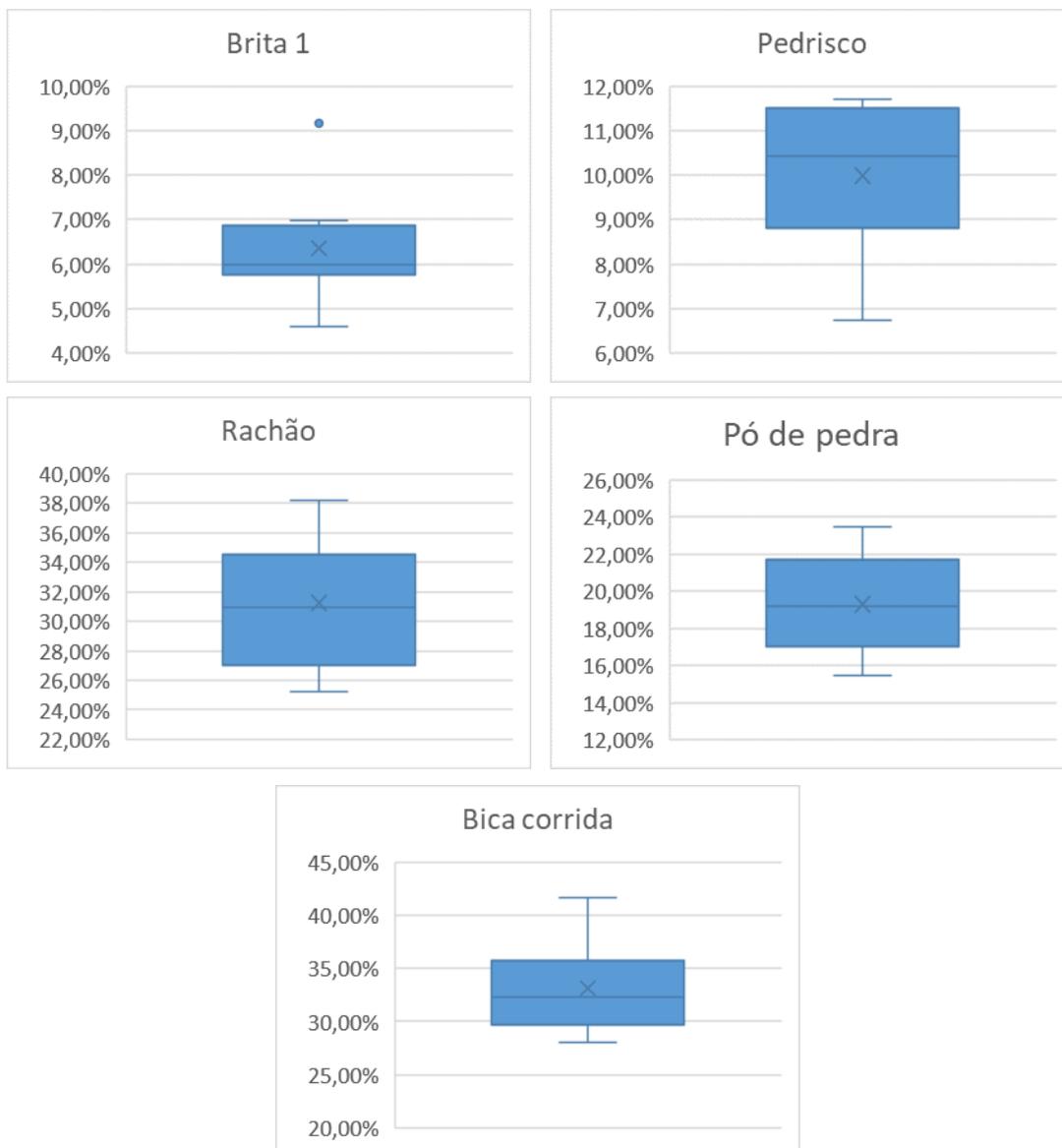
Fonte: Autora (2022)

Nota-se que não há nenhum valor discrepante, então, todos os 8 dados coletados foram utilizados para fins de cálculo. A média da produção ficou em 0,87 m³/min, ou seja, a cada minuto é produzido 0,87 m³ de agregado reciclado.

A média da perda de material ficou em 18,40%. De todo o material colocado no britador, 18,40 % se perde durante todo o processo.

Já a média do tempo despendido pela pá carregadeira para pegar o material no monte e alimentar o britador ficou em 00:01:53.

A seguir são apresentados os dados referentes ao volume produzido por cada faixa granulométrica.

Figura 56 - Gráficos *Boxplots* referentes a cada faixa granulométrica

Fonte: Autora (2022)

Nota-se que apenas na brita 1 houve um valor discrepante (9,17%). A média da produção de brita 1 ficou 6,35% em relação ao volume total produzido. Retirando-se o *outlier*, a nova média é 5,95%. Por apenas este material ter apresentado um *outlier* e pela amostra ser pequena, optou-se por manter o valor na análise, então considerou a média de 6,35%.

Com relação as outras granulometrias não há nenhum valor discrepante.

Para encontrar a média de produção referente a cada granulometria em relação ao volume total produzido já considerando a perda de material de 18,40%, fez-se:

$$\begin{aligned} & \text{Média em \% (Tabela 14)} \times (1 - 18,40\%) \\ & = \text{Fator de multiplicação utilizado no programa} \end{aligned}$$

Os valores calculados para cada granulometria são:

Brita 1: $6,35\% \times (1 - 18,40\%) = 5,18\%$.

Pedrisco: $9,99\% \times (1 - 18,40\%) = 8,15\%$.

Rachão: $31,23\% \times (1 - 18,40\%) = 25,48\%$.

Pó de pedra: $19,31\% \times (1 - 18,40\%) = 15,76\%$.

Bica corrida: $33,12\% \times (1 - 18,40\%) = 27,03\%$.

4.4.4.2. Desenvolvimento da interface

A interface foi desenvolvida no *software* MS Excel 2016. Foram utilizados os dados calculados no item 4.4.3 e regra de três. A interface está apresentada na Figura 57.

Figura 57 – Layout da Interface



Produção do agregado reciclado

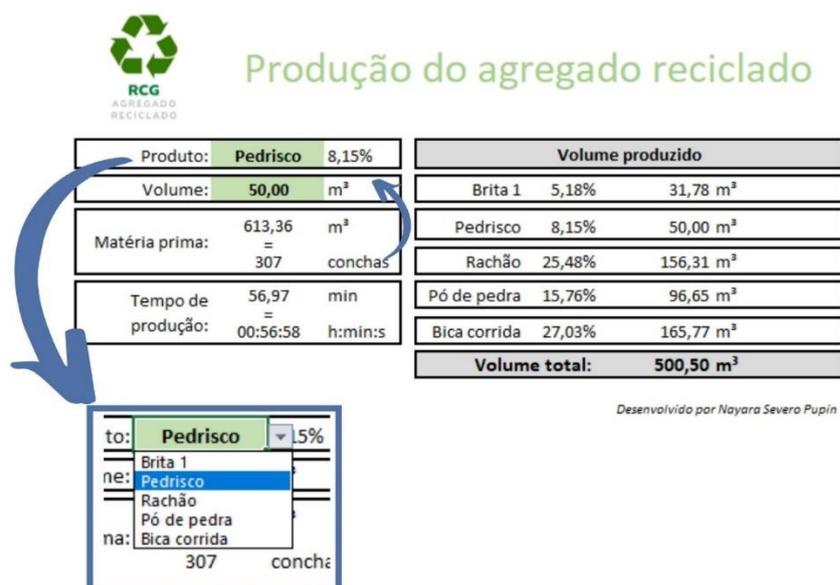
| | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Produto: | Pedrisco | 8,15% |
| Volume: | 50,00 | m ³ |
| Matéria prima: | 613,36 = 307 | m ³ conchas |
| Tempo de produção: | 56,97 = 00:56:58 | min h:min:s |
| Volume produzido | | |
| Brita 1 | 5,18% | 31,78 m ³ |
| Pedrisco | 8,15% | 50,00 m ³ |
| Rachão | 25,48% | 156,31 m ³ |
| Pó de pedra | 15,76% | 96,65 m ³ |
| Bica corrida | 27,03% | 165,77 m ³ |
| Volume total: | | 500,50 m³ |

