



**FERNANDA CAPELLARI DE CARVALHO**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE RESÍDUOS DE  
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO DESCARTADOS NO  
ANTIGO LIXÃO DE LAVRAS - MG**

**LAVRAS - MG**

**2019**

**FERNANDA CAPELLARI DE CARVALHO**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO DESCARTADOS NO ANTIGO LIXÃO DE LAVRAS - MG**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. André Geraldo Cornelio Ribeiro  
Orientador

Mestranda Júlia Meleti Reis  
Coorientadora

**LAVRAS - MG**

**2019**

**FERNANDA CAPELLARI DE CARVALHO**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO DESCARTADOS NO ANTIGO LIXÃO DE LAVRAS -MG**

**PHYSICAL CHARACTERIZATION OF CONSTRUCTION AND  
DEMOLITION WASTE DISPOSED IN THE OLD DUMPING GROUND OF  
LAVRAS - MG**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. André Geraldo Cornelio Ribeiro  
Orientador

Mestranda Júlia Meleti Reis  
Coorientadora

**LAVRAS - MG**

**2019**

## **AGRADECIMENTOS**

A todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica na UFLA, pelos conhecimentos e aprendizados transmitidos.

Ao meu orientador André Geraldo Cornelio Ribeiro, pelo acompanhamento, suporte e auxílio em todos os momentos do trabalho.

A mestranda Júlia Meleti Reis, pela oportunidade de participação em sua dissertação de mestrado, além de todo companheirismo e ajuda fornecida.

A minha querida Preserva Júnior, empresa que tive a honra de fazer parte durante três anos consecutivos, pelo crescimento pessoal e profissional, projetos realizados, amizades feitas e legados construídos.

A minha família, Ligia, Luis e Gustavo, por todo suporte emocional e financeiro, por sempre torcerem pelo meu sucesso e por me apoiarem nessa decisão.

Ao meu namorado Pedro, pela torcida, amizade, compreensão e carinho durante esses cinco anos.

As minhas amigas Clarissa e Flávia, pelos ótimos momentos, auxílios na vida acadêmica e pessoal, e por fazerem da minha graduação uma experiência tão única.

Por fim, gratidão a todos esses anos vividos na UFLA, ficarão guardados para sempre em minha memória.

## RESUMO

O crescimento populacional e o aumento dos centros urbanos nas últimas décadas vêm provocando uma intensificação no setor de construção civil. Apesar dos diversos impactos positivos, como a melhora da economia e a geração de empregos, existe uma estreita relação entre o desenvolvimento econômico e a proteção ao meio ambiente, um exemplo disso é a geração de resíduos sólidos, que vêm sendo melhor gerenciada na última década devido a Lei nº 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A construção civil gera uma alta quantidade de resíduos sólidos, que são, muitas vezes, descartados de forma incorreta, causando diversos impactos ambientais, como a poluição do solo e da água e a destruição de paisagens. Para isso, a Resolução CONAMA nº 307 de 2002 que “Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil” procura fazer com que esses impactos sejam menores. Além disso, há a dificuldade em se controlar o que é descartado nas caçambas, fazendo com que nesses coletores também sejam encontrados materiais orgânicos, produtos perigosos e embalagens de diversos produtos, favorecendo a proliferação de insetos e vetores de doenças. No município de Lavras - MG, dezessete empresas caçambeiras possuem autorização para o descarte dos seus Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na área do antigo lixão. Porém, não existe um sistema adequado de gerenciamento, resultando em um cenário de resíduos amontoados a céu aberto, sem que sejam reaproveitados, contribuindo para o esgotamento dos recursos naturais. Para uma melhor gestão dos RCD gerados no Município de Lavras - MG, é essencial a construção de uma Usina de Triagem e Reciclagem (UTR) na área de descarte desses resíduos. O presente estudo teve como objetivo apresentar uma caracterização física dos RCD descartados por empresas caçambeiras existentes no município de Lavras - MG, necessária para o planejamento de uma UTR. A metodologia baseou-se em quantificar semanalmente, durante 4 meses, o número de caçambas, e seus respectivos volumes, descartados por cada empresa na área de despejo autorizada pela prefeitura municipal. Para a classificação, foi utilizada a caracterização gravimétrica, que separa os resíduos em suas respectivas classes (A, B, C ou D), fornecendo a porcentagem de cada classe e uma lista dos diferentes tipos de resíduos, permitindo que sejam estudadas as formas de reaproveitamento. A quantificação demonstrou uma diferença significativa entre os volumes de resíduos gerados por cada empresa, duas possíveis explicações para isso seriam o porte do empreendimento e o período da análise, que apresentaram variáveis como oferta e demanda, investimentos e planejamento financeiro das empresas. Considerando a primeira quantificação realizada com seis empresas participantes, o volume total dos RCD encaminhados a área de descarte durante dois meses foi de 3.684,84 m<sup>3</sup>. Com isso, estimou-se um volume mensal médio de 2.395,15 toneladas dos RCD levados por mês. A caracterização gravimétrica resultou em 96,87% de resíduos classe A, sendo 53% deles solo e 34% concreto, demonstrando a positiva viabilidade de construção de uma UTR, uma vez que a maioria dos resíduos podem ser reutilizados. As atividades desempenhadas na UTR são de extrema importância para uma correta cadeia logística dos resíduos, uma vez que são realizadas a identificação e triagem dos resíduos, o acondicionamento para reutilização e reciclagem, o transporte e a destinação final de acordo com cada classe. A partir disso, pode vir a ocorrer uma redução da quantidade de resíduos na área, a melhora da qualidade do meio ambiente, a inserção dos resíduos no mercado novamente e a conscientização da população.

**Palavras-chave:** Usina de Triagem e Reciclagem, resíduos sólidos; reciclagem; impacto ambiental.

## ABSTRACT

The population growth and the increase of urban centers in the last decades have been intensifying the sector of civil construction. Although these cause many positive impacts, such as improve the economy and the creation of new jobs, there is a difficult relationship between economic development and environmental protection. An example of this is the solid waste generation, which has been better managed over the last decade due to Law number 12.305 of 2010, which established the National Solid Waste Policy. The civil construction generates a large amount of solid waste that is many times discarded incorrectly. That causes divers environmental impacts, for example, soil and water pollution and landscape destruction. To this end, the Resolution number 307 of 2002 made by CONAMA, which “establishes rules, requirements and procedures for the management of construction waste”, seeks to make these factors considered minor. Besides that, it is difficult to control what is discarded in the collectors. That makes it easy to found organic materials and dangerous products in the middle of the construction waste, which favors the insects and vectors proliferation. In the city of Lavras - MG seventeen companies are authorized to dispose their Civil Construction Waste in an area of the old dumping ground. However, there is not an adequate management system, which results in a terrible scenario of waste stored in the open air. There is no reused system, that contributes to the depletion of the natural resources. This job had the objective of analyze and raise data regarding of the quantity and classification of the waste that arrives in the area. The methodology to get the quantity was based on collecting data on how many dumpsters were taken daily to the area and what were their respective volumes. For the classification was used the gravimetric characterization that separates the residues into their respective classes (A, B C or D). This provides the percentage of each class, a list of the different types of waste and the ways to reuse. The quantification demonstrated a significant difference between the volumes of waste generated by each company. There were two possible explanations for this: one is the company size and the other is the period of the analysis, which presented variables such as supply, demand, investments and financial planning. In the first quantification the total volume of Civil Construction and Demolition Waste sent to the disposal area was 3,684.84 m<sup>3</sup> in two months. It was estimated an average volume of 2.395.15 tons per month of Civil Construction and Demolition Waste taken to the area per month. The gravimetric characterization resulted in 96.87% of class A waste, which 53% is soil and 34% is concrete. That demonstrate the positive feasibility of building a Recycling and Disposal Plant because most of the waste can be reused. The activities executed in the Recycling and Disposal Plant are very importance for a correct waste logistic because indicates the type of the waste, the condition for reuse and recycling, the best option to transport and the options of the final destination. From this, a reduction of the amount of waste in the area, an improvement of the quality of the environment, a re-insertion of waste in the market and an awareness of the population may occur.

**Keywords:** Recycling and Disposal Plant, solid waste, recycling, environmental impact.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Fluxograma do processo de reciclagem dos RCD.
- Figura 2 – Área de destinação dos RCD de Lavras - MG.
- Figura 3 – Localização do Município de Lavras - MG.
- Figura 4 – Área do antigo lixão de Lavras – MG.
- Figura 5 – Modelo de uma das caçambas medidas.
- Figura 6 – Medição das dimensões da caçamba.
- Figura 7 – Pilha de resíduos descartados pelas seis empresas durante uma semana.
- Figura 8 – Pontos de retirada das amostras para o processo de quarteamento.
- Figura 9 – Diagrama do processo de quarteamento.
- Figura 10 – Retroescavadeira realizando o método do quarteamento da amostra.
- Figura 11 – “Bombonas” de 200 litros enumeradas para armazenamento e pesagem dos resíduos.
- Figura 12 – Pesagem e anotação da massa dos resíduos.
- Figura 13 – Classes dos RCD obtidas na caracterização gravimétrica.
- Figura 14 – Principais resíduos encontrados na caracterização gravimétrica.
- Figura 16 – Pesagem e anotação da massa dos resíduos.
- Figura 17 – Classes dos RCD obtidas na caracterização gravimétrica.
- Figura 18 – Principais resíduos encontrados na caracterização gravimétrica.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Panorama de coleta dos RCD nas diferentes regiões do Brasil em 2017.

Tabela 2 – Quantificação dos RCD em seis empresas caçambeiras de março a maio de 2019.

Tabela 3 – Quantificação dos RCD em cinco empresas caçambeiras de agosto a outubro de 2019.

Tabela 4 – Caracterização gravimétrica dos RCD.

|

|



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Geração dos RCD por etapa em uma obra.

Quadro 2 – Características e beneficiamentos dos RCD reciclados.

Quadro 3 – Normas dadas pela ABNT para o processo de reciclagem dos RCD.

Quadro 4 – Questionário inicial às empresas participantes do estudo.

Quadro 5 – Cronograma geral das atividades.

Quadro 6 – Formulário de quantificação dos RCD gerados pelas empresas.

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem dos RCD no Brasil

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

CODEMA – Conselho Municipal de Defesa e Conservação do Meio Ambiente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSANE – Consórcio Regional de Saneamento Básico

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

CREA-PR – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná

DCI – Diário Comércio Indústria e Serviços

EPI – Equipamentos de Proteção Individual

IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

KG – Quilograma

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MG – Minas Gerais

NBR – Norma Brasileira

ONU – Organização das Nações Unidas

PAIC – Pesquisa Anual da Indústria da Construção

PEV – Ponto de Entrega Voluntário

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PR – Paraná

PRAD – Plano de Recuperação de Área Degradada

PVC – Policloreto de Vinila

RCC – Resíduo da Construção Civil

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

RO – Rondônia

RS – Rio Grande do Sul

RSU – Resíduo Sólido Urbano

SC – Santa Catarina

SMMA – Secretaria Municipal de Meio Ambiente

UFLA – Universidade Federal de Lavras

UTR – Usina de Triagem e Reciclagem

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS.....	15
2.2. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD).....	16
2.3. PANORAMA DOS RCD NO BRASIL.....	17
2.4. GESTÃO DOS RCD EM MINAS GERAIS.....	19
2.5. CLASSIFICAÇÃO DOS RCD.....	20
2.5.1. <i>RESÍDUOS CLASSE A – REUTILIZÁVEIS OU RECICLÁVEIS COMO AGREGADOS</i> .....	20
2.5.2. <i>RESÍDUOS CLASSE B – RECICLÁVEIS PARA OUTRAS DESTINAÇÕES</i> .....	21
2.5.3. <i>RESÍDUOS CLASSE C – SEM TECNOLOGIA ECONOMICAMENTE VIÁVEL PARA RECICLAGEM</i> .....	21
2.5.4. <i>RESÍDUOS CLASSE D – PERIGOSOS ORIUNDOS DO PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO</i> .....	21
2.6. CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA.....	22
2.7. USINA DE TRIAGEM E RECICLAGEM.....	25
2.8. GESTÃO DOS RCD EM LAVRAS - MG.....	30
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	32
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	33
3.2.1. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	35
3.3. QUANTIFICAÇÃO DOS RCD: APLICAÇÃO DO FORMULÁRIO.....	37
3.4. DEFINIÇÃO DO VOLUME DOS RCD NA CAÇAMBA.....	38
3.5. COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RCD.....	39
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	47
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	55
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	56
<b>APÊNDICE A</b> .....	59

## 1. INTRODUÇÃO

O constante desenvolvimento tecnológico, a alta oferta de bens de consumo e a frequente expansão dos centros urbanos nos últimos anos acarretaram diversos impactos no planeta, tanto positivos, quanto negativos. Entre os benéficos, há a melhoria da economia local e nacional e a conseqüente geração de empregos, em contrapartida, há os maléficos, como o aumento da exploração de recursos naturais, a poluição ambiental e a geração de resíduos sólidos.

