



RENAN CARVALHO BARRETO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA
PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO CLASSE A NA CIDADE E
REGIÃO DE LAVRAS - MG**

**LAVRAS – MG
2022**

RENAN CARVALHO BARRETO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO
DE USINA DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO CLASSE A NA CIDADE E REGIÃO DE LAVRAS -
MG**

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

Profª. Dra. Paula Assemany
Orientadora

**LAVRAS – MG
2022
RENAN CARVALHO BARRETO**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO
DE USINA DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO CLASSE A NA CIDADE E REGIÃO DE LAVRAS –
MG**

**TECHNICAL AND ECONOMIC-FINANCIAL FEASIBILITY FOR THE
IMPLEMENTATION OF A CLASS A SOLID CONSTRUCTION AND DEMOLITION
REUSE PLANT IN THE CITY AND REGION OF LAVRAS - MG**

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

_____ em 06 de Setembro de 2022.

Prof. Dra. Camila Silva Franco
Mestre Juliano Curi de Siqueira

UFLA
UFLA

Profª. Dra. Paula Assemany
Orientadora

LAVRAS - MG
2022
RESUMO

A disposição inadequada de resíduos sólidos da construção civil tornou-se um problema ambiental e social, com impactos negativos para a sociedade. O volume de resíduos cresceu significativamente acompanhando o crescimento exponencial da população dos centros urbanos. Como prática mitigadora e sustentável, este estudo busca demonstrar soluções para o reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil, propondo não só a preservação do meio ambiente e da saúde pública, mas também o benefício econômico-financeiro para os empreendimentos envolvidos. Assim, o objetivo principal foi de analisar a viabilidade técnica e econômico-financeira para implantação de usina de reaproveitamento de resíduos de construção e demolição classe A na cidade e região de Lavras - MG. Para o estudo inicial foi levantado o quantitativo de geração mensal de cada município, e a partir disso, foram propostos dois cenários, sendo um cenário 1 englobando apenas os resíduos de Lavras - MG e outro cenário 2, no qual foram considerados para a alimentação do empreendimento os resíduos dos 10 (dez) municípios do entorno de Lavras - MG; Para o levantamento de investimentos e custos administrativos e operacionais, foi realizada uma cotação de mercado com uma empresa do ramo. Já para a receita gerada, o levantamento foi baseado no recebimento das caçambas na usina e na venda do subproduto que é resultado do beneficiamento do processo de britagem. As informações foram levantadas a partir dos preços praticados por uma empresa com experiência no ramo, e dos resultados obtidos das duas pesquisas mercadológicas realizadas como informação complementar. O empreendimento se mostrou pouco viável para o investimento inicial de R\$ 2.667.495,00, se considerado o cenário 1 como referência, com 144,87 t/d de geração e receita de R\$ 144.157,22/mês, calculada através do recebimento dos resíduos das caçambas e da venda do material ecológico, obtendo estimativa de retorno em 19 meses. Para o cenário 2, com geração de 327,48 t/d e receita em R\$ 325.876,30/mês, com tempo de retorno de 9 meses. A viabilidade econômico-financeira é mais atrativa para um cenário com maior geração em toneladas por dia de resíduos de construção e demolição e, conseqüentemente, um tempo de retorno menor.

Palavras-chave: Beneficiamento. Brita ecológica. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The inadequate disposal of solid waste from civil construction has become an environmental and social problem, with negative impacts on society. The volume of waste grew significantly following the exponential growth of the population of urban centers. As a mitigating and sustainable practice, this study seeks to demonstrate solutions for the reuse of solid waste from civil construction, proposing not only the preservation of the environment and public health, but also the economic-financial benefit for the projects involved. Thus, the main objective was to analyze the technical and economic-financial feasibility for the implementation of a class A construction and demolition waste reuse plant in the city and region of Lavras - MG. For the initial study, the amount of monthly generation of each municipality was raised, and from that, two scenarios were proposed, being a scenario 1 encompassing only the residues of Lavras - MG and another scenario 2, in which they were considered for the feeding of the undertaking the waste of the 10 (ten) municipalities around Lavras - MG; For the survey of investments and administrative and operational costs, a market quotation was carried out with a company in the field. As for the revenue generated, the survey was based on the receipt of buckets at the plant and on the sale of the by-product that is the result of the processing of the crushing process. The information was collected from the prices charged by a company with experience in the field, and from the results obtained from the two market surveys carried out as complementary information. The project proved to be not very viable for the initial investment of R\$ 2,667,495.00, considering scenario 1 as a reference, with 144.87 t/d of generation and revenue of R\$ 144,157.22/month, calculated through the receipt of waste from buckets and sale of ecological material, obtaining an estimated return in 19 months. For scenario 2, with generation of 327.48 t/d and revenue of R\$ 325,876.30/month, with a payback period of 9 months. The economic-financial feasibility is more attractive for a scenario with greater generation in tons per day of construction and demolition waste and, consequently, a shorter payback time.

Keywords: Ecological gravel. Processing. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Municípios limítrofes de Lavras.	23
Figura 2 – Questionário.	29
Figura 3 - Curva de geração total diária de RCD.	32
Figura 4 - Fluxograma de entrada e saída de resíduos classe A.	37
Figura 5 - Layout da planta de britagem classe A	38
Figura 6 - Gráfico ilustrativo das respostas da pergunta 01.	44
Figura 7 - Gráfico ilustrativo das respostas da pergunta 02.	45
Figura 8 - Gráfico ilustrativo das respostas da pergunta 03.	46
Figura 9 - Gráfico ilustrativo das respostas da pergunta 04.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de RCD empresa E.	25
Tabela 2 - Quantitativo de geração de resíduos sólidos por município da região de estudo.	31
Tabela 3 - Percentual de RCD separados por classe em Lavras e Região.	32
Tabela 4 - Tipo e granulometria dos agregados.	34
Tabela 5 – Usina para reaproveitamento classe A.	35
Tabela 6 - Valores de equipamentos para investimento inicial.	36
Tabela 7 - Despesas com equipamentos de escritório.	36
Tabela 8 - Despesas com equipamentos de banheiros e vestiários.	36
Tabela 9 - Despesas com equipamentos de cozinha.	37
Tabela 10 - Despesas com equipamentos para guarita.	37
Tabela 11 - Despesas com Oficina mecânica.	37
Tabela 12 - Despesa global com bens essenciais.	37
Tabela 13 - Despesas fixas mensais.	39
Tabela 14 - Tabela de despesas fixas mensais com mão de obra.	40
Tabela 15 – Disposição das baias de acondicionamento.	41
Tabela 16 - Receita entrada de resíduos por metro cúbico cenário 1.	44
Tabela 17 – Receita entrada de resíduos por metro cúbico em cenário 2.	45
Tabela 18 - Preços brita convencional.	45
Tabela 19 - Preços brita ecológica.	46
Tabela 20 - Preço de revenda do subproduto ecológico em Lavras.	46
Tabela 21 - Receita cenário 1.	47
Tabela 22 - Receita cenário 2.	47
Tabela 23 – Cenário 1.	48
Tabela 24 – Cenário 2.	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Resíduos de Construção e Demolição (RCD)	13
3.2 Classificação dos RCD	14
3.2.1 Resíduos Classe A – Reutilizáveis ou Recicláveis como Agregados	14
3.2.2 Resíduos Classe B – Recicláveis para outras Destinações	15
3.2.3 Resíduos Classe C – Sem Tecnologia Economicamente Viável para Reciclagem	15
3.2.4 Resíduos Classe D – Perigosos Oriundos do Processos de Construção	15
3.3 Legislações pertinentes	16
3.3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos	16
3.3.2 Decreto Federal Nº 10.936, de 12 de Janeiro de 2022	17
3.3.3 Norma Técnica ABNT NBR 11.174/1990	17
3.3.4 Norma Técnica ABNT NBR 12.235/1992	18
3.3.5 Norma Técnica ABNT NBR 10.004/2004	18
3.3.6 Normas Técnicas ABNT NBR 15.116/2004 e 15.116/2021	18
3.3.7 Deliberação Normativa COPAM 155/2010	19
3.4 Panorama nacional da gestão de RCD	20
3.4.1. Panorama de RCD na cidade de Belo Horizonte - MG	21
3.5 Taxa para recebimento dos resíduos	22
3.6 Ecologia Industrial	22
4. METODOLOGIA	24
4.1. Área de estudo	24
4.1.1 Estimativa da geração de RCD na área de estudo	25
4.2 Local para instalação do empreendimento	25