Desenvolvido por Nayara Severo Pupin

Fonte: Autora (2022)

Para operacionalizar a interface é muito simples. Basta o operador escolher qual material irá ser fabricado e qual o volume desejado (Figura 58).

Figura 58 - Operacionalização da interface



Fonte: Autora (2022)

Automaticamente a interface faz os cálculos. As fórmulas utilizadas encontram-se na Figura 59.

Figura 59 - Fórmulas utilizadas na interface

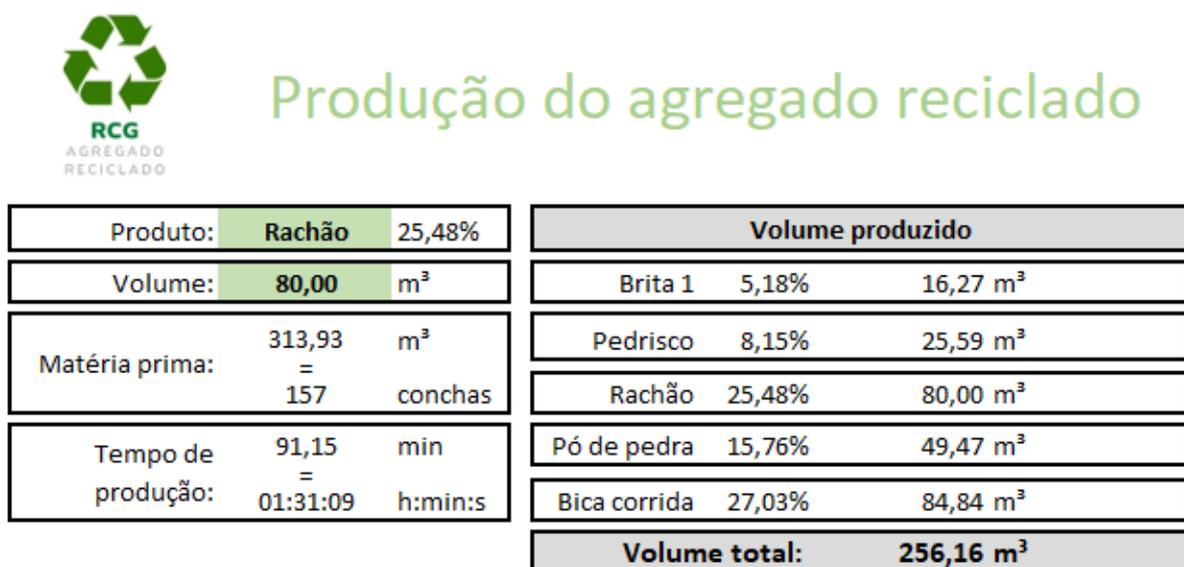
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|---|---|----------|----------------|---|---|---|---|---|
| 1 | | Produção do agregado reciclado | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | Produto: | Brita 1 | 5,18% | 1 | | | | |
| 5 | | Volume: | 60,00 | m ³ | | | | | |
| 6 | | Matéria prima: | 1.158,30 | m ³ | 2 | | | | |
| 7 | | | 579 | conchas | 3 | | | | |
| 8 | | Tempo de | 68,36 | min | 4 | | | | |
| 9 | | produção: | 01:08:22 | h:min:s | 5 | | | | |
| 10 | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | |
| 12 | | 1) =PROCV(C4:F5;G3;2;0) - Para procurar o valor % correspondente ao material que será produzido | | | | | | | |
| 13 | | 2) =C5/D4 - Volume que será produzido dividido pelo valor % correspondente | | | | | | | |
| 14 | | 3) =ARRED(C6/2;0) - Nº de conchas que será inserida no britador. Utilizou-se a fórmula para arredondar o valor. | | | | | | | |
| 15 | | 4) =C5/0,877672 - Volume dividido pela produção em m ³ /min (calculada no item 4.4.3.3) | | | | | | | |
| 16 | | 5) =(C8/24)/60 - Transformação de minutos em horas, minutos e segundos | | | | | | | |
| 17 | | 6) =C6*G5 - Volume da matéria-prima inserida no britador multiplicado pelo valor % correspondente a brita 1 | | | | | | | |
| 18 | | 7) =C6*G6 - Volume da matéria-prima inserida no britador multiplicado pelo valor % correspondente ao pedrisco | | | | | | | |
| 19 | | 8) =C6*G7 - Volume da matéria-prima inserida no britador multiplicado pelo valor % correspondente a rachão | | | | | | | |
| 20 | | 9) =C6*G8 - Volume da matéria-prima inserida no britador multiplicado pelo valor % correspondente a pó de pedra | | | | | | | |
| 21 | | 10) =C6*G9 - Volume da matéria-prima inserida no britador multiplicado pelo valor % correspondente a bica corrida | | | | | | | |
| 22 | | 11) =SOMA(H5:H9) - Somatório dos volumes produzidos | | | | | | | |

Fonte: Autora (2022)

A interface desenvolvida fornece a quantidade de material que deve ser inserida no britador a partir do volume desejado e do tipo de material selecionado. Ela também estima qual é o tempo de produção e apresenta a produção de acordo com cada faixa granulométrica, trazendo o somatório do volume total produzido. Nota-se que o volume introduzido no britador e o volume fabricado são diferentes por conta da perda de 18,40%.

Como exemplo, foi solicitado à recicladora a produção de 80 m³ de rachão. Inserindo os dados na interface, seria necessário inserir 157 conchas de matéria-prima no britador e ele levaria 01:31:09. Sabendo disso, a recicladora poderia produzir tudo em um único dia ou programar a produção para vários dias, quando for o caso. A produção de 80 m³ de rachão produziria 16,27 m³ de brita 1, 25,59 m³ de pedrisco, 49,47m³ de pó de pedra e 84,84 m³ de bica corrida, totalizando 256,16 m³ de agregado reciclado (Figura 60).

Figura 60 - Exemplo de modelagem



Desenvolvido por Nayara Severo Pupin

Fonte: Autora (2022)

A interface desenvolvida aplica-se apenas para a recicladora RCG pois foi realizada com os dados coletados *in loco* e é condizente com a capacidade e potência do britador utilizado pela recicladora, porém é possível utilizar a mesma metodologia para execução em outras recicladoras.