Segundo a Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) de 2017, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a atividade de construção civil contribuiu com R\$280 bilhões em incorporações, obras e serviços da construção naquele ano. Desse total, 94,4% foi proveniente de obras e serviços civis, sendo o restante de incorporações de imóveis construídos por outras empresas, além disso, a atividade englobava, no final de 2017, 126,3 mil empresas ativas e 1,91 milhão de pessoas, o que confirma a importância deste setor para a economia do país. Ainda segundo a PAIC, a região Sudeste, é responsável por 49,8% da de construção civil em todo o país.

A expansão desse setor econômico intensificou seu potencial poluidor, uma vez que contribui para a geração de um grande volume de resíduos sólidos, que normalmente são depositados sem os devidos cuidados com o meio ambiente e, muitas vezes, não reutilizados. A reciclagem deve ser sempre considerada como a primeira alternativa, a fim de reintroduzir esses resíduos no ciclo produtivo, fazer com que ganhem importância econômica e sejam utilizados como materiais alternativos, reduzindo custos, consumo de matérias-primas e gastos com energia nesse setor.

A destinação inadequada dos resíduos agrava muito os problemas sociais, ambientais e de saúde pública, por meio da contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, além da proliferação de doenças e vetores. Por esses motivos, a gestão ambiental está sendo cada vez mais cobrada pelos requisitos legais, porém, existem empresas e pessoas que continuam realizando o descarte de seus resíduos incorretamente, que aliado à falta de fiscalização por parte dos agentes públicos no Brasil, torna a situação ainda mais preocupante.

A Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define os princípios de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos. Um dos instrumentos da política é a responsabilidade compartilhada, que responsabiliza toda

pessoa física ou jurídica envolvida no processo de geração de algum resíduo sólido a destiná-lo corretamente. Por isso, tanto o gerador quanto o órgão público são responsáveis pela logística de descarte dos resíduos, devendo trabalhar em conjunto para fornecer a melhor destinação final para estes.

Quando não gerenciados corretamente, os RCD acabam sendo depositados de forma irregular em lotes abandonados ou vias públicas, o que faz com que possam vir a atingir rios e lagos ao redor, contribuindo ainda mais para a poluição ambiental. Por isso, é essencial a construção de uma Usina de Triagem e Reciclagem (UTR) nos locais de recebimentos desses resíduos, pois nela é feita a triagem, o armazenamento e o encaminhamento a melhor destinação. Os RCD podem ser, muitas vezes, utilizados como matéria prima para outros agregados e também reaproveitados em outras etapas do processo construtivo.

O atual cenário de descarte dos RCD no Município de Lavras – MG é a disposição destes em uma área licenciada pela Prefeitura, no mesmo local onde era o antigo lixão do município. O resultado disso, é a disposição de forma desordenada a céu aberto, onde não há uma triagem dos resíduos e nem uma análise de um possível reaproveitamento. Pelo fato de não atender a alguns requisitos legais, como a Resolução CONAMA n° 307/2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, identifica-se a necessidade de melhorar a logística da disposição, armazenamento e encaminhamento desses resíduos, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais na área de descarte e reintroduzir os materiais de construção civil no processo produtivo.

Como forma de cumprir as exigências do artigo 10 da Resolução CONAMA n° 307/2002, que diz que os resíduos da construção civil classe A devem primeiramente passar por uma após triagem e depois serem reutilizados ou reciclados na forma de agregados, a Prefeitura almeja construir uma UTR no local, pois nela seria feita uma seleção dos materiais que podem ser reciclados ou não e, também, seria definida a melhor destinação e disposição final dos RCD gerados no município. Uma vez que é de interesse da Prefeitura realizar essa obra, é de suma importância que sejam mensurados e caracterizados os resíduos descartados nesse local. A análise deve ser tanto quantitativa, para que seja mensurado o volume que chega nessa área, quanto qualitativa, com o objetivo de definir a porcentagem de cada classe dos RCD. Este trabalho poderá auxiliar em um melhor planejamento da usina e da logística de maquinários, mão-de-obra e

armazenadores, contribuindo para a implantação de um Plano de Gerenciamento dos RCD no município, possibilitando o alcance de seus objetivos e princípios ambientais.

Com base nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo quantificar e classificar os Resíduos de Construção e Demolição descartados por empresas caçambeiras autorizadas pela prefeitura, na área do antigo lixão no município de Lavras - MG. Sendo assim, esperou-se que os dados desse trabalho auxiliasse a Prefeitura Municipal de Lavras a planejar a construção de uma Usina de Triagem e Reciclagem, para proporcionar um gerenciamento adequado dos RCD.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS**

A Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 define como resíduos sólidos:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (Lei nº 12.305, 2010).

Outra definição é segundo a norma NBR 10004, que define resíduo sólido como qualquer forma de matéria ou substância (no estado sólido ou semissólido, que resulte de atividades industriais, domésticos, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços, de varrição e de outras atividades da comunidade) capaz de causar poluição ou contaminação ambiental (ABNT, 2004). Ainda segundo a NBR 10.004, os resíduos podem ser classificados quanto à periculosidade segundo cinco critérios: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, e a partir desses critérios, os resíduos podem ser classificados como: perigosos, não-inertes e inertes.

A Lei nº 12.305/2010 dispõe também sobre os geradores de resíduos sólidos, que são: “pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo”.

É importante ressaltar o conceito de responsabilidade compartilhada pelo gerenciamento dos resíduos sólidos, em que o gerador se torna um dos responsáveis pelo ciclo de vida desses, em conjunto com os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de

manejo dos resíduos sólidos. Através desse cenário, devem trabalhar em conjunto para minimizar o volume de resíduos e rejeitos gerados, bem como reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

O artigo nono da Lei nº 12.305/2010 discorre que a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos devem atender a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada. Sendo assim, o cenário de disposição dos RCD no município de Lavras - MG, no qual os resíduos são apenas descartados em uma área, sem que sejam feitas ações para reutilizar, reciclar e tratar esses resíduos, está em desacordo com a legislação federal vigente.

No Brasil, destacam-se a geração dos seguintes resíduos: sólidos urbanos, líquidos (efluentes), de construção civil, de serviço de saúde e os que fazem parte da logística reversa (agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, lâmpadas e produtos eletroeletrônicos e seus componentes). Para que o impacto ambiental seja o menor possível, cada tipo de resíduo requer um tratamento específico e uma correta destinação final, porém, ainda, o gerenciamento destes no Brasil é muito falho e precário, mesmo sendo de extrema importância para diversos âmbitos.

## 2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

O Resíduo de Construção e Demolição (RCD), também chamado de Resíduo da Construção Civil (RCC) por alguns autores, segundo a Resolução CONAMA nº 307 de 05 de julho de 2002 são:

Os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha. (Resolução CONAMA nº 307/2002).

Logo, percebe-se que os RCD podem ser originados de diversas operações, tanto de construções, reformas, reparos e demolições, quanto de atividades industriais como mineração, refino de materiais e transformação, além, também, de descartes do consumo por obsolescência e desgaste. Sua composição e características físicas variam desde grãos



de areia até blocos de concreto e suas dimensões são bem irregulares, que dependem de seu processo gerador.

O entulho, de uma forma geral, apresenta em sua composição muitos materiais inertes, como tijolo, rocha, areia e vidro, mas algumas obras podem gerar resíduos não inertes ou até mesmo perigosos por meio da presença de alguns elementos, como, por exemplo, o amianto.

Além de definir e exemplificar os RCD, a Resolução CONAMA nº 307/2002, traz pressupostos para o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil, que apresenta como corresponsáveis por sua elaboração o Poder Público Municipal, os geradores e os transportadores destes resíduos. Algumas exigências para a elaboração do Plano são: conter as diretrizes técnicas e procedimentos para o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção e Demolição e para os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção e Demolição, o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo, e 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.

Conforme disposto na Resolução CONAMA nº 307/2002, os geradores devem priorizar não gerar esses resíduos, posteriormente, devem buscar reduzi-lo, reutilizá-lo, reciclá-lo e, somente por fim, dispô-los em aterros ou áreas licenciadas para determinado fim. Com isso, a responsabilidade pelos resíduos é do gerador, sendo a Prefeitura corresponsável e há uma necessidade de encontrar soluções eficientes para a gestão dos RCD, já que seu volume gerado é alto e os impactos ambientais são diversos e expressivos.

Após sua publicação, a Resolução CONAMA nº 307/2002 foi alterada pelos seguintes requisitos: Resolução nº 348/2004, que incluiu a classe D (resíduos perigosos oriundos do processo de construção) na classificação dos RCD; Resolução nº 431/2011 que passou o gesso da classe C para a classe B, estabelecendo a possibilidade de reciclagem do gesso; Resolução nº 448/2012 que realizou várias alterações, dentre elas a inserção do aterro classe A como forma de destinação, proibindo disposição deles em aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU); e por fim, a Resolução nº 469/2015 que incluiu as embalagens vazias de tintas imobiliárias na classe B e definiu essas seriam submetidas a sistema de logística reversa.

### 2.3 PANORAMA DOS RCD NO BRASIL

A ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) é uma associação voltada à criação, ampliação, desenvolvimento e fortalecimento do mercado de gestão de resíduos, que trabalha em colaboração com os setores público e privado, em busca de condições adequadas à atuação das empresas no país. Há quinze anos ininterruptos a ABRELPE realiza o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, que é o único relatório de âmbito nacional sobre gestão de resíduos sólidos atualizados anualmente. Este, traz um cenário nacional com as tendências e os desafios para esse setor, nos diferentes âmbitos de sua aplicação.

No panorama de 2017, os municípios brasileiros coletaram cerca de 45 milhões de toneladas dos RCD, 0,1 % a menos que em 2016. Apesar dessa diminuição entre 2016 e 2017, o Brasil ainda precisa aprimorar o gerenciamento dos RCD e colocar em prática o princípio de não geração e/ou reutilização nos próximos anos. A Tabela 1 apresenta a coleta dos RCD por região no país.

Tabela 1 – Panorama de coleta dos RCD nas diferentes regiões do Brasil em 2017.

<b>Região</b>	<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Centro-Oeste</b>	<b>Sudeste</b>	<b>Sul</b>
<b>RCD Coletado (t/dia)</b>	4,727	24,585	13,574	64,063	16,472

Fonte: Pesquisa ABRELPE/IBGE (2017).

Pode se observar que a região Sudeste é a maior geradora dos RCD, o que reflete fato de ser mais desenvolvida econômica e tecnologicamente em relação as outras regiões.

No Brasil, a tarefa de quantificação desses resíduos ainda é muito difícil, pois faltam tecnologias na área da pesquisa e incentivos por parte dos órgãos públicos, além disso, há o fato de alguns geradores e gestores não contribuírem, principalmente devido ao descarte em áreas clandestinas, nos quais os dados estatísticos estão indisponíveis e podem representar uma parcela importante dos RCD gerados em um município.

Segundo a ABRECON, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição, a reciclagem de resíduos RCD no Brasil ainda é incipiente e são encontradas várias dificuldades para se implementar a gestão, dentre elas, o alto custo para a realização da triagem, como mão de obra e equipamentos, a tecnologia limitada e a falta de apoio das empresas geradoras e dos órgãos públicos. O conjunto

desses fatores limita o número de usinas no Brasil, que, conseqüentemente, favorece o desequilíbrio entre o fornecimento e a demanda dos produtos reciclados.

Apesar disso, a reciclagem dos RCD é a solução mais viável e sustentável para esses resíduos, pois reduz a exploração de jazidas de recursos naturais não renováveis, diminui a necessidade de áreas destinadas a receber os entulhos e contribui para a ampliação da vida útil dos aterros, especialmente em grandes cidades, em que a atividade da construção civil é alta e há escassez de área para deposição.

Os concretos produzidos com agregados reciclados apresentam desempenho de resistência superior quando comparado aos concretos com agregados naturais. Os valores de resistividade, durabilidade e profundidade de carbonatação mostram uma maior longevidade dos materiais produzidos com agregados reciclados (PEREIRA et al., 2012).