	10
4.3 Estudos de casos	26
4.3.1 Estudo de caso para definição da composição dos RCD a serem gerados	26
4.3.2 Estudo de caso para definição das etapas produtivas do empreendimento	28
4.4 Insumos Operacionais	28
4.5 Preço para o recebimento do material	29
4.6 Análise do mercado	29
4.6.1 Pesquisa para definição do valor de revenda da brita ecológica	29
4.6.2 Pesquisa de aceitação da brita ecológica	30
4.7 Mercado de britas (estimativa do valor de revenda)	33
4.8 Cenários propostos	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Estimativa da quantidade de resíduos RCD na região de estudo	34
5.2 Custo de Instalação	36
5.3 Custo de Operação	40
5.4 Custo com Funcionários	42
5.5 Área dos resíduos triados	43
5.6 Pesquisa de Mercado	44
Quadro 1 - Comentários e dúvidas a respeito da brita ecológica.	46
5.7 Preço de entrada dos resíduos	47
5.8 Preço de venda do subproduto	48
5.9 Viabilidade econômica	50
6. CONCLUSÃO	
7. ANEXOS	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

A expansão dos municípios brasileiros e a renovação urbana se destacam de forma exponencial no século XXI. Considerando sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, a construção civil representa um importante papel na economia e desenvolvimento do país, segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2020). Porém, diante de todos os benefícios econômicos e sociais que o crescimento e desenvolvimento urbano apresentam, existem também significativos impactos negativos. O crescimento urbano acelerado intensifica o potencial poluidor das atividades humanas devido à geração de resíduos resultante deste processo.

A disposição de forma desordenada a céu aberto causa aumentos nos custos de limpeza pública, degradação de ambientes e esgotamento de áreas de descarte. Alguns impactos negativos no meio ambiente são a poluição do solo e da água e a destruição de paisagens. Destacam-se ainda a disposição irregular em logradouros públicos, vias, e rios, causando assoreamento dos corpos hídricos, poluição visual, proliferação de vetores, comprometimento da qualidade de vida urbana e geração de transtornos e prejuízos às cidades e seu entorno (KARPINSK, et al., 2009; MENDES et al., 2004; PASCHOALIN FILHO; DUARTE, 2015; SANCHEZ, 2013). Esses aspectos são consequência de uma gestão inadequada dos resíduos gerados, em volumes cada vez mais expressivos, causando alto impacto negativo nas esferas ambiental, econômica e social. Além disso, há a falta de consciência e indiferença da população para com esses resíduos, levando a descartes incorretos em voçorocas, bota foras e terrenos baldios.

As medidas adotadas para solucionar impactos negativos oriundos da construção civil têm caráter emergencial e corretivo. Outros aspectos, como, por exemplo, aumentos nos custos de limpeza pública, degradação ambiental, gastos com transporte e falta de áreas de destinação que atendam às exigências ambientais, levam o poder público a elaborarem possíveis alternativas de gestão (GONÇALVEZ 2015; MARQUES NETO, 2005).

Em locais onde não há uma triagem dos resíduos e nem uma análise de um possível reaproveitamento, os requisitos legais não são cumpridos, identificando-se a necessidade de melhorar a logística da disposição, armazenamento e encaminhamento desses resíduos para uma disposição ambientalmente adequada. Assim, há o objetivo de minimizar os impactos negativos ambientais na área de descarte e reintroduzir os resíduos de construção civil no processo produtivo. Para que o impacto ambiental seja o menor possível, cada tipo de resíduo requer um tratamento específico.

Dessa forma, fica evidente a necessidade de avançar, em todos os municípios, em direção à implantação de políticas públicas especificamente voltadas para o gerenciamento desses resíduos. A partir da Resolução nº. 307 de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA - BRASIL, 2002), criaram-se instrumentos para que o poder público atue na superação dessa realidade, definindo responsabilidades e deveres e tornando obrigatória em todos os municípios do país a implantação local de planos integrados de gerenciamento dos resíduos da construção civil.

Esta legislação específica, além de trazer pressupostos para a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), apresenta também algumas exigências como a reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo. Além do 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 (SILVA et al., 2006).

A reciclagem e reaproveitamento dos resíduos têm se mostrado alternativas viáveis, a fim de reintroduzir esses resíduos no ciclo produtivo, fazendo com que ganhem importância econômica e sejam utilizados como materiais alternativos. Consequentemente, há redução dos custos, consumo de matérias-primas e gastos com energia nesse setor (VAZZOLER et al., 2017).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica e econômico-financeira para implantação de usina de reaproveitamento de resíduos sólidos de construção e demolição classe A na cidade e região de Lavras - MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar de forma quanti e qualitativa a geração de resíduos de construção e demolição classe A dos municípios da região de Lavras-MG;
- Levantar custos econômicos para implantação do empreendimento;
- Propor cenários para o reaproveitamento dos resíduos classe A;

- Levantar a receita do empreendimento proveniente do recebimento dos resíduos e comercialização de materiais;
- Analisar a viabilidade técnica e econômico-financeira de cada cenário.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

Os RCD, também chamados de Resíduos da Construção Civil (RCC) por alguns autores, segundo a Resolução CONAMA nº 307 de 05 de julho de 2002 (BRASIL, 2022) são:

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

Em uma linguagem comum, os resíduos de construção civil são denominados de “entulho”. O entulho de construção é composto de restos e fragmentos de materiais. Por outro lado, o de demolição é constituído somente por fragmentos (BIOMASSA, 2019).

Logo, percebe-se que os RCD podem ser originados de diversas operações, tanto de construções, reformas, reparos e demolições, quanto de atividades industriais. 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.