Algumas alternativas para melhorar a produtividade de todo o processo seriam:

- Inserir um ímã na primeira peneira vibratória para retirar os objetos metálicos que atrapalham e travam o britador, reduzindo as paralisações da produção;
- Inserir o material limpo no britador, evitando impurezas e grandes quantidades de solo/terra, assim a produção seria mais rápida. O material com grandes quantidades de solo/terra, produz-se mais bica corrida (material menos comercializado). Ele estando limpo, seria possível produzir mais rachão, pedrisco e brita 1;
- Realizar a cobertura da área de britagem para evitar a paralisação dos serviços nos períodos chuvosos e cobrir o material com lona para evitar que o mesmo fique úmido e atrapalhe o processo.

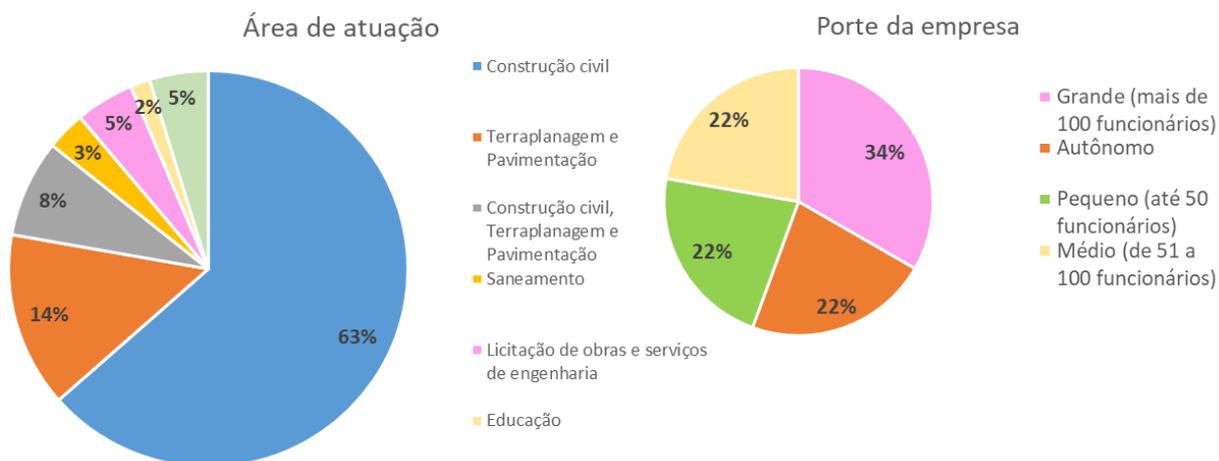
Utilizando as mesmas premissas da interface desenvolvida e considerando que a RCG atingiu sua capacidade limite de armazenamento de resíduos (85 mil m³ de material, conforme licença ambiental), para britar todo o material disposto no pátio, supondo que a empresa irá britar 6h por dia, seriam necessários 269 dias para beneficiar todo o resíduo armazenado, sem considerar os dias chuvosos.

A interface desenvolvida já foi enviada para a RCG e está em fase de validação pela recicladora.

4.5. Questionário aplicado aos agentes envolvidos (construtores/empreiteiros)

O questionário foi respondido por 64 pessoas (43,84% dos entrevistados). O perfil dos respondentes mostrou que 63% deles atuam na área da construção civil, sendo que 34% trabalham em uma empresa de grande porte (mais de 100 funcionários), conforme Figura 61. Como a metodologia aplicada foi a bola de neve, também tiveram participantes das áreas de saneamento, licitação de obras e serviços de engenharia, educação e servidores públicos. Entretanto, todos eram relacionados à temática da pesquisa - pessoas vinculadas à obras e/ou reformas. Fato é que quando alguém não se enquadrava no perfil, era orientado que não desse continuidade ao preenchimento do questionário.

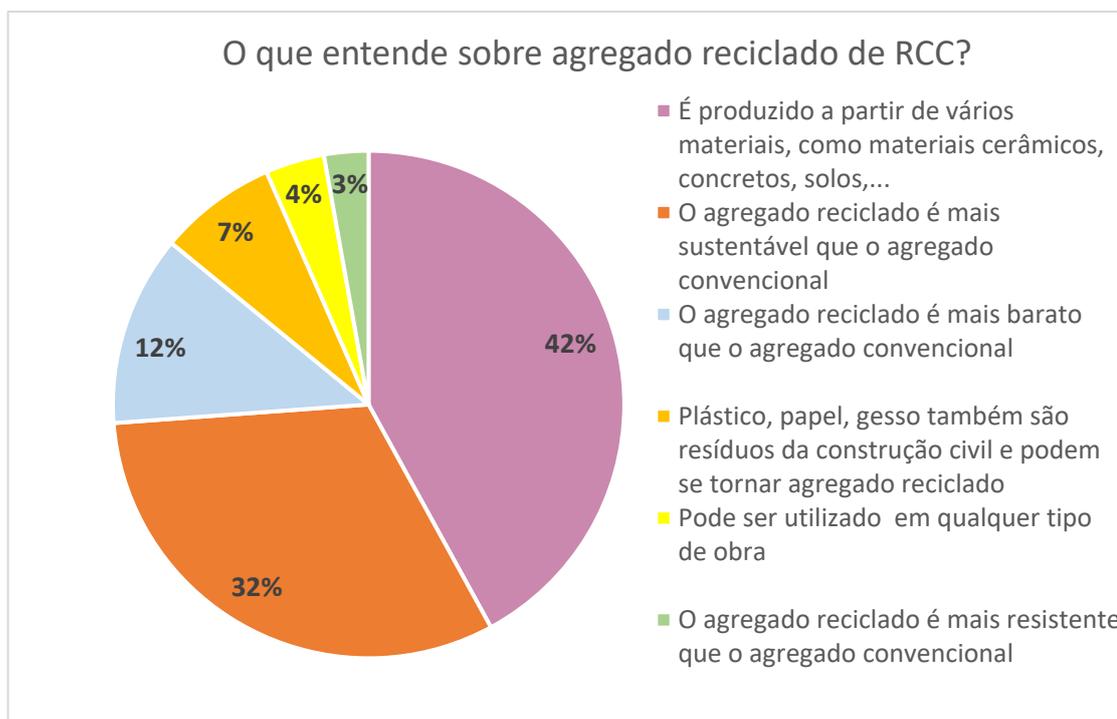
Figura 61 - Área de atuação e porte da empresa dos entrevistados



Fonte: Autora (2022)

Dando continuidade à análise das respostas do questionário, 49 pessoas (76,6%) responderam que já ouviram falar em agregado reciclado de RCC e 15 pessoas (23,4%) nunca escutaram sobre. Entre as pessoas que já ouviram sobre o assunto, foi perguntado o que elas entendem sobre. As respostas encontram-se na Figura 62. Havia opção de marcar mais de uma resposta e incluir outras.

Figura 62 - O que entende sobre agregado reciclado de RCC?