Segundo uma publicação no Diário Comércio Indústria e Serviços (DCI), em 2018, no Brasil são geradas diariamente 290,5 mil toneladas de resíduos de construção e demolição, sendo que apenas 0,6% é reaproveitado. Em paralelo a isso, uma pesquisa realizada pela ABRECON, em 2018, apontou que 50% dos municípios brasileiros ainda seguem destinando seus RCD para aterros sanitários, lixões ou locais irregulares. Além disso, a pesquisa mostra que no ano de 2015 o país possuía 300 usinas de reciclagem de entulho funcionando e que em 2018 esse número saltou para 360. “A quantidade de entulho gerada em 2015 era algo em torno de 87 milhões de toneladas por ano, e hoje são 105 milhões de toneladas por ano. Ou seja, houve um aumento significativo na quantidade de entulho gerada, porém, sem tratamento e destinação correta” (BARTOLI, H., 2018).

## 2.4 GESTÃO DOS RCD EM MINAS GERAIS

A Deliberação Normativa nº 155 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) de 25 de agosto de 2010, que “Altera dispositivos da Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004, incluindo na listagem E códigos de atividade para manejo e destinação de resíduos da construção civil e volumosos, e dá outras providências.” (COPAM, 2010) é referente ao estado de Minas Gerais e traz exigências aos RCD. O artigo primeiro trás as seguintes definições:

III - Aterros de resíduos da construção civil: local devidamente preparado empregando-se técnicas para a disposição de resíduos classe "A" da construção civil, nos termos da classificação instituída pela Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, ou das que sucederem-na, visando à reserva de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou a futura utilização da área, adotando

princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente.

IV - Áreas de armazenamento transitório: área que tenha como atividade fim o armazenamento de resíduos da construção civil e volumosos em local adequado, de forma controlada e sem risco à saúde pública e ao meio ambiente, com o intuito de viabilizar sua triagem, reutilização, reciclagem ou disposição final.

V - Áreas de triagem e transbordo - ATT: estabelecimento privado ou público destinado ao recebimento de resíduos da construção civil e volumosos, usado para triagem dos resíduos recebidos e posterior remoção para destinação adequada.

VI - Áreas de reciclagem: área onde ocorre o processo de transformação de um resíduo para fins de reaproveitamento. (Deliberação Normativa COPAM n° 155/2010).

Com isso, percebe-se o incentivo no estado de Minas Gerais às construções e destinações de áreas para a correta gestão ambiental desses resíduos. Além disso, um dos critérios estabelecidos na Deliberação é a proibição do descarte irregular dos resíduos em áreas públicas, corpos d'água, lotes vagos e outros locais inadequados.

Outra disposição é a dispensa de licenciamento ou autorização de funcionamento para áreas de aterros e de armazenamento transitório provenientes de movimentação interna de solo, dentro de um mesmo empreendimento ou atividade já autorizada ou licenciada. Dispensa, também, de licenciamento a recepção de solo com a finalidade de nivelamento da estrutura do terreno para imediata ocupação por edificação ou outro uso urbano. Isso, mostra o incentivo do estado a reutilização dos resíduos.

## 2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS RCD

Apesar da maioria dos RCD serem considerados inertes (Classe II B), segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), os mesmos possuem resoluções específicas: a Resolução CONAMA n° 307/2002 e Resolução CONAMA n° 348/2004. A publicação destas Resoluções foi imprescindível para a mudança no quadro dos impactos ambientais, pois além de estabelecerem diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão desses resíduos, os separaram em quatro classes, o que facilita a sua gestão e o gerenciamento da destinação. Segundo a Resolução CONAMA n° 307/2002, os RCD podem ser classificados em quatro classes (A, B, C e D).

O Caderno Técnico “Resíduos Sólidos” publicado pelo CREA-PR – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura, Agronomia em 2016, que teve como objetivo documentar as discussões da Agenda Parlamentar do CREA-PR, dispõe sobre as diferentes características que os RCD podem apresentar, uma vez que cada cidade ou

região possuem suas peculiaridades, como geologia, morfologia, disponibilidade de recursos naturais, tecnologias dos materiais de construção, etc. Com isso, há uma grande heterogeneidade nos resíduos gerados em uma obra e, para efeito de seu gerenciamento, deve ser seguida a classificação dada pela Resolução CONAMA n° 307/2002.

#### *2.5.1 RESÍDUOS CLASSE A – REUTILIZÁVEIS OU RECICLÁVEIS COMO AGREGADOS*

São aqueles resíduos com potencial de serem reutilizados ou reciclados como agregados, provenientes de construções, demolições, reformas e/ou reparos de pavimentação, edificações, obras de infraestrutura e, também, da fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, tais como:

- Solos e rochas;
- Componentes cerâmicos: tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, tubos, meios-fios;
- Argamassa;
- Concreto;
- Pavimento asfáltico, etc.

Os resíduos Classe A são comumente chamados de entulhos e devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro dos RCD, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura (CONAMA, 2002).

#### *2.5.2 RESÍDUOS CLASSE B – RECICLÁVEIS PARA OUTRAS DESTINAÇÕES*

São aqueles resíduos recicláveis para outras destinações e não como agregados, tais como: plástico, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso. O gesso foi retirado da Classe C e adicionado a Classe B pela Resolução n° 431/2011. A Resolução n° 469/2015 passou a considerar embalagens vazias de tintas imobiliárias como resíduos classe B, desde que não possua resíduo de tinta líquida, apenas um filme seco de tinta em seu revestimento interno. Além disso, determina que as embalagens de tintas usadas na construção civil devem ser submetidas a sistema de logística reversa, conforme requisitos da Lei n° 12.305/2010.

Os resíduos enquadrados na classe B devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura (CONAMA, 2002).

### *2.5.3 RESÍDUOS CLASSE C – SEM TECNOLOGIA ECONOMICAMENTE VIÁVEL PARA RECICLAGEM*

São os resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação. Devem ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas (CONAMA, 2011). Alguns exemplos de resíduos que podem ser classificados como classe C são: estopas, lixas, isopor, panos e pincéis, desde que não estejam contaminados com substâncias que o classifique como D, e espumas expansivas. (MATUTI, B.B.; SANTANA, G. P., 2019).

### *2.5.4 RESÍDUOS CLASSE D – PERIGOSOS ORIUNDOS DO PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO*

São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, tais como:

- Tintas;
- Solventes;
- Óleos e materiais contaminados com óleo;
- Telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto;
- Qualquer produtos nocivos à saúde humana.

Devem ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. No caso particular dos resíduos Classe D, a Resolução n° 307/2002 foi complementada pela Resolução n° 348/2004, que “Altera a Resolução CONAMA n° 307, de 05 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos” (CONAMA, 2002).

## *2.6 CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA*

A fase da caracterização dos RCD é crucial para a identificação desses resíduos, pois interfere diretamente no planejamento da UTR e no planejamento das formas de

redução, reutilização, reciclagem e a destinação final dos mesmos. Para realizar a caracterização, deve ser seguida a classificação oferecida pela Resolução CONAMA n° 307/2002.

Durante a caracterização gravimétrica são encontrados resíduos provenientes de diferentes etapas da obra. O Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil realizado pela Série de Publicações Temáticas do CREA-PR considera as possibilidades de geração em uma obra apresentadas no Quadro 1:

Quadro 1 – Geração dos RCD por etapa em uma obra.

FASES DA OBRA	TIPOS DE RESÍDUOS POSSIVELMENTE GERADOS
LIMPEZA DO TERRENO	SOLOS
	ROCHAS, VEGETAÇÃO, GALHOS
MONTAGEM DO CANTEIRO	BLOCOS CERÂMICOS, CONCRETO (AREIA; BRITA)
	MADEIRAS
FUNDAÇÕES	SOLOS
	ROCHAS
SUPERESTRUTURA	CONCRETO (AREIA; BRITA)
	MADEIRA
	SUCATA DE FERRO, FÔRMAS PLÁSTICAS
ALVENARIA	BLOCOS CERÂMICOS, BLOCOS DE CONCRETO, ARGAMASSA
	PAPEL, PLÁSTICO
INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS	BLOCOS CERÂMICOS
	PVC
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	BLOCOS CERÂMICOS
	CONDUITES, MANGUEIRA, FIO DE COBRE
REBOCO INTERNO/EXTERNO	ARGAMASSA
REVESTIMENTOS	PISOS E AZULEJOS CERÂMICOS
	PISO LÂMINADO DE MADEIRA, PAPEL, PAPELÃO, PLÁSTICO
FORRO DE GESSO	PLACAS DE GESSO ACARTONADO
PINTURAS	TINTAS, SELADORAS, VERNIZES, TEXTURAS
COBERTURAS	MADEIRAS
	CACOS DE TELHAS DE FIBROCIMENTO

Fonte: Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. (CREA – PR).

A análise gravimétrica, caracterização gravimétrica ou gravimetria é um método analítico qualitativo e quantitativo, cujo processo envolve a separação e a pesagem dos elementos a serem analisados no seu estado mais natural possível. Essa caracterização tem como objetivo identificar e quantificar as diferentes classes de resíduos descartados em um determinado local.

Assim, torna-se uma ferramenta importante na elaboração e implantação da Usinas de Triagem e Reciclagem desses resíduos, pois afeta diretamente os sistemas de tratamento e disposição final dos resíduos. Segundo Oliveira (2008), os RCD possuem características individuais, podendo variar em função do local em que foi gerado, da tecnologia aplicada na construção, das variantes referentes ao material aplicado durante a obra e da mão-de-obra utilizada.

Com isso, os dados levantados na caracterização gravimétrica facilitam o processo de reaproveitamento, uma vez que interferem na determinação da alternativa tecnológica mais apropriada para as fases de coleta, transporte, reaproveitamento, reciclagem e destinação final dos resíduos.

Apesar dos RCD serem divididos em quatro classes (A, B, C e D), há uma gama de possibilidades de resíduos em cada uma dessas classes, o que dificulta a caracterização e requer uma maior atenção na hora da separação.

Um trabalho realizado pelo Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS) e apresentado ao VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, ocorrido em Porto Alegre - RS entre os dias 23 e 26 de novembro de 2015, realizou a análise dos RCD no município de Ji-Paraná em Rondônia. O título do trabalho é: “Composição Gravimétrica, Classificação e Potencial de Reciclagem dos Resíduos de Construção Civil produzidos em Ji-Paraná/RO”. O município possui 132.667 habitantes, se aproximando das condições de Lavras - MG, que possui 103.773 habitantes. A metodologia realizada para caracterizar os resíduos foi a composição gravimétrica, como pode ser analisada no seguinte trecho do trabalho:

A composição gravimétrica dos RCC foi baseada em estudo realizado por Bernardes et al. (2008), que consistiu, primeiramente, no levantamento de informação sobre a origem das caçambas que recolhem tais resíduos, as quais podem ser de obras novas, reforma/demolição e outros que incluem a limpeza de terrenos e a retirada de terra bruta. Posteriormente, realizou-se a segregação dos materiais por tipo de resíduo (concreto, tijolo, argamassa, madeira, aço, plástico, papel, gesso etc.) e em seguida, fez-se sua pesagem, determinando assim, a quantidade de cada material. Desta maneira, o peso de cada componente foi dividido pelo peso total da amostra para se conhecer o percentual do componente em relação ao todo.

Após a etapa de segregação e identificação dos resíduos, estes foram quantificados por meio de pesagem em balança mecânica, com capacidade de 300 kg (Figura 3). Foram realizadas análises de oito caçambas, sendo três provenientes de obras novas e cinco de reforma/demolição. Estas caçambas foram entregues de forma aleatória pela empresa, tendo o cuidado de não trabalhar com mais de uma



caçamba de uma mesma obra. (OROZCO, M. M. D., FREDEFRICO, F. H., 2015)

Outro estudo que utilizou a mesma metodologia para analisar os RCD em um município de porte semelhante foi no município de Cascavel – PR, que teve como objetivo diagnosticar a geração e a caracterização dos RCD nos municípios brasileiros para fornecer subsídios à administração pública, no qual foi realizada a análise dos RCD recebido na unidade de disposição final do município.

Para isso, foram coletadas amostras dos RCD no aterro de resíduos sólidos inertes em operação no município em junho de 2015, data em que foi encerrado devido uma recomendação do Ministério Público do Estado do Paraná. Foram selecionadas amostras de volumes conhecidos dos RCD que foram classificadas (segundo a classificação da Resolução CONAMA 307/2002) e posteriormente pesadas em balança digital, em que foram utilizadas amostras de 180 litros (KOCHEM, K., LÚPGES, M. D., POSSAN, E., 2017).