Os RCD são, em quase sua totalidade, compostos por materiais de características sólidas, os quais se enquadram, segundo NBR 10.004 de 2004, na classe II-B, em sua maioria, como inertes (ABNT, 2004a). Os resíduos inertes são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004c), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme ABNT NBR 10.006 (ABNT, 2004b).

A legislação CONAMA 307/2002 (BRASIL, 2002) traz algumas exigências e definições para a elaboração do PGRCC. Dentre elas, cita-se conter as diretrizes técnicas e procedimentos para o programas e projetos do gerenciamento dos resíduos, o incentivo à re inserção 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 (SILVA et al., 2006).

Conforme disposto na Resolução CONAMA 307/2002 (BRASIL, 2002), os geradores devem priorizar a redução na geração dos resíduos. Posteriormente, devem buscar reutilizá-lo, reciclá-lo e, somente por fim, dispô-los em aterros Classe IIA para disposição final. Com isso, há uma necessidade de encontrar soluções eficientes para a gestão dos RCD e formas para descarte adequado, uma vez que seu volume gerado é alto e os impactos ambientais são diversos e expressivos.

3.2 Classificação dos RCD

Segundo a Resolução CONAMA nº 307 de 2002 atualizada (BRASIL, 2002b), tem-se uma classificação para esses resíduos como: Resíduos Classe A, Resíduos Classe B, Resíduos Classe C e Resíduos Classe D. A Resolução CONAMA 307/2002 sofreu atualizações nos anos de 2004 a 2015, resultando atualmente na Resolução vigente CONAMA 465 de 2015 (BRASIL, 2015).

3.2.1 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.

Para a tecnologia de tratamento dos resíduos Classe A propõe-se sua reutilização ou reciclagem na forma de agregados, para voltar ao ciclo produtivo reforçando a ideia de economia circular. Não sendo possível nenhuma das propostas, existe a possibilidade de serem encaminhados a áreas de aterro de RCD, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura (BRASIL, 2002).

3.2.2 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 CONAMA nº 431 de 24 de maio de 2011 (BRASIL, 2011). A Resolução nº 469/2015 (BRASIL, 2015) considera embalagens vazias de tintas imobiliárias aquelas cujo recipiente apresenta apenas um filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulo de resíduo de tinta líquida. Além disso, determina que as embalagens de tintas usadas na construção civil devem ser submetidas a sistema de logística reversa, conforme requisitos da Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

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

3.2.3 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 (BRASIL, 2002). Pode-se trazer como exemplos resíduos de isopor e fio de nylon.

3.2.4 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 produto nocivo 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” (BRASIL, 2002).

3.3 Legislações pertinentes

3.3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) marcou o cenário de resíduos no Brasil quando foi aprovada a Lei 12.305 em 2010. A legislação traz a definição de resíduos sólidos como:

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

A Lei n° 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 (BRASIL, 2010).

Neste quesito a lei traz 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.

Além da responsabilidade compartilhada, a legislação traz aspectos de definição para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos, os quais devem atender a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada.

3.3.2 Decreto Federal Nº 10.936, de 12 de Janeiro de 2022

A última atualização da PNRS foi sancionada no ano de 2022 através do decreto nº 10.936 (BRASIL, 2022). As principais alterações do novo decreto atuam em quatro principais pontos. O primeiro deles é em relação a logística reversa, que prevê a criação de um programa nacional de logística reversa e traz a obrigatoriedade da emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) também para esta logística, controlando o fluxo desses resíduos sólidos no estado de Minas Gerais. Além disso, reforça o incentivo nas cooperativas e associações de resíduos recicláveis, abordando a importância da valorização dos resíduos e empregabilidade para a população. Ainda traz benefícios para microempresas quanto a elaboração e apresentação do PGRS, podendo ser entregue de forma individual ou coletiva. Outra principal mudança é em relação à recuperação energética de resíduos classe I (perigosos), através da utilização do seu poder calorífico para gerar um subproduto, promovendo a economia circular. A legislação prevê que ela deve obrigatoriamente ocorrer, em um raio de 150 km, caso haja empresa licenciada e especializada para este tipo de tratamento, o tratamento deve ser escolhido como prioritário.

Lembrando que a PNRS, marco ambiental para o Brasil, ainda vem ao longo dos anos provando sua importância e tentando demonstrar ao poder público e privado, na prática, suas aplicações para melhorias ao meio ambiente e à população.

3.3.3 Norma Técnica ABNT NBR 11.174/1990

Essa norma estipula as condições mínimas necessárias ao armazenamento de resíduos Classe II A (não inertes) e Classe II B (inertes). No caso dos resíduos de construção civil, estes se enquadram na segunda classe citada. A norma traz aspectos como isolamento, sinalização e classificação, acesso à área, medidas de controle de poluição ambiental, sistema de impermeabilização da base e treinamento dos colaboradores.

3.3.4 Norma Técnica ABNT NBR 12.235/1992

Em específico para a construção das baias dos resíduos perigosos (classificados como D), que são os resíduos contaminados com óleo, graxa, solvente ou tinta por exemplo, deve-se seguir a NBR 12.235 (ABNT, 1992) que estipula condições exigíveis para o armazenamento de resíduos sólidos. Estes devem ficar em áreas cobertas, bem ventiladas, com piso impermeável e deve possuir ainda um sistema de drenagem e captação de líquidos contaminados, se houver.

3.3.5 Norma Técnica ABNT NBR 10.004/2004

Existe também uma importante norma técnica, a NBR 10.004 de 2004 (ABNT, 2004), em que 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 em perigosos, não-inertes ou inertes.

Ainda, segundo essa norma e as características que ela traz, os resíduos são divididos em duas classes principais: Perigosos (Classe I) e Não Perigosos (Classe II). Para englobarem na primeira classificação os resíduos devem apresentar, pelo menos, uma das características citadas: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Já os resíduos que não apresentam nenhuma das características mencionadas anteriormente, se enquadram na segunda classe, e podem apresentar propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Dentro da classe II, é apresentado uma subdivisão como não inertes (Classe IIA) e inertes (Classe IIB). Pode-se exemplificar como não inertes os resíduos sólidos urbanos (RSU) ou domiciliares e os inertes como os resíduos de construção e demolição (RCD), que, são menos agressivos à saúde e ao ambiente humano, porém, gerados em elevados percentuais e volumes, interferem em todo o processo de gestão dos resíduos. É importante ressaltar que para a classificação em IIA ou IIB é necessário não só para a identificação visual do resíduo, mas também para análises laboratoriais.

3.3.6 Normas Técnicas ABNT NBR 15.116/2004 e 15.116/2021

O uso dos agregados reciclados na construção civil é norteadada pela NBR 15.116 (ABNT, 2004), onde limita seu uso em obras de pavimentação viária e preparo de concreto sem função estrutural, que são materiais utilizados em enchimentos, contrapiso, calçadas, blocos de vedação, guias de meio fio, sarjeta, canaletas, mourões e placas de muro (ABNT, 2004).