Fonte: Autora (2022)

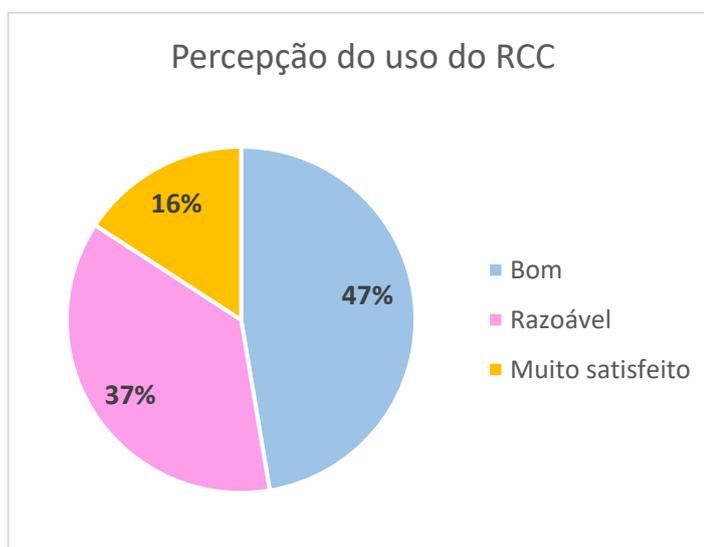
Pelas respostas, nota-se que a maioria dos entrevistados já ouviu falar sobre agregado reciclado de RCC, porém não tem o conceito dele bem definido, pois consideraram que plástico, papel, gesso, entre outros, poderiam ser utilizados na fabricação de agregado reciclado, o que não é verdade. Quatro pessoas informaram que o agregado reciclado pode ser utilizado em qualquer tipo de obra, o que também não é verdade, pois em casos estruturais, há de se considerar o que a NBR 15116/2021 recomenda:

Quando o agregado reciclado for utilizado em compósitos ou produtos com função estrutural, como concretos de cimento Portland, artefatos pré-fabricados e argamassas com função estrutural, é indicado unicamente utilizar a subclasse ARCO. A substituição de agregado natural por agregado reciclado, nesses casos, deve ser limitada a 20 % da massa de agregados totais e a concretos das classes de agressividade I e II da ABNT NBR 6118:2014.

Com relação a sustentabilidade, também deve-se ter cautela em dizer que o agregado reciclado de RCC é mais sustentável que o agregado convencional, pois é necessário analisar todo o ciclo de vida do processo.

Quando questionado se o participante conhecia alguém/alguma empresa que já utilizou ou utiliza o RCC, 45 pessoas (70,3%) responderam que não conhecem e apenas 19 pessoas (29,7%) responderam que conhecem. Esta informação corrobora com a pesquisa de Maia (2020) que relatou que a procura aos produtos reciclados em Campo Grande é pouca a moderada. Dos entrevistados que afirmaram que conhecem, a percepção com relação ao uso foi demonstrada a seguir (Figura 63):

Figura 63 - Percepção do uso do RCC

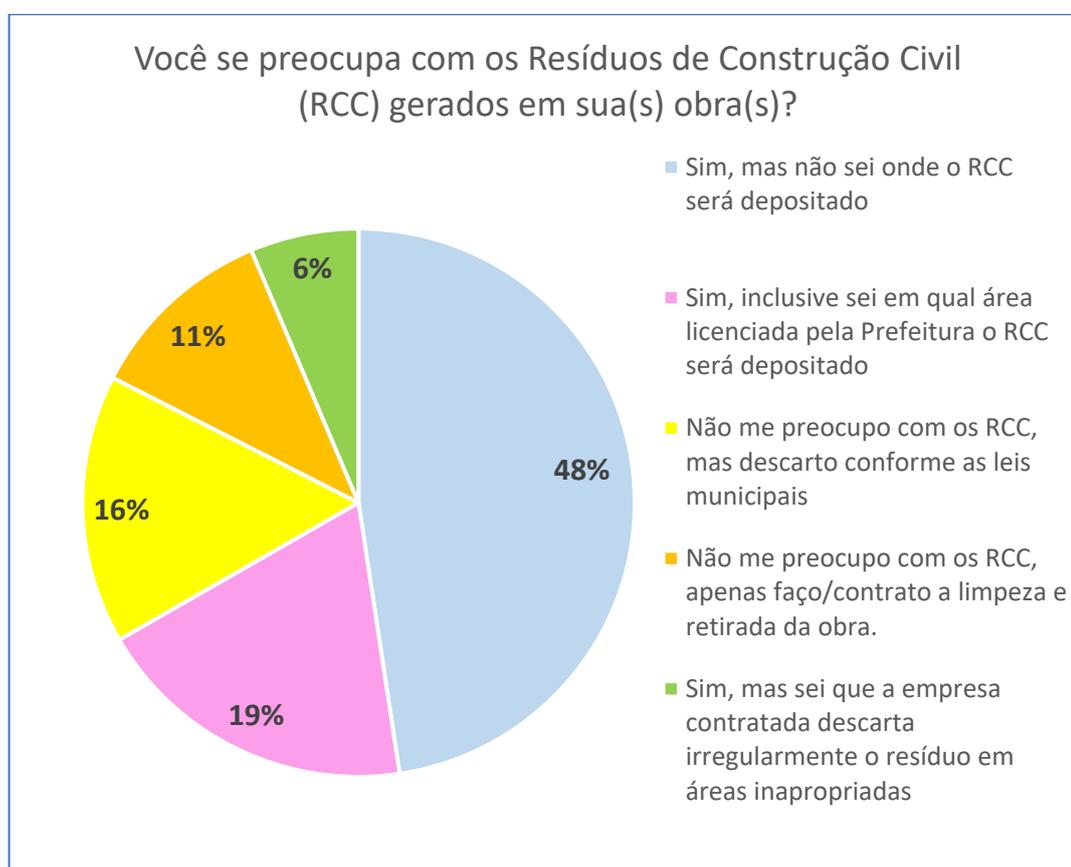


Fonte: Autora (2022)

Pode-se concluir que a minoria dos entrevistados conhece empresas que já utilizaram/utilizam o agregado reciclado, mesmo a maioria dos usuários considerarem como boa a utilização. Nota-se que há ausência de incentivos e propagandas para melhorar a imagem do reciclado no mercado e falta de interesse dos próprios consumidores (MAIA, 2020).

Com relação a pergunta: “Você se preocupa com os Resíduos de Construção Civil (RCC) gerados em sua(s) obra(s)?”, as respostas estão representadas na Figura 64.

Figura 64 - Você se preocupa com o RCC gerado em sua obra?



Fonte: Autora (2022)

No geral, os entrevistados se preocupam com o RCC gerado em suas obras, porém a maioria não sabe onde o material será depositado, o que é algo preocupante, pois ele pode ser depositado irregularmente.

Com relação ao questionamento se o entrevistado sabia que em Campo Grande tem usinas recicladoras de RCC que transformam o resíduo em agregado reciclado, 44 pessoas (68,8%) não sabiam desta informação; apenas 20 pessoas (31,3%) sabiam. Esta informação é

importantíssima e mostra a realidade local, ou seja, de que a classe que trabalha com construção civil e/ou reformas (possíveis *stakeholders*) não sabem que na cidade tem usinas que fazem o beneficiamento do RCC e conseqüentemente não utilizam o produto.

Com relação a utilização do agregado reciclado nas obras dos entrevistados, apenas 2 pessoas (3,1%) já utilizam/utilizaram. 3 pessoas (4,7%) não utilizariam e 59 pessoas (92,2%) não utilizam, porém tem interesse.