A partir disso, pode se observar que a caracterização gravimétrica é uma metodologia bastante utilizada para a análise de resíduos, de importância considerável e que resulta em dados confiáveis e eficientes para diversos fins, dentre eles a construção de uma central de reaproveitamento.

No município de São Carlos – SP, foram utilizados dois processos metodológicos para caracterizar qualitativamente os RCD da central de triagem no município, em que um deles foi a caracterização gravimétrica. Para isso, inicialmente obteve-se amostras físicas dos resíduos que eram destinados a unidade de tratamento de dois caminhões, com 10 m<sup>3</sup> cada, e uma caçamba de 5 m<sup>3</sup>. Foram coletadas seis amostras de 18 litros de cada pilha de resíduos formada pela descarga dos veículos amostrados, totalizando 108 litros. A partir disso, foi feita a amostragem seguindo a NBR 10.007/2004 e, posteriormente, a segregação manual de materiais de maior granulometria dos de menor através de uma peneira. Depois de segregados, os materiais foram pesados e quantificados, por meio do uso de uma balança de um recipiente graduado. (CÓRDOBRA, 2010).

## 2.7 USINA DE TRIAGEM E RECICLAGEM

A instalação de uma central para triagem, armazenamento e reciclagem dos RCD resulta na solução de diversos problemas ambientais, sociais e econômicos para o município. Isso, porque, de uma forma geral, disposição dos “entulhos” ocorre de forma irregular em terrenos baldios ou vias públicas, o que acarreta em acúmulo de vetores e

transmissores de doenças, enchentes em épocas de chuvas e assoreamento de rios e córregos. Além disso, a poluição da paisagem urbana gera desvalorização das propriedades, causando atraso no desenvolvimento local (MANFRINATO, J. W. S, 2008).

O melhor cenário é a construção de uma Usina de Triagem e Reciclagem (UTR) no local de recebimento dos resíduos, pois proporciona a integração do desenvolvimento econômico com a sustentabilidade, gera empregos e diminui a extração de matéria prima de reservas naturais, principalmente em períodos de maior crescimento econômico, conseguindo atender o enorme setor de construção civil, além de aumentar a área útil do local de descarte dos resíduos.

Segundo a ABRECON há diversos subprodutos e beneficiamentos da reciclagem dos RCD, como: blocos de concreto para vedação, cascalho para pavimentação de ruas, contra piso e material para drenagens, contenção de encostas, banco e mesas para praças, guia e tampas para bueiros, tubo para esgotamento, etc. A reciclagem de concreto e pedra, por exemplo, gera diferentes formas de agregados, que podem ser utilizados para diversos fins.

Para a definição da melhor destinação dos agregados reciclados e como isso deve ser feito, a NBR 15.116/2004 define requisitos para a utilização no preparo de concreto sem função estrutural e a NBR 15.115/2004 para a execução de camadas de pavimentação, permitindo o uso em todas as camadas dos pavimentos. Além, essas normas definem as características dos agregados e as condições para uso e controle na execução de reforço de subleito, sub-base, base e revestimento primário (cascalhamento).

O Quadro 2 demonstra algumas possibilidades de reciclagem para estes resíduos e suas vantagens.

Quadro 2 – Características e beneficiamentos dos RCD reciclados.

<b>PRODUTO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USO RECOMENDADO</b>
Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos

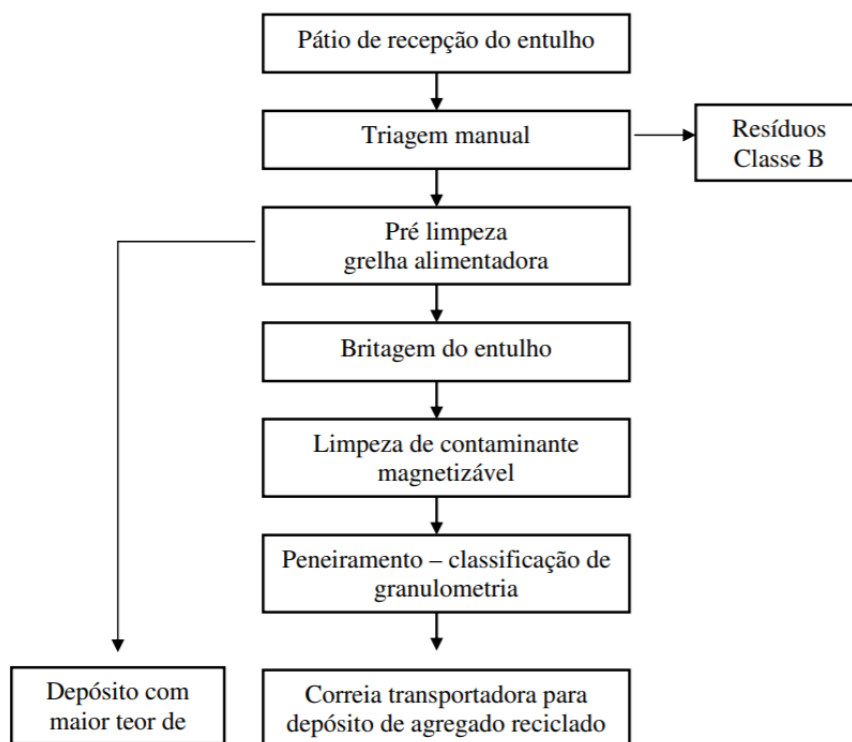
	impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Fonte: ABRECON (2019).

De acordo com a NBR 15.114 (ABNT, 2004), a UTR é um espaço físico que possui equipamentos necessários e adequados para a reciclagem dos resíduos sólidos de construção Classe A. A área deve ser subdividida em pátios para recebimento, estocagem, manuseio, triagem e armazenamento dos materiais produzidos, além disso, deve possuir locais para manobra de veículos e para a administração.

A instalação e operação da usina requerem um planejamento que atenda todos os requisitos para seu funcionamento, sendo eles: infraestrutura administrativa e operacional, equipamentos, maquinários e mão de obra. Para um melhor planejamento, deve ser levado em consideração o seguinte processo de reciclagem (Figura 1):

Figura 1 – Fluxograma do processo de reciclagem dos RCD.



Fonte: MANFRINATO, J. W. S., 2008.

Os requisitos legais a serem considerados para a construção das Usinas de Triagem e Reciclagem, são dados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que possui Normas Regulamentadoras que definem critérios, definições e classificações a serem seguidas no processo de reciclagem dos RCD (Quadro 3).

Quadro 3 – Normas dadas pela ABNT para o processo de reciclagem dos RCD.

NORMAS	TÍTULOS	DIRETRIZ CENTRAL
NBR 15.112 (ABNT, 2004)	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem. Diretrizes para o projeto, Implantação e Operação.	Triagem obrigatória de todos os resíduos, nas classes A, B, C e D. Define procedimentos para o manejo na triagem dos resíduos das diversas classes, inclusive quanto a proteção ambiental e controles diversos. Disciplina também os PEVs.
NBR 15.113 (ABNT, 2004)	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para o projeto, Implantação e Operação.	Os empreendimentos devem permitir a utilidade das áreas conformadas ou o uso futuro dos resíduos reservados. Define procedimentos para o preparo da área e disposição dos resíduos classe A, proteção das águas e proteção ambiental, planos de controle e monitoramento.

NBR 15.114 (ABNT, 2004)	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para o projeto, Implantação e Operação.	Controle das emissões no processo e de qualidade dos produtos. Estabelece procedimentos para o isolamento da área e para o recebimento, triagem e processamento dos resíduos Classe A.
NBR 15.115 (ABNT, 2004)	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação -Procedimentos.	Permite o uso em todas as camadas dos pavimentos. Define as características dos agregados e as condições para uso e controle na execução de reforço de subleito, sub-base, base e revestimento primário (cascalhamento).
NBR 15.116 (ABNT, 2004)	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos.	Permite o uso em concreto massa e artefatos até 15 Mpa. Define condições de produção, requisitos para agregados para uso em pavimentação e em concreto, e o controle da qualidade do agregado reciclado.

Fonte: MMA (2019).

Em uma análise histórica, percebe-se que a atividade de reciclagem de resíduos provenientes de obras e construções civis é recente no Brasil. Na década de noventa, foram instaladas usinas de reciclagem dos RCD nos municípios de São Paulo, em 1991, Londrina, em 1993, e Belo Horizonte, em 1994 (PINTO, 1999), porém somente a partir de 2000 é que começaram a ser desenvolvidas pesquisas e realizados investimentos para o beneficiamento dos RCD como agregados.

Até 2002, existiam apenas dezesseis usinas de reciclagem dos RCD espalhadas por todo país. Após a publicação da Resolução CONAMA nº 307 em 05 de julho de 2002, em 2009 esse número aumentou para quarenta e sete (47), das quais vinte e quatro (24) eram públicas e vinte e três (23) privadas (MIRANDA L. F. R.; ÂNGULO S. C.; CARELI E. D., 2009). Segundo a dados apresentados pela ABRECON, em 2015 eram pelo menos trezentas e dez (310) usinas de reciclagem dos RCD funcionando pelo país, sendo 83% privadas, 7% parcerias público-privadas e 10% públicas. Com isso, pode se observar o aumento da tendência de os municípios possuírem esta atividade.

Um estudo realizado no município de Criciúma – SC estimou a geração de Resíduos da Construção Civil e analisou a viabilidade de se construir uma Usina de Triagem e Reciclagem. O trabalho considerou apenas a variável quantitativa e assumiu que os resíduos que chegavam nas caçambas analisadas eram de Classe A e B, possuindo uma pequena a probabilidade de serem perigosos e domiciliares.

A estimativa da geração dos RCD no município de Criciúma – SC foi realizada através de dois métodos, um indireto e direto. O indireto foi desenvolvido por Pinto (1999), que considera a geração de 150 kg de resíduo por cada m<sup>2</sup> de área construída e cada m<sup>3</sup> de resíduo possuindo 1,2 toneladas de entulho. Através disso, o método possibilita o cálculo da provável taxa de geração de resíduos na área construída. Já o método direto considera a movimentação de cargas efetuadas pelos prestadores de serviço, obtendo-se informações sobre o número de caçambas, volume diário e mensal, local de disposição e perspectivas do setor. (CARDOSO, A. C. F., GALATTO, S. L., GUADAGNIN, M. R., 2014).

A partir dos dados obtidos, o pré-dimensionamento da usina foi realizado levando-se em consideração o volume máximo de resíduos que pode chegar no local por hora. Como resultado do trabalho, os equipamentos necessários para o funcionamento da URT deveriam possuir uma capacidade nominal de 25 t/h. Com isso, as máquinas e equipamentos necessários foram escolhidos em função da capacidade da usina ser inferior a 30 t/h seguindo as orientações de Jadovski (2005).

Além disso, foi adotada uma determinada capacidade de produção da usina e, a partir disso, foram escolhidos os seguintes equipamentos: britador de impacto; tremonha de alimentação; transportador de correia, peneira vibratória; transportador de correia; sistema antipó; bica de transferência; peneira vibratória apoiada e imã permanente.

Analisando o estudo citado, pode-se atestar que a metodologia de caracterização dos RCD é viável e necessária para a construção de uma UTR, sendo que apenas a quantificação já seria suficiente, mas para um planejamento mais preciso e eficiente, a caracterização gravimétrica é bem-vinda.

## 2.8 GESTÃO DOS RCD EM LAVRAS - MG

No município de Lavras - MG existem empresas caçambeiras que realizam o serviço de coletar, armazenar e transportar os resíduos provenientes de obras civis na cidade até o devido local para descarte. Dentre essas empresas, há aquelas que são cadastradas na Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Lavras - MG e que são autorizadas a descartarem os RCD em uma área cedida pela Prefeitura. Porém, é de responsabilidade da Prefeitura gerenciar essa área de depósito, fazendo com que os resíduos possam ser reciclados e não fiquem apenas dispostos a céu aberto.

A área destinada a receber os RCD é a mesma do antigo lixão do município, que passou por um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) em 2017 com a

finalidade de mitigar os efeitos deletérios do encerramento do lixão e remediar os impactos.

O PRAD sugeriu, como uma das medidas de remediação ambiental, a utilização da mesma como um aterro provisório dos RCD, destacando que, antes da disposição final, seria necessária uma triagem, de forma que esta servisse somente como destino dos RCD classe A. Ainda segundo esse documento, a parcela da área anteriormente dedicada ao lixão que foi destinada a ser utilizada como aterro dos RCD tem uma área total de 5 ha e tinha o objetivo de armazenar materiais segregados, possibilitando seu uso futuro. A justificativa foi a contaminação da área na época, em que o impacto causado pela disposição dos RCD seria absorvido por um local que já se encontra degradado, evitando danos a outras áreas.