A norma ainda classifica os RCD Classe A em Agregado de resíduo de concreto (ARC) e Agregado de resíduo misto (ARM), onde o agregado reciclado composto de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas é classificado como ARC e concentrações inferiores a 90% é classificado com ARM.

A NBR 15.116 (ABNT, 2004) passou a vigorar com um novo texto em junho de 2021, e algumas de suas principais alterações foram que os Agregados de Resíduos de Concreto (ARC) foi subdividido em Agregado Reciclado de Cimento (ARCI) e Agregado Reciclado de Concreto (ARCO), onde admite-se apenas resíduos recicláveis Classe A pertencentes à subclasse ARCO em com funções estruturais (ABNT, 2021) com teor de substituição de 20% dos agregados convencionais pelo reciclado, para função não estrutural continua valendo o texto de 2004.

3.3.7 Deliberação Normativa COPAM 155/2010

A Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 155 de 2010 (MINAS GERAIS, 2010), referente ao estado de Minas Gerais, traz como critérios a inibição do descarte irregular dos resíduos de construção civil e dos resíduos volumosos em áreas públicas e locais inadequados. Com isso, percebe-se o incentivo do estado para destinação de áreas para a correta gestão ambiental desses resíduos.

O art. 1º traz 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 307/02, ou das que sucederem-na, visando à reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou a futura utilização da área.

IV - Áreas de armazenamento temporário: 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 (MINAS GERAIS, 2010).

A COPAM 155/2010, em seu art. 2º apresenta dispensa de licenciamento ou autorização de funcionamento para áreas de aterros e de armazenamento temporário provenientes de movimentação interna de solo, dentro de um mesmo empreendimento ou atividade autorizados.

No art. 3º, dispensa-se a recepção de solo com a finalidade de nivelamento da estrutura do terreno para a imediata ocupação por edificações ou outro uso urbano (MINAS GERAIS, 2010).

De acordo com essa normativa, fica-se evidente o incentivo do estado à reutilização dos resíduos. No art. 4º fica incluído na listagem "E" da Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017, o item especificado a seguir: Aterro e/ou área de reciclagem de resíduos classe "A" da construção civil, e/ou áreas de triagem e armazenamento temporário de resíduos da construção civil e volumosos. Potencial poluidor/degradador: Ar: M; Água: P; Solo: P; Geral: P; Porte: Capacidade de Recebimento = 200 m³/dia: Pequeno; 200 m³/dia (MINAS GERAIS, 2017).

Os empreendimentos, cuja atividade seja classificada como aterro, área de reciclagem de resíduos classe A, da construção civil, áreas de triagem, transbordo e armazenamento de resíduos da construção civil e volumosos (código E-03-09-3), devem providenciar a regularização ambiental junto à Superintendência Regional de Meio Ambiente (SUPRAM) responsável pelas atividades no estado de Minas Gerais.

A Deliberação Normativa COPAM nº 232/2019 institui e disciplina o Sistema Estadual de MTR (Anexo A), para o controle do fluxo de resíduos sólidos e de rejeitos no Estado de Minas Gerais operado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), desde a geração até a destinação final, como instrumento de gestão e de fiscalização para os órgãos e empresas envolvidas.

Todo gerador de resíduos da construção civil a ser transportado em território mineiro deverá emitir o manifesto obrigatório, por meio do sistema online. O receptor, armazenador temporário ou destinador também deverá atestar no sistema o recebimento do resíduo. Este é

emitido em quatro vias, a primeira e quarta relacionada ao gerador, segunda via para o transportador e terceira para a empresa de destinação final (SCHNEIDER, 2005).

3.4 Panorama nacional da gestão de RCD

O setor da construção civil no Brasil desempenha importância no desenvolvimento socioeconômico do país. No entanto, é um dos maiores geradores de impactos ambientais negativos, seja pelo consumo de recursos naturais não renováveis, consumo de energia e de água, como pela geração significativa de resíduos, que muitas vezes não recebem destinação adequada (GONÇALVES, 2015).

No Brasil, estima-se que, para cada tonelada de lixo urbano recolhido, são coletadas duas toneladas de entulho originado do setor de construção civil (MARQUES NETO, 2005). A tarefa de quantificação e caracterização para levantamento de dados desses resíduos é ainda mais difícil, diferentemente de outros países, pois importantes fontes de geração de RCD são os geradores informais ou clandestinos, para os quais dados estatísticos estão indisponíveis.

Em nosso país, ainda são encontradas maiores dificuldades, como o alto custo para triagem do RCD, falta de tecnologia para reciclagem do material, falta de apoio e conscientização dos geradores e limitado número de usinas pelo território nacional (BRASILEIRO; MATOS, 2015; NETO, 2005).

No panorama de 2017, os municípios brasileiros coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCD, 0,1% a menos que em 2016 (ABRELPE, 2017). Apesar dessa redução entre 2016 e 2017, essa não apresenta melhora significativa, sendo ainda necessário aplicar na prática as diretrizes das legislações específicas focadas na não geração em primeiro lugar. Havendo a geração, deve-se utilizar as tecnologias de tratamento de cada classe para evitar o depósito irregular destes resíduos em rios, córregos e demais áreas não apropriadas, evitando assim a poluição visual e ambiental.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), em 2021, o setor de construção civil cresceu 2,1% no 1º trimestre em relação ao 4º trimestre de 2020, o que mostra a força do setor na economia e uma área estratégica para o desenvolvimento nacional (CBIC, 2021).

A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON) relata que metade dos municípios brasileiros ainda destinam os RCD para lixões ou locais irregulares, ao invés de reciclá-los ou reutilizá-los. Além desta defasagem em 50% de depósito irregular em áreas não licenciadas e inapropriadas para o

recebimento deste tipo de resíduo, ainda se calcula que o país gera em torno de 84 milhões de metros cúbicos de RCD por ano, dos quais apenas 17 milhões são reciclados. Ou seja, dos resíduos que vão para o destino correto, os aterros de RCD conseguem um reaproveitamento e reciclagem de apenas 20% do que chegam (ABRECON, 2015).

No Brasil, um estudo referente aos resíduos da construção e demolição (RCDs) abordou como exemplo a cidade de Piracicaba – SP, onde o beneficiamento dos resíduos levou a utilização em aterros de valas nos pavimentos asfálticos. Esse mesmo estudo também apresentou um levantamento em Osasco – SP, com análise do comportamento do concreto seco produzido, por meio de agregados de RCD, após britagem. O estudo obteve um concreto com resistências à compressão comparáveis àquelas dos concretos obtidos a partir de agregados naturais, sendo destacada a viabilidade da reciclagem do ponto de vista técnico da aplicabilidade do produto (SANTOS, 2008).