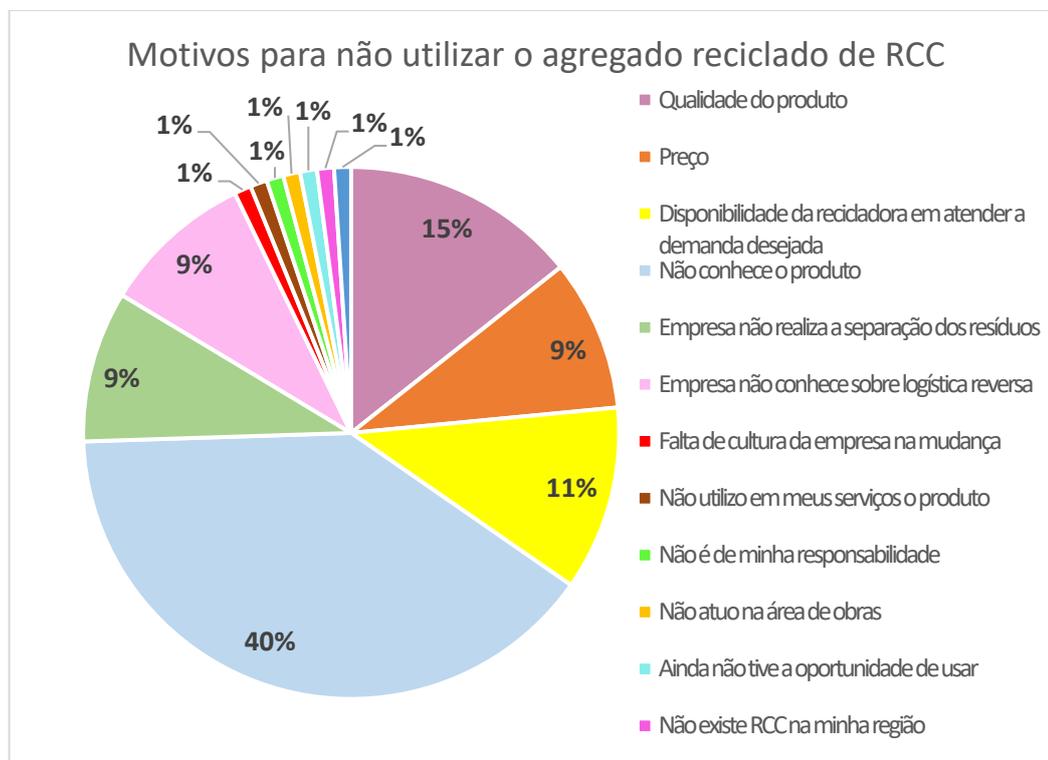
As duas pessoas que já utilizam/utilizaram o agregado reciclado, foram direcionadas para a seguinte pergunta: "Quais são os motivos para você utilizar o agregado reciclado de RCC?". Nesta pergunta era permitido assinalar quantos itens fosse necessário. As respostas marcadas foram que as empresas se sentem responsáveis pelos resíduos que geram, alegam ter consciência ambiental e utilizam o agregado reciclado por ter o preço mais vantajoso. Também foi assinalada que as empresas possuem preocupação com os impactos que este tipo de resíduo gera ambiental, social e economicamente. Isso pode estar ligado a processos de qualidade implementados nas empresas ou imposição de diretrizes municipais.

Para as 59 pessoas que não utilizam, porém tem interesse, foi perguntado quais os motivos para a não utilização dos agregados reciclados de RCC. Neste caso, também foi facultado ao entrevistado assinalar quantos itens achasse necessário. Nota-se que 40% não conhecem o produto, seguido por 15% que não conhecem a qualidade do mesmo. Já 11% alegam a disponibilidade da recicladora em atender a demanda (Figura 65).

Essa pergunta responde o porquê da maioria dos entrevistados não utilizarem o produto. Foi constatado que a maioria não conhece o material, e conseqüentemente não o utiliza. Essa informação corrobora com as pesquisas de Maia (2020), Oyedele et al. (2014) e Barboza et al. (2019).

Quando perguntado se o agregado de RCC fosse mais barato que o agregado convencional, 63 pessoas responderam que utilizariam o produto. Apenas uma pessoa alegou que não utilizaria.

Figura 65 - Motivos para não utilizar o agregado reciclado de RCC



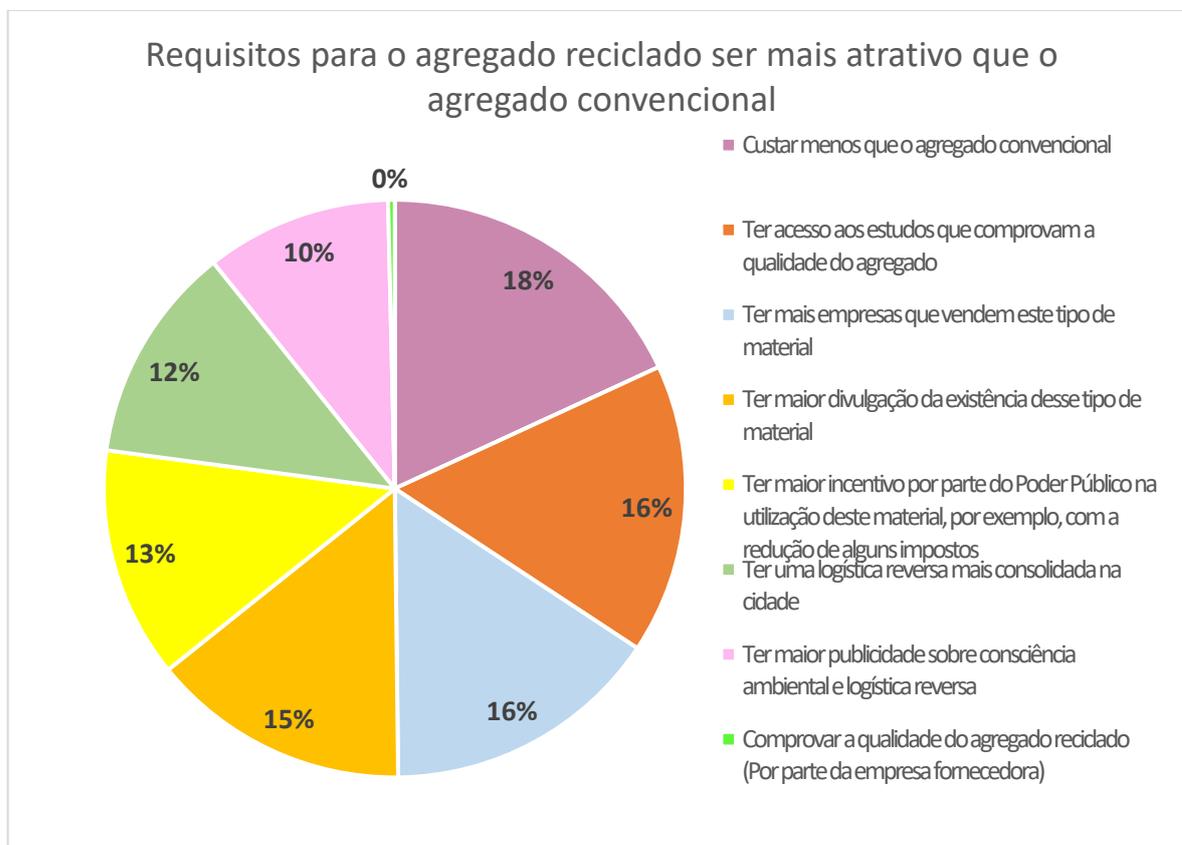
Fonte: Autora (2022)

E para finalizar, foi perguntado o que deveria ter o agregado reciclado para ser mais atrativo que o agregado convencional. Foi facultado a opção de poder marcar mais de um item. Na Figura 66 é possível observar que a questão financeira é o item mais impactante (77,8%), seguido de ter acesso aos estudos que comprovem a qualidade dos agregados (69,8%) e ter mais empresas que vendam este tipo de material (66,7%).