Esta medida, além de atender diretrizes ambientalmente corretas, envolve ações sociais, econômicas e ecológicas. Segundo o PRAD realizado para a área em questão, era proibido a destinação de resíduos classe B, C ou D no local. Porém, em algumas visitas à área (Figura 2) pode-se perceber que são dispostos resíduos além dos RCD Classe A, justificando a necessidade de implantação de uma UTR.

Figura 2 – Área de destinação dos RCD de Lavras - MG.



Fonte: Do Autor (2019).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Lavras, localizado na região Sul do Estado de Minas Gerais (Figura 3), posicionado nas coordenadas geográficas 21° 13' 45" de latitude sul, 44° 58' 31" de longitude oeste e a uma altitude média de 918 m. Lavras possui como municípios limítrofes: Carmo da Cachoeira, Ijaci, Itumirim, Nepomuceno, Perdões e Ribeirão Vermelho. A malha rodoviária que atende o município são, principalmente, as rodovias: a BR 265, a BR 381 e a MG 335. Está a uma distância de aproximadamente 240 km da cidade de Belo Horizonte, capital administrativa do Estado e o município possui aproximadamente uma área de 564,495 km<sup>2</sup> e uma densidade populacional de 161,8 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Figura 3 – Localização do Município de Lavras - MG.



Fonte: CODEMA et al., 2017.

O local de estudo que recebe os RCD do município que foram analisados é a mesma do antigo lixão do município, localizada na comunidade Itirapuã, com coordenadas geográficas 21°16'25.18" S e 44°55'37.01" O, que se encontra entre o Ribeirão Camarões e o da Limeira (Figura 4). Esta área possui uma extensão de 22,4 ha, dista aproximadamente 11 km da zona central de Lavras, 200 m da rodovia BR 265, sentido Lavras/Itumirim, e seu acesso se dá por rodovia vicinal (CODEMA et al., 2017). Na Figura 4 pode-se observar o perímetro da área em questão.



Figura 4 – Área do antigo lixão de Lavras - MG.



Fonte: Google Earth (2017).

### 3.2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

No presente estudo foi realizada uma pesquisa quali-quantitativa por meio de informações coletas em empresas caçambeiras existentes no município de Lavras que descartam RCD na área de estudo, além de uma composição gravimétrica dos RCD descartados, provenientes das mesmas empresas, na área durante uma semana.

Inicialmente foram realizadas reuniões as empresas, nos dias 11/12/2018 e 13/02/2019, a fim de firmar uma parceria entre elas e o projeto e também para aplicar um questionário inicial (Quadro 4), necessário para o levantamento das informações das empresas (REIS, J. M., 2019).

Quadro 4 – Questionário inicial às empresas participantes do estudo.

<b>Questionário Resíduos de Construção e Demolição (RCD)</b>
<b>Nome do entrevistado:</b>
<b>Nome da empresa:</b>
<b>Contato:</b>
<b>1) Qual o porte da empresa?</b>
Pequeno ( ) Médio ( ) Grande ( )
<b>2) Qual o número de caçambas disponíveis?</b>

<b>Resposta:</b>
<b>3) Qual o tamanho de cada caçamba? (Volume)</b>
<b>Resposta:</b>
<b>4) Como funciona a contratação dos serviços?</b>
Telefone ( ) E-mail ( ) Presencial ( ) Outro:
<b>5) Qual a frequência dos serviços?</b>
Diário ( ) Semanal ( ) Quinzenal ( ) Mensal ( )
<b>6) Qual a disposição final dos resíduos?</b>
Lixão de Lavras ( ) Outro:
<b>7) Como é feito o transporte dos resíduos?</b>
<b>Resposta:</b>
<b>8) Qual tipo de veículo utilizado para o transporte dos resíduos?</b>
<b>Resposta:</b>
<b>9) Quantas vezes por dia o transporte é feito?</b>
<b>Resposta:</b>
<b>10) O Sr. Saberá informar qual classe de resíduos normalmente armazena e transporta? (Citar as classes)</b>
Classe A ( ) Classe B ( ) Classe C ( ) Classe D ( )
<b>11) Há alguma área de transbordo para o acondicionamento antes do Lixão?</b>
Sim ( ) Não ( )
<b>12) Sabe que esses resíduos precisam de destinação ambientalmente adequada?</b>
Sim ( ) Não ( )
<b>13) O Sr conhece a Lei CONAMA nº 307/2002 que trata dos Resíduos de Construção Civil (RCC)? (Mostrar a lei)</b>
Sim ( ) Não ( )
<b>14) Apoiaria a criação do Plano de Gestão de Resíduos da Construção Civil para o descarte e tratamento correto?</b>
Sim ( ) Não ( )
<b>Observações:</b>

Fonte: REIS (2019).

O objetivo desse formulário foi obter uma visão geral sobre o conhecimento das empresas em relação às legislações ambientais vigentes, sobre a importância de se realizar uma destinação ambientalmente correta e, também, buscar o apoio delas no trabalho, uma

vez que a responsabilidade pelos resíduos é compartilhada, conforme especificado na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

### 3.2.1. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Após reuniões com a prefeitura e com as empresas participantes a respeito da dinâmica do trabalho que seria desenvolvido, definiu-se um cronograma geral (Quadro 5) com um resumo das atividades a serem cumpridas. O cronograma engloba tanto a etapa de quantificação, quanto a de caracterização gravimétrica, que seria realizada com os resíduos das próprias caçambas, descartadas em uma área específica. Tal cronograma englobava a disponibilidade da equipe do trabalho, da Prefeitura e das empresas participantes e era um direcionamento para o que seria feito.

Quadro 5 – Cronograma geral das atividades.

Macroetapa	Microetapa
Quantificação do volume dos RCD gerado pelas empresas participantes durante um período de oito semanas. <u>OBS:</u> foram feitas duas análises, uma entre março e abril de 2019 e outra entre setembro de outubro de 2019, de forma a atender duas épocas do ano.	Entrega do formulário inicial (Quadro 4) às empresas e explicação de seu preenchimento.
	Busca dos formulários referente à semana anterior e entrega do próximo a ser preenchido. <u>Periodicidade:</u> a cada 15 dias.
	Envio de mensagem a todas as empresas, alertando sobre o preenchimento do formulário naquela semana. <u>Periodicidade:</u> toda semana (domingo ou segunda-feira).
	Computação dos dados. <u>Periodicidade:</u> quando um novo formulário era recolhido.
	Estimativa do volume de resíduos presente nos níveis pela metade e muito cheia das caçambas analisadas (3, 4 e 6 m <sup>3</sup> ) por meio do programa AutoCAD.
	Análise dos dados, resultando no volume dos RCD (em m <sup>3</sup> ) levado à área de descarte por cada empresa diariamente, semanalmente e mensalmente.
Caracterização gravimétrica dos RCD descartados pelas	Estimativa da área de isolamento para o descarte dos RCD por uma semana das empresas que geraram resíduos nos períodos de análise da quantificação.



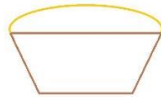
empresas participantes na área de interesse.	Isolamento da área calculada com placas e faixas para que somente aquelas empresas descartassem, para que fosse criada uma amostra representativa.
	Reunião com as empresas participantes da gravimetria para explicar o que é a caracterização e como será feito o descarte.
	Reunião com a Prefeitura para levantamento dos materiais, equipamentos e mão de obra necessários.
	Formação da equipe de execução e planejamento do dia da caracterização.
	Caracterização gravimétrica e análise dos dados.

Fonte: Do autor (2019).

### 3.3. QUANTIFICAÇÃO DOS RCD: APLICAÇÃO DO FORMULÁRIO

Para a estimativa do volume dos RCD descartado na área pelas nove empresas participantes, foi utilizada uma metodologia de investigação em campo, em que os dados foram obtidos por meio do preenchimento de um formulário (Quadro 6). A periodicidade de preenchimento deste formulário diária e continha informações do número de caçambas que eram levadas à área de disposição dos resíduos naquele dia, qual o volume da respectiva caçamba e se esta estava pela metade, cheia ou muito cheia. O preenchimento foi feito pelo responsável do transporte das caçambas à área de descarte.

Quadro 6 – Formulário de quantificação dos RCD gerados pelas empresas.

<b>Empresa:</b> _____				
<b>Responsável:</b>				
<b>Data:</b>			<b>Contato:</b>	
Horário	Volume da caçamba (m <sup>3</sup> )	Caçamba pela metade (abaixo do nível) 	Caçamba cheia (no nível) 	Caçamba muito cheia (acima do nível) 

Fonte: REIS (2019).

O preenchimento do formulário seguiu a seguinte dinâmica:

- i. O responsável pelo transporte das caçambas na empresa preenchia uma linha toda vez em que era descartada uma caçamba no local. Era necessário que especificasse o horário, o volume daquela caçamba (3, 4 ou 6 m<sup>3</sup>) e seu nível, ou seja, se estava pela metade, cheia ou muito cheia.
- ii. Após uma semana de preenchimento, recolhia-se o formulário preenchido nas empresas e entregava o formulário da semana seguinte.
- iii. Realizava-se a computação dos dados semanalmente, permitindo uma maior precisão nas informações, sem que houvessem erros ou confusão por parte das empresas e da equipe do projeto.

Repetiu-se o procedimento no segundo semestre de 2019, porém, uma das empresas mudou de local e não retornaram os contatos da equipe do projeto, sendo assim, foram contabilizados a geração de cinco empresas no segundo semestre. O período da segunda coleta dos dados foi entre 15/08/2019 e 10/10/2019, também totalizando oito semanas.

### 3.4. DEFINIÇÃO DO VOLUME DOS RCD NA CAÇAMBA

Para estimar o volume total de resíduos nas caçambas foi preciso utilizar o software AutoCAD Civil 3D, uma vez que os níveis (pela metade, cheia e muito cheia) eram determinados visualmente pelos operários responsáveis pelo preenchimento dos formulários. Para isso, foram feitas medições a campo (Figuras 5 e 6) de todas as dimensões das três caçambas (3, 4 e 6 m<sup>3</sup>), para que fosse estimado o volume de resíduos em cada um dos níveis.

Para o nível da caçamba cheia considerou-se o seu respectivo volume (3, 4 ou 6 m<sup>3</sup>) e o resultado dos cálculos dos volumes para as caçambas pela metade e super cheia encontram-se no Apêndice A.

Figura 5 – Modelo de uma das caçambas medidas.



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 6 – Medição das dimensões da caçamba.



Fonte: Do Autor (2019).

### 3.5 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RCD

Para quantificação dos RCD nas Classes A, B, C e D, foi realizado a composição gravimétrica dos RCD descartados durante 1 (uma) semana pelas seis empresas caçambeiras (A, B, C, D, E, F) na área de estudo.

Para que fosse possível realizar a caracterização, foi necessário estudar a melhor forma de se obter uma amostra representativa, conforme a NBR 10.007 (ABNT, 2004). Para melhor efeito de comparação, apenas as empresas que geraram resíduos no período de quantificação participaram da amostragem da gravimetria, ou seja, as Empresas A, B,

C, D, E e F. A partir disso, as seis empresas depositaram seus resíduos durante uma semana em uma área fechada.

O período de descarte de resíduos das seis empresas na área determinada foi de uma semana, compreendendo os dias entre 06/06/2019 e 13/06/2019, e a análise gravimétrica foi no dia seguinte ao final desse período, no dia 14/06/2019. Essa etapa foi realizada apenas uma vez.

Após uma semana de coleta obteve-se uma pilha composta por uma grande variedade de resíduos, dentre eles resíduos da construção civil e resíduos sólidos urbanos (Figura 7).

Figura 7 – Pilha de resíduos descartados pelas seis empresas durante uma semana.



Fonte: Do Autor (2019).