3.4.1. Panorama de RCD na cidade de Belo Horizonte - MG

Em Belo Horizonte, na capital do estado de Minas Gerais, o setor público utiliza, na pavimentação, desde 1994, os agregados reciclados produzidos em suas usinas. Em 2015, foram coletadas na cidade cerca de 612 mil toneladas de RCD, que representaram 42,7% do total de resíduos destinados em Belo Horizonte, gerando um valor entre 0,24 e 0,26 toneladas de RCD/habitante/ano, se for considerado todo o período analisado. Ainda assim, não deve ser utilizado como multiplicador *per capita* (para fins de cálculo de geração total), pois a quantidade de RCD destinados para reciclagem é menor do que os RCD gerados em todas as obras de novas construções, demolições de edificações antigas e obras de infraestrutura (WU et al., 2014).

Para o melhor reaproveitamento identificou-se as principais destinações de forma sustentável dos RCDs encaminhados para: i) reciclagem; ii) aterro e iii) triagem e disposição final. Para a terceira opção de destinação, que são resíduos encaminhados para áreas onde há triagem da parcela reciclável e deposição final ou temporária de resíduos inertes foram destinadas 523 mil toneladas de RCD, ou seja, aproximadamente 86% de todo o montante coletado foi destinado para a triagem. Quanto aos depósitos irregulares e não contabilizados no estudo, esses se mostraram de difícil controle, uma vez que, a deposição ocorre sem prévia identificação e em locais ilegais e não licenciados. Desta forma, não foi possível distinguir a quantidade de resíduos de deposição clandestina.

Alinhado à Política Nacional de Resíduos Sólidos, o atual modelo de gestão de Belo Horizonte aponta uma solução através de proposta cooperativa, com diretrizes e estratégias de educação ambiental e mobilização social (MORAES; PEREIRA, 2012).

Outros aspectos também foram identificados como melhoria, destacando a necessidade de maior fiscalização nas construtoras, da conscientização da população e da adoção de novas ações e programas para a minimização da geração dos resíduos.

3.5 Taxa para recebimento dos resíduos

A criação de novas cobranças sobre emissões e produtos poluentes, também denominadas de ecotaxas, contribui para a internalização das externalidades econômicas, visto que forçam os produtores e os consumidores a considerar o custo da poluição ou de outras externalidades ambientais nas suas decisões econômicas (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012). As ecotaxas podem ser calculadas em função do peso de resíduos sólidos destinados aos aterros, por exemplo, aumentando o custo médio da destinação final. Desta forma, incentivam a redução da geração e conscientização de consumo.

3.6 Ecologia Industrial

O desenvolvimento sustentável requer ações inovadoras baseadas em metáforas ecológicas da diversidade e que vão além dos limites da racionalidade econômica contemporânea (BRISTOW; WELLS, 2005). Seguindo esta mesma ideia, Deutz (2009) assegura que a Ecologia Industrial “compreende teoria e prática para a implementação do desenvolvimento sustentável”. Acredita-se que os princípios da Ecologia Industrial são fundamentais para guiar políticas e ações sustentáveis para que elas não se percam e sejam fiéis à sua execução na aplicação prática (EHRENFELD, 2000). Os resíduos poderão ser convertidos em minerais utilizados pelos produtores iniciais estabelecendo uma rede de processos, na qual o que é produzido por seus integrantes. Similarmente, cada processo industrial tem de ser visualizado como uma parte dependente e inter-relacionada com um todo maior. A Ecologia Industrial sugere a sistemática reutilização de materiais e resíduos como uma relevante contribuição para reduzir a necessidade de extração de matérias-primas, mitigando os impactos ambientais (COSTA; FERRÃO, 2010; GRAEDEL, 2006).

Em consonância ao conceito do desenvolvimento sustentável e da Ecologia Industrial, a brita ecológica, também conhecida por brita leve, surge como um produto alternativo à brita comum (extraída de recursos minerais), na elaboração de argamassas e concretos para o emprego na fabricação de blocos para paredes, painéis para casa moduláveis etc. (BRITA

LEVE, 2013; ECOLEVE, 2013). Este aproveitamento interno dos resíduos reduz o impacto sobre o meio ambiente.

Aplicada no setor de construção civil, a brita ecológica é utilizada para enchimento leve de contrapisos e de lajes estruturais, paredes com isolamento térmico e acústico; fabricação de blocos, painéis e outros artefatos; e, proteção mecânica na impermeabilização. A brita ecológica destaca-se, em comparação à brita comum, no que diz respeito à diminuição da carga estrutural, à isolamento térmica e à isolamento acústica. Na isolamento acústica, elimina ruídos de impacto e absorve ruídos aéreos. Na isolamento térmica, por sua vez, obtém maior conforto com menor consumo de energia. Em função de sua baixa densidade, a brita leve reduz a necessidade de fundações, vigas e colunas, eliminando o risco de rachaduras.

Ainda, o produto proporciona uma mistura homogênea, com menor consumo de cimento e de água, criando uma boa resistência à compressão simples. Dessa maneira, a brita ecológica gera minimização de custos no valor da obra, visto que ocorre diminuição da carga estrutural, levando à redução da utilização dos outros componentes da construção civil (BRITA LEVE, 2013; ECOLEVE, 2013).

Cabe salientar que o produto não substitui a brita comum em sua totalidade. A brita ecológica tende a substituir parcialmente a brita comum, visto que não apresenta função estrutural, o que significa que não dá sustentabilidade às sapatas, vigas e pilares em virtude de sua leveza (BRITA LEVE, 2013; ECOLEVE, 2013). Essa limitação também pode ser validada na NBR 15.116 (ABNT, 2004), a qual limita seu uso em obras de pavimentação viária e preparo de concreto sem função estrutural (ABNT, 2004). Depois, a atualização da NBR 15.116 de 2021 traz a ressalva para o uso da função estrutural apenas para a brita ecológica que teve como processo a utilização apenas do resíduo de concreto, sem contaminação ou mistura de qualquer outro material.

Além da brita ecológica, é importante apontar o pó de brita. Material este que fica como residual na etapa do pré-peneiramento, com diâmetro inferior a 4,8 mm. Os agregados miúdos possuem uma maior importância para proporcionar uma boa qualidade ao concreto, e um dos mais utilizados é a areia natural. Visando o não desperdício e reaproveitamento de todos os subprodutos da planta para a revenda, este material tem também ótimo preço de mercado, com valor reduzido do pó de brita convencional.