Com a aplicação do questionário foi possível observar que a grande maioria dos envolvidos com obras e/ou reformas não sabe que em Campo Grande há usinas que reciclam o material e conseqüentemente não utilizam o produto. A maior parte dos entrevistados relatou ter conhecimento sobre a existência de agregado reciclado de RCC, porém ficou evidenciado que eles não sabem tecnicamente sobre o produto.

Foi constatado que um dos fatores para utilização dos agregados reciclados seria a questão econômica, ou seja, ele custar menos que o agregado convencional. Isso é um fato já que realizando uma consulta local, constatou-se que os agregados reciclados custam em média 58,54% menos que o agregado convencional, ou seja, um dos requisitos fundamentais para a população utilizá-lo.

Figura 66 - Requisitos para o agregado reciclado ser mais atrativo que o convencional



Fonte: Autora (2022)

Outra questão abordada foi a qualidade do produto. Esta já é comprovada, porém cabe as recicladoras controlarem sua produção e realizarem ensaios constantemente nos lotes produzidos. Como relatado na revisão bibliográfica, todos os impedimentos identificados para utilização dos produtos são devido às informações insuficientes sobre disponibilidade, durabilidade, qualidade e eficácia dos produtos para projetos de construção (Oyedele et al., 2014).

Nota-se também que a maioria dos entrevistados não monitora o resíduo que foi gerado em suas obras. Isso reflete no recebimento das caçambas nas recicladoras, como foi verificado na RCG, onde a maioria dos resíduos recebidos era sujo. Poderia haver maior conscientização no canteiro de obras para uma correta segregação e conseqüentemente colaboração na britagem dos agregados reciclados. Parcerias poderiam ser firmadas caso ocorresse um correto descarte, onde o “descartador” teria um preço diferenciado na aquisição do agregado reciclado.

Considerando as respostas obtidas no questionário dos *stakeholders* e o aplicado nas recicladoras, é possível notar que estas estão cientes de que a sociedade pouco conhece do produto, porém alegam que quem já utilizou o recomenda. Assim, as recicladoras poderiam realizar campanhas para divulgá-lo e fomentar a logística reversa dos RCC. No caso, as empresas poderiam promover palestras no CREA (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia) para conscientização da classe, fazer panfletos de divulgação do produto com sua aplicabilidade e seus benefícios, criar conteúdo com vídeos curtos e espalhar por mídias digitais (*whatsapp*, *facebook* e *instagram*) para poder alcançar o maior número de interessados.

5. CONCLUSÃO

A partir da coleta de dados *in loco* na RCG produziu-se uma pequena amostra com 8 dias de produção. Analisou-se estatisticamente os dados e foi possível modelar o volume de agregado reciclado produzido através do tempo de funcionamento e do volume inserido no britador. Considerando um intervalo de confiança de 95%, o modelo de estimativa adotado obteve coeficiente de determinação (R^2) de 0,9898 e seu coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) atingiu 0,9857, demonstrando que o modelo adotado é capaz de prever aproximadamente 98,57% do volume produzido na RCG. Através da padronização dos coeficientes das variáveis independentes, observou-se que o tempo de funcionamento teve maior influência no modelo criado do que o volume inserido.

Os resultados de volumes produzidos estimados através do modelo proposto pelo trabalho, se comparado aos valores coletados *in loco*, indicam que as variáveis utilizadas estão próximas a realidade. Por mais que tenham sido encontradas diferenças nos valores, acredita-se que o modelo possa ser útil para estimar o volume global.

Com os dados coletados também foi possível desenvolver uma interface para previsibilidade da produção dos agregados reciclados em tempo e volume conforme sua distribuição granulométrica. A interface criada é de simples compreensão e operação. De forma rápida ele fornece as informações para as recicladoras, a partir da inserção de apenas dois dados: tipo de material e volume desejado. O material mais produzido na recicladora é a bica corrida e o menos produzido é a brita 1. Já o mais comercializado é o rachão e o menos comercializado é a bica corrida. Também foi constatado que aproximadamente 18,40% de material que é inserido no britador se perde no processo. A interface está em fase de testes na RCG.

Verificou-se que o fator climático, a limpeza do material inserido no britador e a disponibilidade de mão-de-obra são as variáveis que influenciam o processo de produção do agregado reciclado de RCC. Medidas foram sugeridas para melhorar o processo como um todo, tais como o cobrimento do material que será britado com lona plástica e inserção de uma peneira antes do alimentador do britador, para limitar o volume de resíduo que irá entrar no equipamento.

Já a pesquisa aplicada aos agentes envolvidos (construtores/empreiteiros) trouxe resultado surpreendente, evidenciando que a maioria dos possíveis *stakeholders* não sabia da existência de usinas de reciclagem que produzem o agregado e conseqüentemente não utilizam o produto, ocorrendo o acúmulo de agregado reciclado nas empresas. Atualmente, o Poder Público é o maior usuário do material reciclado na RCG, porém ela teria capacidade para atender o setor privado, através da previsibilidade da produção.

Como critério relevante para a melhora do sistema de logística reversa dos resíduos da construção civil, é necessário que os *stakeholders* tenham conhecimento da disponibilidade do material na cidade e tenham garantia de que serão atendidos com qualidade nas quantidades e prazos pré-estabelecidos. A interface desenvolvida pode auxiliar nos dois últimos quesitos mencionados.

Fica evidente que há um desconhecimento da sociedade em geral sobre a existência do comércio de agregado reciclado. É necessária ampla divulgação do material atrelado a pesquisas que comprovem sua qualidade. A instituição de um mercado em que haja acesso aos produtos reciclados e suas informações é vital para movimentar a economia dos resíduos da construção.

5.1. Sugestão para trabalhos futuros

Este trabalho foi elaborado no intuito de investigar e propor um modelo para estimar a geração do agregado reciclado, analisando a realidade da recicladora local e considerando as interferências no processo. A metodologia proposta, assim como os resultados obtidos, demonstram que é possível aprimorar a forma de coletar os dados de forma a contemplar da melhor forma possível a realidade e o contexto local.

Sugere-se adaptar a metodologia proposta para outras recicladoras e ampliar o tamanho da amostra, o que vai garantir estimativas mais condizentes com a realidade. Aconselha-se que os dados sejam coletados em vários meses do ano, para ser possível realizar uma análise de todo o processo e verificar quanto que os fatores climáticos influenciam no ciclo. Também seria possível buscar outras variáveis independentes quantitativas e qualitativas como a massa, organização do pátio da empresa, limpeza do resíduo que será britado, entre outros.

Também se sugere que seja acompanhado o teste da interface na RCG, assim seria possível medir o percentual de acerto na previsibilidade da produção e seria interessante a análise da qualidade do material gerado.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, p. 54, 2021. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso em: 22 de mar 2022.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, p. 51, 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 10 de jun 2021.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 20 jun 2020.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 20 jun 2020.