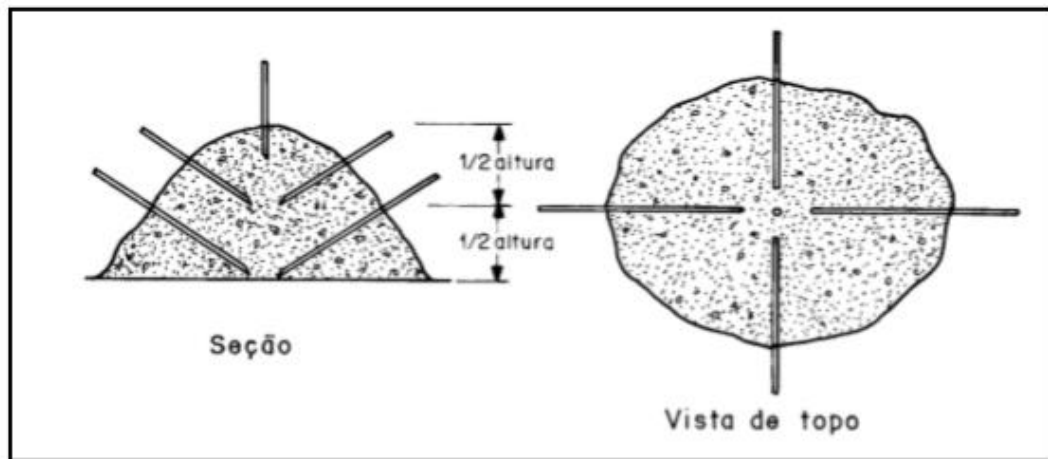
Segundo a NBR 10.007/2004 que define a amostragem de resíduos sólidos, a pilha ou monte é qualquer acúmulo de resíduo não contido, que não apresente escoamento superficial. Sendo assim, o acúmulo dos RCD coletados durante a semana resultou em uma pilha de resíduos.

Para obtenção da amostragem final a ser separada utilizou-se do método de quarteamento. Trata-se de um método utilizado quando se deseja reduzir o volume de uma amostra para viabilizar a caracterização gravimétrica dos resíduos. No caso de resíduos da construção civil, esse processo é muito necessário devido ao volume muito grande e das características de difícil manuseio.

O método de quartearamento é um processo no qual a amostra é dividida em quatro partes iguais após uma pré-homogeneização, em que são tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartar as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas e o processo de quartearamento é repetido até que se obtenha um volume desejado (ABNT 10007/2004, p.1).

Primeiramente, os resíduos foram misturados por uma retroescavadeira, depois, foi necessário retirar quatro amostras de três pontos da pilha de resíduos (do topo, do meio e da base), conforme a metodologia ilustrada na Figura 8, para que assim, pudesse separar a amostra em quatro partes e realizar o método de quartearamento.

Figura 8 – Pontos de retirada das amostras para o processo de quartearamento.

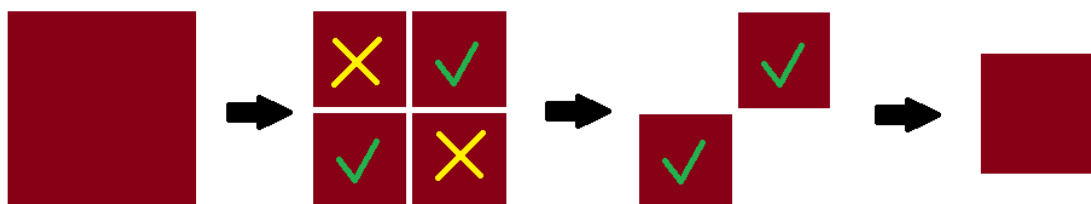


Fonte: NBR 10.007/2004.

Assim, houve uma redução da amostra original de uma forma representativa, permitindo que o processo de quartearamento fosse realizado, que dividiu a nova amostra em quatro partes aparentemente iguais e pré-homogeneizada. Em seguida, foram tomadas duas partes opostas entre si e as outras foram descartadas, como ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Diagrama do processo de quartearamento.

Fonte: Do Autor (2019).





As partes não descartadas foram misturadas e o processo de quartejamento repetiu-se até que fosse atingida a oitava parte aparente da amostra inicial (Figura 10). Não foi possível mensurar o volume final atingido, este foi definido a olho nu.

Figura 10 – Retroescavadeira realizando o método do quartejamento da amostra.



Fonte: Do Autor (2019).

Após a obtenção da amostragem final, procedeu-se com a segregação manual dos resíduos com uma equipe de 10 pessoas. A separação foi feita respeitando as classes e os tipos, por exemplo, além de separar classe A de B, foi separado também o solo do concreto (ambos classe A), para que fosse possível depois saber qual resíduo estava em maior quantidade.

Após a etapa de segregação dos resíduos, estes foram colocados em recipientes de plásticos, do tipo “bombonas”, de 200 litros de capacidade, para aferimento das respectivas massas (Figura 11).

Figura 11 – “Bombonas” de 200 litros enumeradas para armazenamento e pesagem dos resíduos.



Fonte: Do Autor (2019).

Após os resíduos serem colocados nas “bombonas”, essas foram posicionadas em cima uma Balança Mecânica Micheletti com capacidade de 300 kg, onde foram aferidas sua massa. Anotava-se a massa total (bombona + resíduos), em quilogramas, e a respectiva classe do resíduo que estava sendo pesado. Posteriormente, a massa das “bombonas” foram subtraídas do valor anotado, obtendo assim, as massas dos resíduos em campo. Com isso, foram somados os pesos (Figura 12).

Figura 12 – Pesagem e anotação da massa dos resíduos.



Fonte: Do Autor (2019).

Todos os participantes da caracterização gravimétrica utilizaram Equipamentos de Proteção Individual (EPI).

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para a estimativa da quantidade de resíduos descartados na área de estudo, foi levantado, junto à prefeitura municipal de Lavras - MG, o número de empresas cadastradas e autorizadas a descartarem seus resíduos na área do antigo lixão, obtendo-se uma lista de dezessete empresas. Após ter sido realizado o contato telefônico e/ou visita *in loco* com todas as empresas, para que fosse explicado o estudo e seus objetivos, obteve-se retorno de nove empresas que concordaram em participar do projeto.

Por uma questão de ética, os nomes das empresas foram ocultados nesse trabalho e para que fosse feita a análise comparativa e a descrição dos resultados, adotou-se as seguintes denotações: Empresa A, Empresa B, Empresa C, Empresa D, Empresa E, Empresa F, Empresa G, Empresa H, Empresa I (totalizando nove empresas).

Após dois meses de preenchimento, com os dados contabilizados pode-se estimar a geração dos resíduos em seis empresas (A, B, C, D, E, F), visto que três delas (G, H, I) não tiveram nenhum descarte na área no período analisado. Não se obteve informações se essas empresas possuíam outro local para descarte. Para uma melhor comparação entre os resultados, o estudo prosseguiu apenas com essas seis empresas geradoras.

Após o preenchimento diário do formulário de quantificação dos RCD (Quadro 6) durante oito semanas por 6 (seis) das 9 (nove) empresas participantes no primeiro período de análise, foi possível contabilizar a quantidade de resíduos descartados na área durante os dois primeiros meses de estudo.

A Tabela 2 demonstra o resultado da quantificação dos resíduos no primeiro período da análise, ou seja, entre os meses de março e maio de 2019.

O maior volume gerado durante uma semana por cada empresa foi utilizado para estimar a área de descarte necessária para a amostra da caracterização gravimétrica. Com isso, obteve-se: Empresa A 198 m<sup>3</sup>, Empresa B 95 m<sup>3</sup>, Empresa C 120,52 m<sup>3</sup>, Empresa D 136 m<sup>3</sup>, Empresa E 70,08 m<sup>3</sup> e Empresa F 83,99 m<sup>3</sup>. O somatório desses volumes representa o volume máximo de resíduos que pode vir a ser depositado pelas seis empresas na área em uma semana, segundo os dados coletados. O volume em questão foi de 703,59 m<sup>3</sup> dos RCD depositados por semana. Esse valor é uma superestimação para

o planejamento da UTR, uma vez que considera uma situação hipotética de descarte máximo das empresas, e não o médio.

Para as análises foi utilizado a soma dos volumes totais da Tabela 2, resultando em 3.684,84 m<sup>3</sup> dos RCD descartados na área do antigo lixão durante oito semanas pelas seis empresas analisadas. Para isso, foram consideradas apenas as caçambas que saiam das obras e eram levadas para o local de descarte, podendo passar, ou não, por área de transbordo. Com isso, esse resultado representa o volume de resíduos levados à área, podendo ou não ser a geração total da empresa.

Como o volume total encontrado na análise de dois meses foi de 3.684,84, o volume mensal médio de resíduos encaminhados a área de descarte foi de 1.842,42 m<sup>3</sup>. Para a estimativa da taxa de geração de RCD em toneladas, adotou-se uma massa específica de 1200 kg/m<sup>3</sup>, conforme PINTO & GONZÁLES (2005). A partir disso, resulta em 2.210,9 toneladas por mês. Considerando que foram levadas caçambas para o descarte durante seis dias na semana, tem-se 92,12 toneladas por dia. Sendo assim, a UTR pode ser planejada para receber em torno dessa quantidade.

Tabela 2 – Quantificação dos RCD em seis empresas caçambeiras de março a maio de 2019.

Período	Quantidade dos RCD descartados na área (Kg)					
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F
1ª SEMANA (18/03 a 28/03)	132,25 m <sup>3</sup>	35,86 m <sup>3</sup>	78,19 m <sup>3</sup>	64,00 m <sup>3</sup>	70,08 m <sup>3</sup>	31,56 m <sup>3</sup>
2ª SEMANA (25/03 a 30/03)	150,84 m <sup>3</sup>	23,10 m <sup>3</sup>	69,68 m <sup>3</sup>	70,18 m <sup>3</sup>	35,24 m <sup>3</sup>	48,75 m <sup>3</sup>
3ª SEMANA (01/04 a 06/04)	198,00 m <sup>3</sup>	24,00 m <sup>3</sup>	120,52 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	58,50 m <sup>3</sup>	43,56 m <sup>3</sup>
4ª SEMANA (08/04 a 13/04)	181,67 m <sup>3</sup>	28,51 m <sup>3</sup>	57,68 m <sup>3</sup>	0,00 m <sup>3</sup>	56,17 m <sup>3</sup>	43,15 m <sup>3</sup>
5ª SEMANA (14/04 a 20/04)	100,00 m <sup>3</sup>	65,67 m <sup>3</sup>	85,94 m <sup>3</sup>	52,00 m <sup>3</sup>	68,00 m <sup>3</sup>	56,57 m <sup>3</sup>
6ª SEMANA (22/04 a 27/04)	151,68 m <sup>3</sup>	43,60 m <sup>3</sup>	65,42 m <sup>3</sup>	112,00 m <sup>3</sup>	31,49 m <sup>3</sup>	52,89 m <sup>3</sup>
7ª SEMANA (29/04 a 04/05)	149,42 m <sup>3</sup>	76,50 m <sup>3</sup>	97,68 m <sup>3</sup>	136,00 m <sup>3</sup>	66,17 m <sup>3</sup>	70,49 m <sup>3</sup>
8ª SEMANA (06/05 a 11/05)	173,42 m <sup>3</sup>	95,00 m <sup>3</sup>	76,00 m <sup>3</sup>	96,00 m <sup>3</sup>	57,42 m <sup>3</sup>	83,99 m <sup>3</sup>
TOTAL	1.237,28 m <sup>3</sup>	392,24 m <sup>3</sup>	651,11 m <sup>3</sup>	530,18 m <sup>3</sup>	443,07 m <sup>3</sup>	430,96 m <sup>3</sup>

Fonte: Do Autor (2019).

O segundo período de quantificação foi realizado da mesma forma, porém considerando apenas as empresas A, B, C, D, E, pois a empresa F não pode contribuir com os dados dessa segunda quantificação.

A Tabela 3 demonstra o resultado da quantificação dos resíduos no segundo período da análise, ou seja, entre os meses de agosto e outubro de 2019. Observa-se que a quantificação realizada no segundo semestre de 2019 demonstrou que a Empresa A, C e D apresentaram uma pequena diminuição em relação a primeira análise, sendo que a Empresa D teve um pequeno aumento e a Empresa B um aumento.

O volume total de resíduos obtido foi de 3.225,81 m<sup>3</sup> RCD descartados na área durante as oito semanas, como na segunda quantificação foram contabilizados os resíduos de cinco empresas, e não seis como na primeira análise, o volume total estimado foi menor.

Como ferramenta de comparação entre as duas quantificações, calculou-se o volume médio dos RCD enviado a área pelo número de empresas participantes. Sendo assim, o volume total da primeira análise foi dividido por seis, resultando em 614,14 m<sup>3</sup>, e o da segunda análise por cinco, resultando em 645,16 m<sup>3</sup> (volume médio por empresa). Com isso, pode-se observar que apesar de terem sido analisadas menos empresas na segunda quantificação, de uma forma geral, houve um crescimento médio de 5,05% no volume dos RCD gerados no segundo semestre de 2019.

Tabela 3 – Quantificação dos RCD em cinco empresas caçambeiras de agosto a outubro de 2019.