4. METODOLOGIA

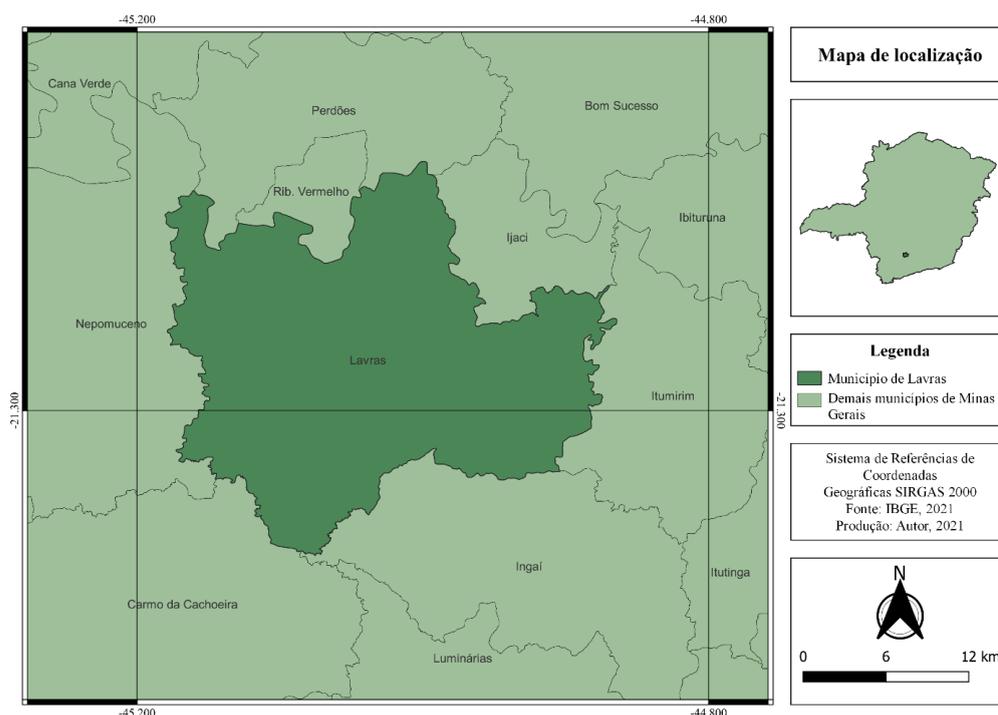
O empreendimento estudado refere-se a um grupo que atua no ramo minerário de calcário, extração de rocha para produção de britas e usina de produção de concreto e construção civil e será denominado como Empresa N.

Foram diagnosticados alguns pontos negativos de impactos com potencial poluidor consequentes da disposição inadequada dos resíduos de construção e demolição (RCD) na região, surgindo, então, a oportunidade de mitigar os impactos causados e lucrar com o comércio dos resíduos. Para propor os cenários ideais e de maior viabilidade econômico-financeira, iniciou-se estudos para a quantificação e levantamento de dados da geração de RCD de dez (10) municípios da região de atuação da empresa.

4.1. Área de estudo

Por ser o maior gerador de RCD na região, devido a sua maior densidade demográfica e populacional, o município de Lavras foi o escolhido como ponto fixo para os estudos de cenários. Ele está localizado na Mesorregião do Campos das Vertentes de Minas Gerais, na parte Sul do Estado de Minas Gerais com coordenadas $21^{\circ} 14' 42''$ S e $45^{\circ} 00' 00''$, no fuso horário UTC-3. O Município está distante em 240 km da Cidade de Belo Horizonte, capital administrativa do Estado e possui como municípios limítrofes Carmo da Cachoeira, Perdões, Nepomuceno, Ribeirão Vermelho, Ijaci e Itumirim (Figura 1).

Figura 1 - Municípios limítrofes de Lavras



Fonte: Do Autor (2022).

4.1.1 Estimativa da geração de RCD na área de estudo

Utilizando da estimada por Karpinsk et al. (2009) de 0,5 t/hab.ano e os dados populacionais oficiais do IBGE para o censo de 2010 e estimativa de 2021, foi possível calcular estimativas de geração de RCD para os municípios estudados em toneladas por dia.

Para o levantamento da proporção de resíduos para reaproveitamento, recicláveis e os rejeitos, baseou-se no estudo de caso da empresa E (item 4.3.1), uma vez que se localizada na mesma região do estado de Minas Gerais, contendo características semelhantes de construção e demolição. Além disso, tem seu recebimento baseado numa população estimada aproximada quando comparado ao total dos municípios elencados neste estudo.

4.2 Local para instalação do empreendimento

O local para o beneficiamento e aterro de RCD em Lavras está localizado no antigo lixão municipal de Lavras, nas coordenadas geográficas 21° 16' 38'' S, 44° 55' 47'' O, situada na estrada que dá acesso para a comunidade de Itirapuã, a 750 metros da BR 265.

Segundo o Cadastro Ambiental Rural (CAR), a área total possui 26,99 ha, sendo 5,41 ha destinados para reserva legal. Com relação às exigências ambientais da DN COPAM 118/2008 (MINAS GERAIS, 2008), a área não apresenta declividade superior a 30% e não se localiza em Área de Preservação Permanente (APP), sendo, portanto, adequada à atividade. Além disso, já se encontra devidamente licenciada junto à SUPRAM-SM, de acordo com a DN COPAM 217/2017 (MINAS GERAIS, 2017) para as atividades de:

- **F-05-18-0:** Aterro de resíduos da construção civil (classe A), exceto aterro para armazenamento/disposição de solo proveniente de obras de terraplanagem previsto em projeto aprovado da ocupação.
- **F-05-18-1:** Áreas de triagem, transbordo e armazenamento transitório e/ou reciclagem de resíduos da construção civil e volumosos.

Ademais, na área já existem RCD dispostos, sendo que estes resíduos poderão ser também beneficiados em sua totalidade pela empresa.

4.3 Visita técnica

4.3.1 Definição da composição dos RCD a serem gerados

Para um estudo mais detalhado e factível foi realizada uma visita técnica na empresa E, localizada no sul de Minas. Tal empresa atua no ramo de triagem e beneficiamento de RCD desde 2015, e recebe diariamente resíduos como material cinza, material vermelho, além da madeira e os materiais recicláveis e reaproveitáveis.

O recebimento da empresa E, estudada como referência, é de 420 toneladas de RCD por dia, que ocupam aproximadamente 70 caçambas no fluxo de caminhões. Os resíduos são oriundos basicamente de três municípios principais da região, onde juntos somam população total na estimativa de 2021 de 389.075 habitantes.

A coleta seletiva não consegue ser totalmente eficiente nos geradores, portanto, há um alto índice destes resíduos no escopo, contatando uma média 15 t/d de material a ser reciclado. Esses materiais correspondem a cerca de 4% dos resíduos totais recebidos e são materiais como papel, plástico, metais (ferro, alumínio, zinco e outros).

Dentre os materiais recicláveis, destaca-se o resíduo de madeira, que após passar por trituração tem como produto final o cavaco, que não consegue ter alto poder de venda, e, conseqüentemente, gera pouco lucro. A madeira processada na unidade é destinada para queima em fornos e caldeiras, além da produção de ripas e cavacos para outras finalidades.

Entretanto, há dois tipos principais de resíduos que possuem bom poder de mercado, os quais são classificados como cinza e misto. O entulho cinza, composto por restos de concreto, é passado na peneira, tendo como subprodutos a areia reciclada (ideal para argamassa de assentamento), brita e pedriscos. O entulho misto (restos de tijolos, telhas, blocos cerâmicos e terra) se transforma em um agregado reciclado denominado de brita mista corrida, podendo ser utilizado como base e sub-base na pavimentação de ruas, por exemplo.

A produção total para reaproveitamento é de 400 t/d, sendo aproximadamente, 130 toneladas de material misto e 270 toneladas de cinza. Apenas 5 toneladas não são passíveis de reaproveitamento, como solo e capina, e vão para o aterro de inertes.