AJAYI, S.O., Oyedele, L.O., Akinade, O.O., Bilal, M., Owolabi, H.A., Alaka, H.A., Kadiri, K.O., 2016. **Reducing waste to landfill: a need for cultural change in the UK construction industry**. J. Build Eng. 5, 185–193.

ANGULO S.C., MIRANDA, L.F.R., JOHN, V.M. (2002). **Construction and demolition waste, its variability and recycling in Brazil**. *Proceedings of sustainable building*, Oslo;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BARBOZA, D. V.; DA SILVA, F. A.; MOTTA, W. H.; MEIRIÑO, M. J.; FARIA, A. do V. **Application of Circular Economy in Civil. Research, Society and Development**, [S. l.], v. 8, n. 7, p. e9871102, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i7.1102. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1102>. Acesso em: 10 jul. 2021.

BARRETO, A. C.; AMORIM, E. F. **Avaliação Do Desempenho Técnico De Diferentes Misturas De Solo Com Resíduos De Construção (RCD) Para Uso Em Obras Viárias**. *Holos*, v. 7, p. 1–20, 2020.

BEIRIZ, Fernando A.S. **Um modelo de aplicação da logística reversa na sustentabilidade da indústria da construção**. 2010. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010. Disponível em: <<http://www.poscivil.uff.br/conteudo/um-modelo-de-aplicacao-da-logistica-reversa-na-sustentabilidade-da-industria-da-construcao>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

BELFIORE, P., FÁVERO, L. P. **Manual de Análise de Dados: Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®**, Brasil: Elsevier Editora Ltda, 2017.

BELO HORIZONTE (2012). **Lei Nº 10.522, de 24 de agosto de 2012**. Belo Horizonte: Diário Oficial do Município – DOM. <<http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=108643>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

BELO HORIZONTE (2018). **Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal. <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/slu/2018/documentos/versao_final_pmgirs-h_mma.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2021.

BERNARDES, A., THOMÉ, A., PRIETTO, P. D. M., & Abreu, A. G. (2008). **Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS**. *Ambiente Construído*, 8(3), 65-76.

BESSA, S. A. L., MELLO, T. A. G., & LOURENÇO, K. K. (2019). **Análise quantitativa e qualitativa dos resíduos de construção e demolição gerados em Belo Horizonte**. *urbe*. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11, e20180099. <<https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180099>>

BIERNARCKI, P.; WALDORF, D. **Snowball sampling-problems and techniques of chain referral sampling**. *Sociological Methods and Research* v. 10, n. 2, p. 141-163, 1981.

BOSSINK, B.A.G., BROUWERS, H.J.H., 1996. **Construction waste: quantification and source evaluation**. *J. Constr. Eng. Manag.* 122 (1), 55–60. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1996\)122:1\(55\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1996)122:1(55)).

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e outras providências, 2010.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm > Acesso: 28 abr. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de Julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil.** Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Brasília, Diário Oficial da União, seção I, p. 95 a 96, 2002.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 178–189, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0366-69132015000200178&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 14 jun. 2021.

CAETANO, M. O.; FAGUNDES, A. B.; GOMES, L. P. **Modelo de regressão linear para estimativa de geração de RCD em obras de alvenaria estrutural.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 309-324, abr./jun. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

CAMPO GRANDE. **Coletas Online**, c2022. Página inicial. Disponível em: <<https://campogrande.coletas.online/Default.aspx>>. Acesso em: 23 de maio 2022.

CAMPO GRANDE. **Decreto n. 13.192, de 21 de junho de 2017.** Regulamenta a lei n. 4.864, de 7 de julho de 2010 que versa sobre o sistema de gestão sustentável de resíduos da construção civil e resíduos volumosos e o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil, no âmbito do município de Campo Grande – MS. Diário Oficial de Campo Grande – MS, 21 de junho de 2017, p. 01-06.

CAMPO GRANDE. **Lei n. 4.864, de 7 de julho de 2010.** Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil e institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de acordo com o previsto na resolução CONAMA n. 307/2002, no âmbito do município de Campo Grande – MS e dá outras providências. Diário Oficial de Campo Grande – MS, 9 de julho de 2010, p. 01-08.

CARDOSO, R.; SILVA, R. V.; BRITO, J. de; DHIR, R. (2016). **Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review**. Waste Management, v.49, p. 131-145.

CARNEIRO, A. P. et al. **Caracterização do Entulho e do Agregado Reciclado**. In: CASSA, J. C. S. (Org.). Reciclagem de Entulho Para a Produção de Materiais de Construção: Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA, 2001.

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

CONCEITO.DE. **Conceito de interface**. Equipe editorial de Conceito.de. 2013. Página inicial. Disponível em: < <https://conceito.de/interface> >. Acesso em: 03 de agosto de 2022.

CURITIBA. **Decreto nº 1068, de 18 de novembro de 2004**. Institui o Regulamento do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Curitiba e altera disposições do Decreto nº 1.120/97. Prefeitura Municipal de Curitiba. Curitiba, PR, 18 nov. 2004. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/materias/xml/do/secao1/2278233.xml>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (CSCMP). **Definitions and Glossary**. 2013. <https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx>

DEVORE, Jay L. **Probabilidade e estatística : para engenharia e ciências** / Jay L. Devore ; [tradução Joaquim Pinheiro Nunes da Silva]. — São Paulo: Cengage Learning, 2006.

DIAS, M. F. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais**. São Leopoldo, 2013. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2013.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science research: Metodo de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ESGUÍCERO, F. J.; **Framework aplicado a modelagem de processos no gerenciamento municipal dos resíduos da construção civil**. Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Bauru, 2020. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção.

GAUTAM, P. K.; KALLA, P.; JETHOO, A. S.; AGRAWAL, R.; SINGH, H. **Sustainable use of waste in flexible pavement: A review**. Construction and Building Materials, v. 180, p. 239-253, 2018.

GUALBERTO, A. B.; AZEVEDO, I. C. D'ALMEIDA D. DE; PEREIRA, R. M. R. **Avaliação do uso de resíduos da construção civil reciclados como agregados do concreto em um pátio de compostagem** [Evaluation of the use of recycled civil construction waste as concrete's aggregates in a composting yard]. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 15, n. 1, 2018.

GUIMARÃES, D.; FIORE, F. **Indicadores de efetividade da gestão dos resíduos da construção civil. Estudo de caso: município de São José dos Campos/SP**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 25, n. 5, p. 753–766, 2020

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021. **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/campo-grande.html>>. Acesso em 22 maio 2022.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil. Relatório de Pesquisa**. p. 46, 2012.

JOÃO PESSOA. **Lei nº 11.176, de 10 de outubro de 2007**. Resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao/lei-no-11-176-de-10-de-outubro-de-2007-sistema-degestao-sustentavel-de-residuos/>>. Acesso em: 17 ago 2021.

LEITE, Paulo R. **Logística Reversa – Meio Ambiente e Competitividade**. 2ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LEITE, F. C.; MOTTA, R. S.; VASCONCELOS, K. L; BERNUCCI, L. (2011). **Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements**. Construction And Building Materials, Brasil, v. 25, n. 6, p. 2972-2979.

LIMA, R. M. S. R. **Sistema de avaliação da gestão integrada de resíduos da construção civil na esfera municipal**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

LU W., PENG Y., CHEN X., SKITMORE M., ZHANG X. **The S-curve for forecasting waste generation in construction projects.** Waste Manag., 56 (2016), pp. 23-34. <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.039>>.