Período	Quantidade dos RCD descartados na área (Kg)				
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
1ª SEMANA (18/03 a 28/03)	78,00 m <sup>3</sup>	51,02 m <sup>3</sup>	92,00 m <sup>3</sup>	80,00 m <sup>3</sup>	54,84 m <sup>3</sup>
2ª SEMANA (25/03 a 30/03)	110,42 m <sup>3</sup>	27,09 m <sup>3</sup>	89,42 m <sup>3</sup>	60,00 m <sup>3</sup>	62,84 m <sup>3</sup>
3ª SEMANA (01/04 a 06/04)	126,00 m <sup>3</sup>	27,85 m <sup>3</sup>	80,00 m <sup>3</sup>	64,00 m <sup>3</sup>	42,84 m <sup>3</sup>
4ª SEMANA (08/04 a 13/04)	100,00 m <sup>3</sup>	23,34 m <sup>3</sup>	77,42 m <sup>3</sup>	132,00 m <sup>3</sup>	61,42 m <sup>3</sup>
5ª SEMANA (14/04 a 20/04)	85,11 m <sup>3</sup>	24,76 m <sup>3</sup>	74,84 m <sup>3</sup>	88,00 m <sup>3</sup>	43,35 m <sup>3</sup>
6ª SEMANA (22/04 a 27/04)	178,75 m <sup>3</sup>	6,84 m <sup>3</sup>	85,42 m <sup>3</sup>	112,00 m <sup>3</sup>	81,92 m <sup>3</sup>
7ª SEMANA (29/04 a 04/05)	102,00 m <sup>3</sup>	89,43 m <sup>3</sup>	88,00 m <sup>3</sup>	80,00 m <sup>3</sup>	74,44 m <sup>3</sup>
8ª SEMANA (06/05 a 11/05)	142,00 m <sup>3</sup>	157,25 m <sup>3</sup>	110,84 m <sup>3</sup>	64,00 m <sup>3</sup>	96,36 m <sup>3</sup>
TOTAL	922,28 m <sup>3</sup>	407,58 m <sup>3</sup>	697,94 m <sup>3</sup>	680,00 m <sup>3</sup>	518,01 m <sup>3</sup>

Fonte: Do Autor (2019).

Na Tabela 4 é apresentado o resultado da segunda etapa do trabalho, a caracterização gravimétrica dos RCD. Observou-se que 96,87%, em massa dos resíduos pertenceram a classe A, isso ocorreu, pois o solo e o concreto se enquadram em resíduos classe A e apresentam maior densidade na amostra analisada, seguido dos resíduos classe B, com aproximadamente 257 kg, mas com uma porcentagem significativamente menor. O maior índice dessas duas classes indica a viabilidade de implantação de uma Usina de Triagem e Reciclagem (UTR) na área de descarte dos resíduos, uma vez que os resíduos de classe A podem ser triturados e incorporados a outros produtos e os de classe B podem ser reciclados e vendidos no mercado com valor agregado (valorização). Os resíduos da classe C tiveram valores insignificantes e não foram contabilizados nos estudos.

Tabela 4 – Caracterização gravimétrica dos RCD.

<b>Classes</b>	<b>Resíduos</b>	<b>Massa Final (kg)</b>	<b>% Final</b>	<b>Total por classe (kg)</b>	<b>Total por classe (%)</b>
<b>A</b>	Argamassa	-	-	<b>12.071,95</b>	<b>96,87</b>
	Bloco de Rocha	68,217	0,547		
	Cerâmica	853,671	6,850		
	Concreto	4291,882	34,438		
	Solo	6612,496	53,059		
	Telha	29,000	0,233		
	Tijolo	216,687	1,739		
	Embalagens vazias de tintas imobiliárias	1,400	0,011		
<b>B</b>	Gesso	29,639	0,238	<b>256,92</b>	<b>2,06</b>
	Madeira	147,653	1,184		
	Metais (Fios/Arames)	15,800	0,127		
	Papel/Papelão	26,875	0,216		
<b>D</b>	Plástico/PVC	21,373	0,172	<b>16,57</b>	<b>0,13</b>
	Vidro	14,178	0,114		
	Amianto	15,173	0,122		
<b>RSU</b>	Solvente + Lata	1,400	0,011	<b>28,40</b>	<b>0,23</b>
<b>Outros (capina)</b>	RSU	28,400	0,228	<b>88,76</b>	<b>0,94</b>
	Capina	88,755	0,712		
<b>TOTAL</b>		<b>12462,60</b>	<b>100,00</b>	<b>12.462,60</b>	<b>100,23</b>

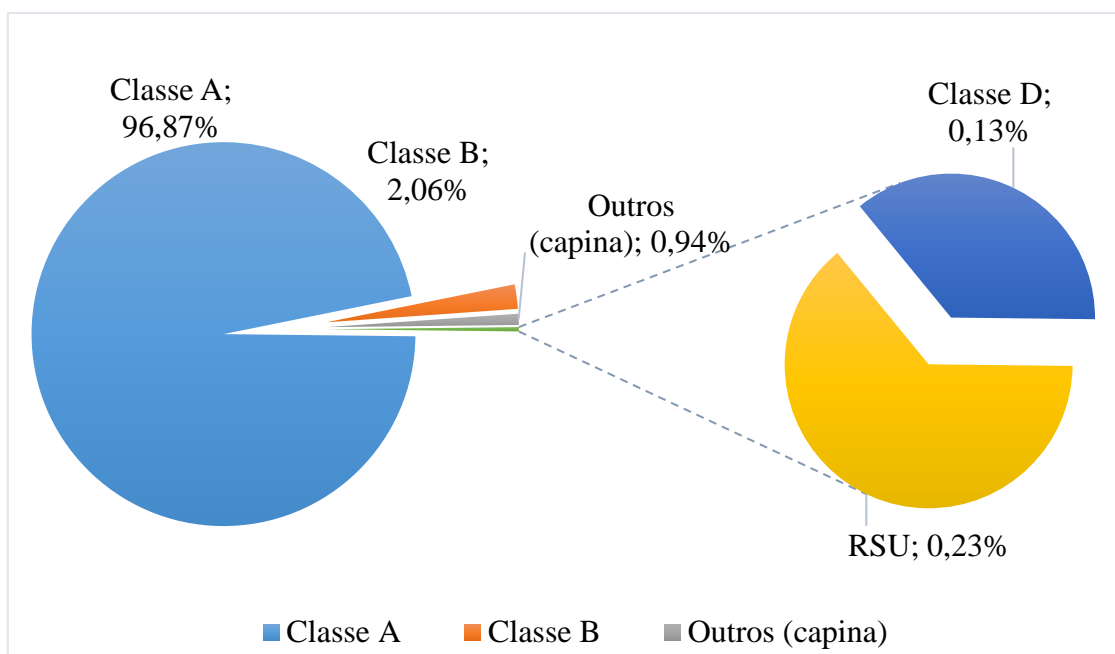
Fonte: Do Autor (2019).



Algumas observações a respeito dos resíduos descritos na Tabela 4 são que o resíduo “Solvente + Lata” estava contaminado com o líquido, por isso foi classificado como classe D e que os resíduos “Papel/Papelão” e “Plástico/PVC” eram apenas aqueles provenientes de construções civis, os domiciliares foram classificados como RSU.

A partir da Figura 13, observou-se a predominância de resíduos da classe A, seguido da classe B e os resíduos da classe D obtiveram valores baixos, com 16,57 kg, mas ainda são preocupantes devido presença principalmente de telhas de amianto, nocivas à saúde. Apesar de ser preocupante, a quantidade pequena de amianto na análise demonstra que já existe pouco desse material nas obras.

Figura 13 – Classes dos RCD obtidas na caracterização gravimétrica.



Fonte: Do Autor (2019).

Além dos RCD classificados pela Resolução CONAMA n° 307/2002, houve a presença de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), devido provavelmente ao descarte incorreto de resíduos nas caçambas na cidade pela população. Além disso, houve uma quantidade significativa de capina e solo, que demonstram a alta limpeza de lotes no município.

Uma análise em Ji-Paraná – RO também realizou a caracterização gravimétrica dos RCD do município e os resultados encontrados foram muito semelhantes aos do município de Lavras. Sendo assim, os resultados da caracterização gravimétrica deste trabalho corroboram com os encontrados em Ji-Paraná, que identificou que os resíduos

Classe A representaram expressivos 97% do total de RCC analisados. Como conclusão, os autores mostraram que 99,35% dos resíduos gerados em Ji-Paraná (RO), poderiam ser reciclados ou reutilizados e ressaltariam a relevância de uma gestão eficiente dos resíduos de construção e demolição, que promovesse um manejo adequado dos resíduos, assim como o investimento em usinas de reciclagem de RCC e aterros específicos no município. (OROZCO, M. M. D.; FREDERICO, F. H., 2015)

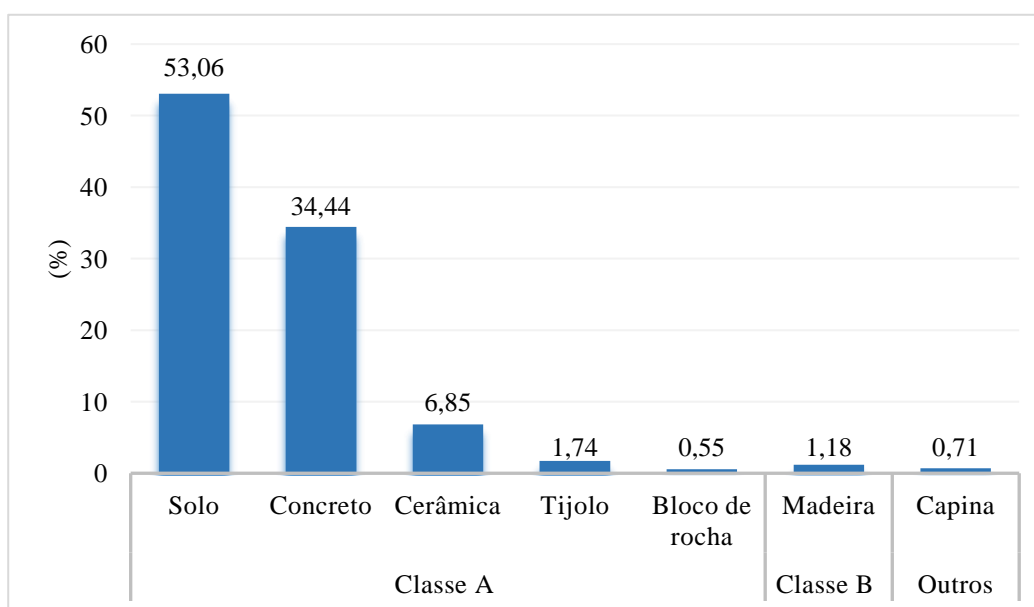
Além disso, esses resultados vão de acordo com o trabalho de caracterização do Resíduo da Construção Civil da cidade de Cascavel – PR, que demonstraram que o resíduo presente em maior quantidade na análise foi a argamassa (36,6%), que não se apresentou no presente estudo, seguido do material cerâmico (33,3%) e do concreto (16,5%), todos pertencentes à Classe A. Segundo o trabalho, os resíduos recicláveis como madeira (5,6%), papel (2,8%), metal (2,4%) e plástico (1,5%) apareceram em menor percentagem e os resíduos não recicláveis e perigosos aparecem em porcentagens muito baixas na amostra, sendo 1,1% e 0,30% respectivamente. Nessa caracterização foi encontrado apenas amianto (telhas de fibrocimento) como resíduo Classe D. (KOCHEM, K.; DUTRA, M. L.; POSSAN, E., 2017).

Comparando com a caracterização gravimétrica realizada, o resíduo mais representativo em massa foi o solo (53,1%), o material cerâmico que foi o segundo em Cascavel - PR, em Lavras foi de 6,85% e o concreto 34,5%.

Apesar da porcentagem de resíduos Classe A encontrada na cidade de Cascavel – PR (86,29%) ter sido menor que o encontrado nos municípios de Lavras – MG (96,87 %) e Ji-Paráíso – RO (97%), ela ainda foi bastante alta e consideravelmente predominante nos resíduos levados a uma área de descarte.

Analisando a Figura 14, pode-se observar que os principais resíduos encontrados na amostra, em que o solo foi o que apareceu em maior quantidade, seguido do concreto, cerâmica e tijolo, todos classe A. A presença de madeira e capina, apesar de muito baixa quando comparada aos outros resíduos mencionados acima, deve ser considerada uma vez que também é necessário pensar em soluções para esses resíduos na usina.

Figura 14 – Principais resíduos encontrados na caracterização gravimétrica.



Fonte: Do Autor (2019).