O material cinza, com alta concentração de material cimentício, correspondendo a mais de 60% do total produzido para ser reaproveitado em outras finalidades, sendo os usos associados a este de:

- Uso para pavimentação;
- Produção de concreto não estrutural;

- Produção de bloquetes, blocos, pisos, material aditivo;
- Material de subleito para estradas;
- Material primário para estradas rurais.

Já os materiais mistos são caracterizados pelo alto teor de argila e correspondem a 30% do material processado, seu uso associa-se a:

- Uso para aterro;
- Pavimento.

Na Tabela 3 será apresentada a composição média dos materiais de RCD segregados na empresa E.

4.3.2 Estudo de caso para definição das etapas produtivas do empreendimento

O orçamento da planta fixa com usina de triagem de RCD foi levantado com base no valor total de resíduos Classe A gerados por Lavras e região, e na consulta de empresa do ramo, criada há 28 anos, com experiência na locação e venda de maquinários para mineração, reciclagem, fundações, geotecnia e demolição, citada neste trabalho como empresa M.

4.4 Insumos Operacionais

O empreendimento será responsável pelas instalações para funcionamento da planta de britagem, bem como manutenção corretiva e preventiva.

As instalações mínimas necessárias para o funcionamento de uma planta de britagem foram baseadas em outras unidades do ramo minerário e de beneficiamento de RCD no estado de Minas Gerais, como por exemplo a Empresa E, que atua a mais de 8 anos na área de beneficiamento de RCD e o grupo apoiador do desenvolvimento do presente trabalho. Também foi consultado o fornecedor de maquinários para operação de beneficiamento (Empresa M), que indicou as melhores opções para a realidade dos cenários estudados.

Além da usina de britagem, também foram orçados valores para os bens essenciais que contemplam o escritório, cozinha, banheiro, guarita, área da mecânica e maquinários, baseado nos custos de mercado encontrados no *e-commerce*, prezando por qualidade e preço.

Outras despesas fixas mensais cotadas foram o consumo e gastos com diesel por hora trabalhada dos maquinários, retroescavadeira e caminhão basculante, além de óleos lubrificantes necessários para um bom funcionamento e eletricidade. Todos os dados

utilizados para o desenvolvimento dos cálculos foram baseados nas médias mensais gastos pela Empresa N.

Considerando ainda as despesas fixas, tem-se a eletricidade consumida pela planta de britagem, do início ao fim do processo de beneficiamento, o qual foi calculado utilizando a potência do maquinário de 32 kW (Empresa M) multiplicado pelo tempo de funcionamento. O resultado obtido foi multiplicado pela taxa cobrada pelo kWh de R\$0,81091872 (ANEEL, 2022) para Lavras.

Para o processo e funcionamento dos maquinários, também foi elencado colaboradores, com funções previamente definidas, para atuação em cada área da usina. O quadro de colaboradores baseou-se na realidade implementada pelos mesmos empreendimentos mencionados do ramo. O número de funcionários contempla as escalas horárias, folgas ou possíveis afastamentos, de forma que o funcionamento da planta não cesse por tais motivos.

4.5 Preço para o recebimento do material

Os instrumentos econômicos fiscais, como por exemplo, taxas diferenciadas para disposição dos RCD em aterros, são apontados como adequados para incentivar o correto gerenciamento deste resíduo. Portanto, visando a sustentabilidade econômico-financeira da planta é necessário a cobrança dos resíduos depositados por seus geradores.

Cada entrada de resíduo teve seu preço estipulado, sendo adotada a unidade por metro cúbico de material. Também foi adotada uma densidade de resíduos classe A de 1,19 t/m³ para conversões, valor baseado nos estudos de Córdoba (2010). O autor avaliou o gerenciamento dos RCD em São Carlos – SP, caracterizando-os de forma quali-quantitativa e obteve esse valor através de análises de amostras com características físicas predominantes nos resíduos cinza e misto.

O município de Limeira, localizado a 154 km da cidade de São Paulo, possui população estimada em 2021 é de 310.783 habitantes, podendo ser comparada em relação ao complexo de municípios deste estudo. Em Limeira, a taxa de destinação de RCD cobrada em 2017 foi de R\$ 15,00 por metro cúbico. A atualização da taxa cobrada por ano foi de R\$ 2,00 acrescida no metro cúbico de resíduo, e se deu pelo aumento populacional e consequente aumento na geração por habitante dia, que passou para R\$ 21,00 em 2020 (ROSADO; PENTEADO, 2020).

A empresa E, localizada na região de Minas Gerais, com 389.075 de população estimada para 2021, trabalha com o valor cobrado para o recebimento das caçambas por R\$ 15,00 por metro cúbico de material.

Portanto, para o recebimento dos resíduos dos municípios estudados para o ano de 2022 em Lavras - MG, baseados nos dois estudos relacionados e no aumento da taxaço, tomou-se como referência o valor de R\$ 18,00 por metro cúbico de resíduo de construção civil recebido na planta.

4.6 Análise do mercado

4.6.1 Pesquisa para definição do valor de revenda da brita ecológica

Para a coleta de dados mercadológicos baseados em preços de venda dos dois tipos de britas, a convencional (feita de rocha) e a ecológica (feita a partir do beneficiamento dos resíduos), foi realizado por pesquisa telefônica. A partir de ligações para as empresas cadastradas na base de dados da empresa N, foi obtido retorno de 5 empresas de cada estado, sendo eles Minas Gerais, São Paulo e Paraná. A partir do preço informado pelos empreendimentos foi possível obter uma média de valor para a revenda de cada material, que serviu como base para este estudo.

4.6.2 Pesquisa de aceitação da brita ecológica

Para analisar a aceitação de mercado e o conhecimento sobre a brita ecológica, subproduto da britagem, foi realizada uma pesquisa de mercado. Essa pesquisa foi realizada por meio de ligação telefônica, oferecendo a pesquisa através de questionário via Google Forms, ou via contato por e-mail. As perguntas também puderam ser realizadas no momento da ligação e respondidas na plataforma pelo entrevistador. As informações foram coletadas através de uma base de dados da empresa N, contendo 81 contatos de empresas do ramo de construção civil, escritórios de engenharia civil e comércios fornecedores de brita mineral.

A pesquisa foi realizada no mês de novembro de 2021 via Google Forms, onde o entrevistado respondeu a 4 (quatro) perguntas com o intuito de analisar o poder de venda da brita e com isso a viabilidade econômico-financeira do empreendimento (Figura 2). O método de pesquisa contemplava respostas de 0 a 10, onde 0 relata a sua total negativa para a pergunta e 10 indica total acordo com a afirmativa da questão.

Figura 2 – Questionário

PESQUISA DE MERCADO

- * Nome do pesquisado: _____
- * Associação, empresa ou instituição do pesquisado: _____
- * Contato do pesquisado: _____
- * Data da pesquisa: ___ / ___ / _____

Objetivo da pesquisa: Avaliar a aceitação da comercialização da brita sustentável (produzida através de resíduos da construção civil).

Público alvo: Construtores, empresários, transportadores e engenheiros civis.