LUCHEZZI, C.; TERENCE, M. C. **Logística Reversa Na Construção Civil.** Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, v. 13, p. 144–160, 2015.

MAIA, J. H. de O. **Contribuição para melhorias na gestão dos resíduos da construção civil em Campo Grande – MS.** Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2020. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil.

MAK, Tiffany M.W., CHEN, Pi-Cheng, WANG, Lei, TSANG, Daniel C.W., HSU, S.C., POON, Chi Sun, 2019. **A system dynamics approach to determine construction waste disposal charge in Hong Kong.** J. Clean. Prod. 241, 118309. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118309>>

MATO GROSSO DO SUL. CEMTEC (Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de MS). **Banco de dados** c2021. Página inicial. Disponível em: <<https://www.cemtec.ms.gov.br/bancodedados/>>. Acesso em: 03 de julho 2022.

MAUÉS, L. M. F. et al. Estimating construction waste generation in residential buildings: A fuzzy set theory approach in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 265, 2020.

MEDEIROS, G. E. B. de A.; **Resíduos da Construção e Demolição: Caso da Cidade de João Pessoa.** Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil.

MIRANDA, N. M. A. L.; LIMA, V. F. O.; ROCHA, J. M. F. R. C.; CARMONA, R. L. M. S.; LACERDA, C. S.; LIMA, E. M. A.; LIMA, P. T.; SOUSA, H. M.; NASCIMENTO, J. C.; MIRANDA E SILVA, J. C. **Importância da implantação do plano de gerenciamento de resíduos da construção civil e de demolição no Município de João Pessoa (Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil).** Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent. [online]. 2019, vol. 6, n. 13, p. 567-576. ISSN 2359-1412. DOI: 10.21438/rbgas.061324

MIRANDA, Leonardo F.R.; NEVES, Fernando H.; OLIVEIRA, Luciana B.; UHMANN, Isaura M. S.. **Conexões eficazes na gestão de resíduos de construção e demolição: diretrizes para Curitiba.** In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ASSOCIAÇÃO

NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014, Maceió. Anais eletrônicos. Maceió, 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_296.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2021.

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

MORAES, F. T. F. **Elaboração de um índice para avaliação da Logística Reversa e Gestão de Resíduos de Construção Civil em Municípios de pequeno e médio porte**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG. 2018.

OLIVEIRA, F. de A.; MAUÉS, L. M. F.; ROSA, C. C. N.; SANTOS, D. de G.; SEIXAS, R. de M. **Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 157-176, out./dez. 2020.

OYEDELE, Lukumon O.; AJAYI, Saheed O.; KADIRI, Kabir O. **Use of recycled products in UK construction sector: An empirical investigation into critical impediments and strategies for improvement, Resources, Conservation and Recycling**, v.93, pp.23–31, 2014.

POON, C, 1997. **Management and recycling of demolition waste in Hong Kong**. Waste Manag. Res. 15 (6), 561–572. <https://doi.org/10.1006/wmre.1996.0111>.

PSCCG. Plano de Coleta Seletiva de Campo Grande – MS. **Versão final do plano de coleta seletiva, 2017**. Disponível em < <https://pscsgdmtr.wixsite.com/coletaseletiva/downloads> >. Acesso em 10 de mar. 2021.

PUPIN, N. S.; MAIA; J. H. de O.; MILANI, A. P. da S. **Impactos da implantação da gestão de Resíduos da Construção Civil em Campo Grande – MS**. 7º ENARC (Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção), Porto Alegre, 2021.

RESENDE, L. H. S. (2016). **Análise da gestão de resíduos sólidos de construção civil de Belo Horizonte (MG) a partir da percepção dos atores envolvidos**. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (2006). **Plano Integrado de Gerenciamento e Sistema de Gestão de RCC. Lei 7.146/2006**. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.sjc.sp.gov.br/legislacao/Leis/2006/7146.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2021.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (2012). **Gerenciamento Municipal de RCC. Lei complementar 8.646/2012.** São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.sjc.sp.gov.br/legislacao/Leis/2012/8646.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2021.

SCHAMNE, A. N.; NAGALLI, A. **Reverse Logistics in the Construction Sector: A Literature Review.** *Ejge*, v. 21, p. 691–702, 2016.

SILVA, V. B. M; MILANI, A. P. da S. **Estratégias econômicas e políticas públicas para incentivar a utilização do RCC reciclado.** Artigo para conclusão de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2022.

SOBOTKA, Anna; CZAJA, Joanna. **Analysis of the factors stimulating and conditioning application of reverse logistics in construction,** *Procedia Engineering*, v.122, pp. 11–18, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.002>>. Acesso em: 14 ago. 2021.

SODRÉ, Ulysses. **Modelos Matemáticos.** Universidade Estadual de Londrina, 2007.

SOLÍS-GUZMÁN, J. et al. **A Spanish model for quantification and management of construction waste.** *Waste Management*, v. 29, n. 9, p. 2542-2548, 2009.

SOLURB. **Solurb Soluções Ambientais,** c2022. Página inicial. Disponível em: <<https://www.solurb.eco.br/>>. Acesso em: 27 de maio 2022.

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

TESSARO, A. B., SÁ, J. S., & SCREMIN, L. B. (2012). **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS.** *Ambiente Construído*, 12(2), 121-130. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000200008>.

VIANA, K.S.C.L. **Metodologia simplificada de gerenciamento de resíduos sólidos em canteiros de obras, João Pessoa, PB.** Dissertação (mestrado), Programa de pós-graduação em engenharia urbana e ambiental. Universidade Federal da Paraíba. 2009

VINUTO, Juliana. **A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto.** *Temáticas*, Campinas, 22. Campinas, São Paulo. 2014

WANG, Qiankun, CHEN, Lei, HU, Ruibo, REN, Zhigang, HE, Yanting, LIU, Daoru, ZHOU, Ziqi, 2020. **An empirical study on waste generation rates at different stages of construction**

projects in China. Waste Manag. Res. 38 (4), 433–443.
<https://doi.org/10.1177/0734242X19886635>.

WU, H., Zuo, J., Zillante, G., Wang, J., Yuan, H., 2019. **Status quo and future directions of construction and demolition waste research: a critical review.** J. Clean. Prod. 240, 118163.

WU, Z., YU, A. T. W., SHEN, L., & LIU, G. (2014). **Quantifying construction and demolition waste: an analytical review.** Waste Management (New York, N.Y.), 34(9), 1683-1692.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.010> PMID:24970618.

YAZDANI, M., Kabirifar, K., Frimpong, B.E., Shariati, M., Mirmozaffari, M., Boskabadi, A., 2021. **Improving construction and demolition waste collection service in an urban area using a simheuristic approach: a case study in Sydney, Australia.** J. Clean. Prod. 280, 124138.

YEHEYIS, M., Hewage, K., Alam, M.S., Eskicioglu, C., Sadiq, R., 2013. **An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability.** Clean Technol. Environ. Policy 15 (1), 81–91.

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

YU, A.T.W., Poon, C.S., Wong, A., Yip, R., Jaillon, L., 2013. **Impact of construction waste disposal charging scheme on work practices at construction sites in Hong Kong.** Waste Manag. 33 (1), 138–146.