Como já mencionado, a maior porcentagem presente na amostra foram resíduos Classe A, principalmente por solo, que demonstra a alta atividade de limpeza de lotes e obras de terraplanagem no município de Lavras – MG. Destaca-se também a geração de concreto, indicando um elevado índice de reformas na construção civil, principalmente obras de demolições no município.

## 5. CONCLUSÃO

A partir das análises quantitativa e qualitativa dos Resíduos de Construção e Demolição encaminhados a área do antigo lixão no município de Lavras – MG pelas empresas participantes do estudo, conclui-se a viabilidade e necessidade de implantação de uma Usina de Triagem e Reciclagem no local de recebimento desses resíduos, uma vez que grande parte dos resíduos são Classe A (96,87%).

Percebe-se que dentre os materiais gerados em obras civis, construções e demolições no município, os que estiveram em maior quantidade foram os pertencentes às classes passíveis de reaproveitamento e/ou reciclagem, o que afirma o planejamento de construção de uma UTR.

Dentre as vantagens da construção, está a destinação ambientalmente correta dos resíduos, o que melhora a qualidade ambiental do local, a exploração do potencial de reutilização dos resíduos como agregado na construção civil, diminuindo a exploração de

matéria prima e inserindo esses materiais novamente no mercado, além da geração de empregos e mão de obra na região.

Por fim, o grande volume de entulho levado a área de descarte diariamente indica que a Prefeitura deveria investir na aquisição de infraestrutura e mão de obra para o recebimento desses resíduos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABELPRE. Panorama de Resíduos Sólidos. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10007: amostragem de resíduos - procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para o projeto, Implantação e Operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.114: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para o projeto, Implantação e Operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 307 de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de julho de 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 348 de 16 de agosto 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de agosto de 2004.

BOHNENBERGER, J. C., et al. Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. **Ambiente construído.** Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 299-311, 2018.

CARDOSO, A. C. F., GALATTO, S. L., GUADAGNIN, M. R. Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 31, 2014.

CODEMA - CONSELHO MUNICIPAL DE DEFESA E CONSERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD do Município de Lavras.** Lavras, 2017.

CREA-PR - CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO PARANÁ. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar: Resíduos Sólidos. **Agenda Parlamentar**, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2017 (PAIC). Rio de Janeiro: **Biblioteca do IBGE**, 2017. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic\\_2017\\_v27\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2017_v27_informativo.pdf)>. Acesso em: outubro de 2019.

KOCHEM, K., DUTRA, M. L., POSSAN, E. Caracterização do Resíduo da Construção Civil da cidade de Cascavel, PR. **XVIII Fórum Internacional de Resíduos Sólidos.** Curitiba, 2017.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.** Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LARUCCIA, M. M. **Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil**. Pesquisa ENIAC, Guarulhos, 2014.

MANFRINATO, J. W. S., ESGUÍCERO, F. J., MARTINS, B. L. Implementação de usina para reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC) como ação para o Desenvolvimento Sustentável – Estudo de Caso. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro, 2008.

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

MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento. **Deliberação Normativa COPAM n° 155 de 25 de agosto de 2010. Altera dispositivos da Deliberação Normativa COPAM n° 74, de 09 de setembro de 2004, incluindo na listagem E códigos de atividade para manejo e destinação de resíduos da construção civil e volumosos, e dá outras providências**. Diário Executivo do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 04 de setembro de 2010.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Manual para implantação de sistema de gestão de Resíduos de Construção Civil em consórcios públicos**. Brasília, 2010.

OLIVEIRA, D. M. **Desenvolvimento de Ferramenta Para Apoio à Gestão de Resíduos de Construção e Demolição Com Uso de Geoprocessamento: caso Bauru, SP. 2008**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

OROZCO, M. M. D., FREDEFRICO, F. H. **Composição gravimétrica, classificação e potencial de reciclagem dos Resíduos de Construção Civil produzidos em Ji-Paraná/RO**. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS). VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Porto Alegre/RS, 2015.

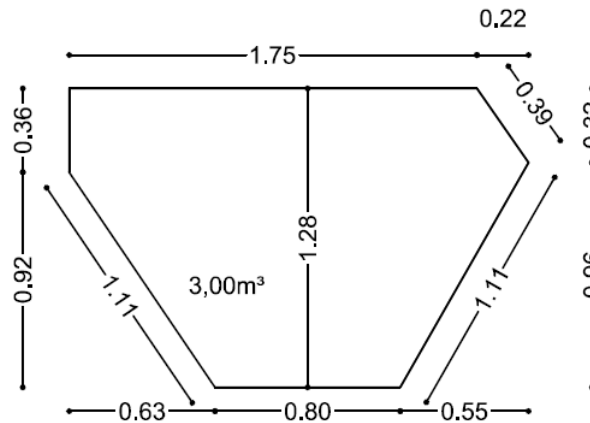
PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F.; LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 125-134, jul./set. 2012.

VALOTTO, D. **Busca de informação: gerenciamento de resíduos da construção civil em canteiro de obras**. Monografia (Graduação em Engenharia) – Universidade de Londrina, 2007.

## APÊNDICE A – Desenhos e medidas das caçambas de 3, 4 e 6 m<sup>3</sup> no AutoCAD para a quantificação dos resíduos

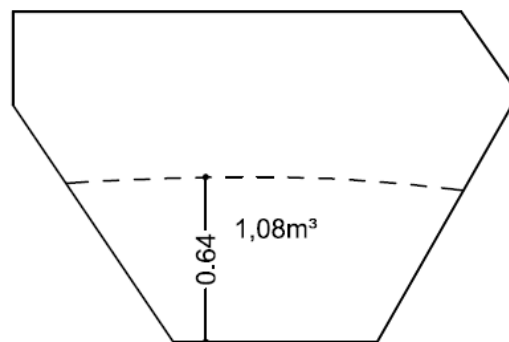
### 1. Caçamba de 3 m<sup>3</sup>

A partir das medições em campo, obteve-se as seguintes dimensões da caçamba de 3 m<sup>3</sup>:

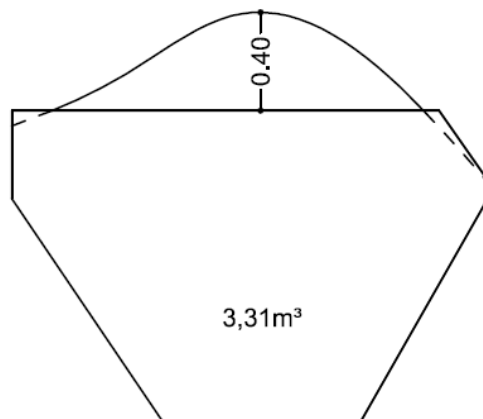


A partir de cálculos no AutoCAD, foi obtido os seguintes volumes para a caçamba pela metade e muito cheia de resíduos, sendo que para a caçamba cheia foi considerado o seu volume total, no caso, 3 m<sup>3</sup>:

Volume de resíduos quando a caçamba de 3 m<sup>3</sup> está pela metade (1,08 m<sup>3</sup>):

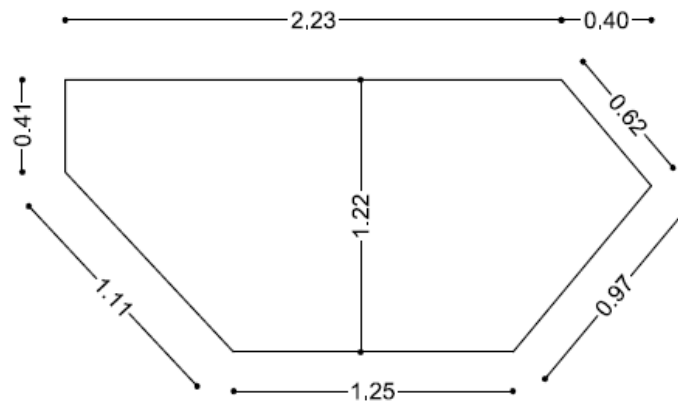


Volume de resíduos quando a caçamba de 3 m<sup>3</sup> está muito cheia, ou seja, acima do nível (3,31 m<sup>3</sup>):

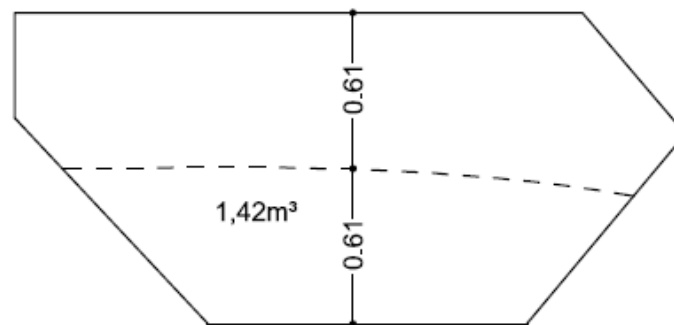


## 2. Caçamba de 4 m<sup>3</sup>

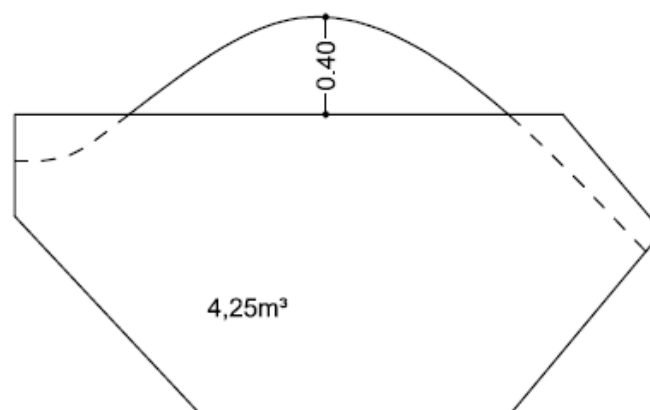
Seguindo a mesma dinâmica da caçamba anterior, as dimensões obtidas para a caçamba de 4 m<sup>3</sup> foram:



Volume de resíduos quando a caçamba de 4 m<sup>3</sup> está pela metade (1,42 m<sup>3</sup>):



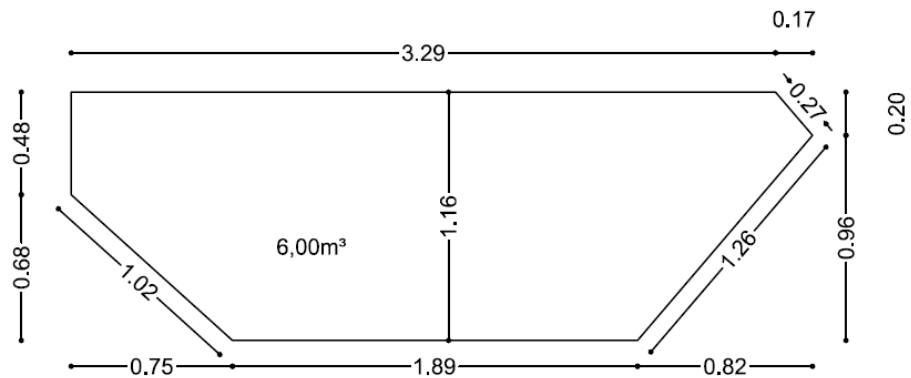
Volume de resíduos quando a caçamba de 4 m<sup>3</sup> está muito cheia, ou seja, acima do nível (4,25 m<sup>3</sup>):



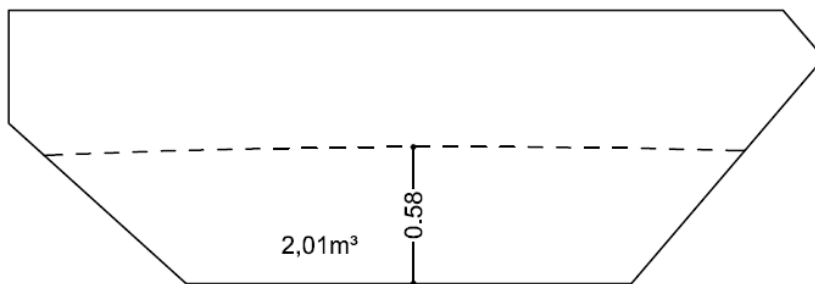


### 3. Caçamba de 6 m<sup>3</sup>

Seguindo a mesma dinâmica das caçambas anteriores, as dimensões obtidas para a caçamba de 6 m<sup>3</sup> foram:



Volume de resíduos quando a caçamba de 6 m<sup>3</sup> está pela metade (2,01 m<sup>3</sup>):



Volume de resíduos quando a caçamba de 6 m<sup>3</sup> está muito cheia, ou seja, acima do nível (6,86 m<sup>3</sup>):