Método da pesquisa: Respostas de 0 a 10, onde 0 relata a sua total negativa para a pergunta e 10 relata que você está totalmente de acordo com a afirmativa da questão.

- 1) De 0 a 10, você conhece os benefícios e as vantagens em se adquirir e utilizar um produto sustentável, neste caso, a brita produzida através de resíduos da construção civil?

Nota: _____

De 0 a 10, você optaria em comprar a brita sustentável, sabendo que ela possui qualidade atestada, sendo oferecida por um valor menor de mercado comparada a brita convencional?

Nota: _____

- 2) De 0 a 10, você acredita que os seus clientes aceitariam adquirir a brita sustentável, após conhecer os seus benefícios e a suas vantagens?

Nota: _____

- 3) De 0 a 10, você e seus clientes utilizariam a brita sustentável, caso ela possua uma coloração diferente da brita tradicional (vermelho, por exemplo)?

Nota: _____

- 4) Você gostaria de registrar algum comentário ou alguma dúvida sobre a sua aceitação da brita sustentável que acabamos de abordar?

4.7 Mercado de britas (estimativa do valor de revenda)

Para basear a precificação dos produtos sustentáveis, que serão comercializados na unidade, foi necessário um estudo de mercado prévio. A consulta foi baseada em empresas do mesmo ramo da empresa N, contidas em uma base de dados inicial. As empresas estavam localizadas em diversas cidades e estados distintos, sendo eles Barretos-SP, Jacareí-SP, Guarulhos-SP, Varginha-MG e Londrina-PR. Os três estados do estudo possibilitaram maior abrangência ao mercado e conhecimento da comercialização das britas convencional e ecológica.

Os valores de venda foram obtidos e informados diretamente pelas empresas com unidade de preço por tonelada. A finalidade foi observar os preços por estado, e calcular a diferença de preço entre os dois tipos de britas, gerando ao final uma média dos valores. Espera-se identificar a viabilidade econômica da brita sustentável, mostrando-se com menor preço quando comparada a brita convencional. Assim, haveria a justificativa do reaproveitamento dos resíduos para substituição no mercado e uso em obras civis.

4.8 Cenários propostos

Analisando a viabilidade de investimento para implantação da usina e funcionamento saudável do empreendimento, foram apresentados dois cenários baseados em volumes distintos de geração, e conseqüentemente de recebimento de RCD.

O primeiro cenário foi baseado em uma situação onde apenas a geração de Lavras foi levada em consideração para alimentar a planta com o recebimento de resíduos. Já o segundo cenário, se apresenta em uma situação 2, baseada na geração de Lavras e dos municípios ao entorno.

Todos os cenários propostos contemplaram as despesas iniciais de investimentos (valor da planta de britagem e os bens essenciais de infraestrutura, além dos custos de operação), e também as receitas com a entrada dos resíduos através do pagamento das caçambas e a revenda dos subprodutos pós beneficiamento. Assim, considerou-se entrada e saída para que possa ser calculado o tempo de retorno do investimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estimativa da quantidade de resíduos RCD na região de estudo

Os únicos municípios que apresentaram diminuição na população total, considerando 2010 e 2021, foram Itumirim e Cana Verde (Tabela 3). Todos os outros municípios tiveram aumento populacional, sendo Lavras com o maior crescimento populacional de 2010 para 2021, com o aumento na geração de RCD igual a 14,70%. Tal fato pode ser justificado por ser um município mais industrializado e ter forte influência da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A Tabela 2 apresenta o quantitativo de geração por município da região de estudo.

Tabela 1 - Quantitativo de geração de resíduos sólidos por município da região de estudo.

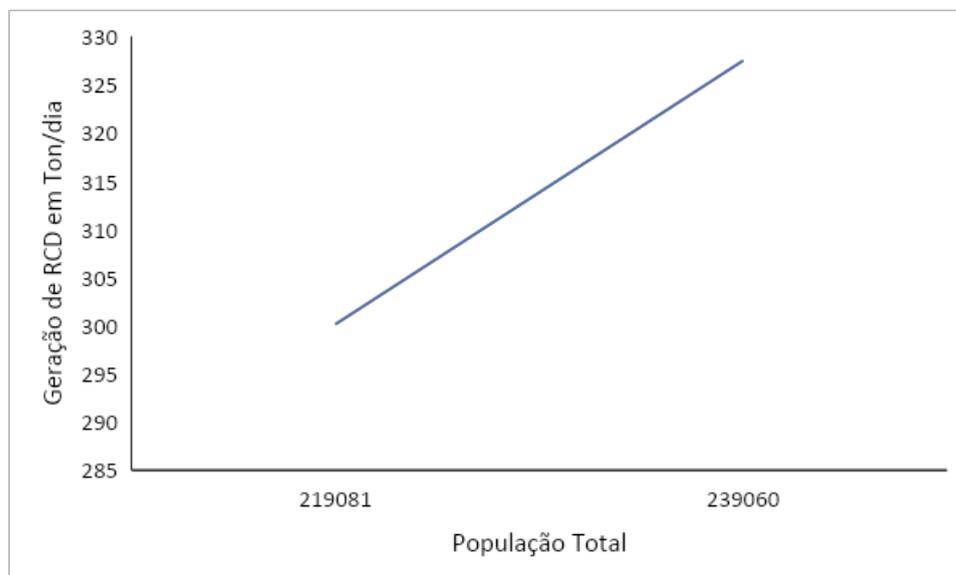
Município	População 2010	Geração 1 (t/d)	População estimada 2021	Geração 2 (t/d)
Lavras	92.200	126,30	105.756	144,87
Perdões	20.140	27,59	21.577	29,56
Nepomuceno	25.733	35,25	26.882	36,82
Ribeirão Vermelho	3.826	5,24	4.061	5,56
Ijaci	5.859	8,03	6.667	9,13
Itumirim	6.139	8,41	5.978	8,19
Luminárias	5.422	7,43	5.431	7,44
Campo Belo	51.544	70,61	54.338	74,44
Cana Verde	5.589	7,66	5.585	7,65
Ingai	2.629	3,60	2.785	3,82
Total	219.081	300,11	239.060	327,48

Fonte: Autor (2022).

Mesmo Lavras sendo o maior município, e por isso o principal, justificando a sede do empreendimento, a projeção de aumento dos demais municípios representa mais de 50% da geração diária de resíduos da construção civil (Tabela 1). Conforme ilustrado na Figura 3,

com o aumento da população da maioria dos municípios, houve também aumento total na geração de RCD, passando de 300,11 para 327,48 t/d, representando um percentual de crescimento de 9,12% nos últimos 11 anos.

Figura 3 - Curva de geração total diária de RCD



Fonte: Autor (2022)

Na Tabela a seguir, foram apresentados os quantitativos médios diários dos materiais de RCD segregados na empresa E.

Tabela 2 - Quantidade de RCD empresa E

Material	Percentual (%)	Total (t/d)
Reaproveitamento material cinza	64,28	270
Reaproveitamento material misto	30,95	130
Recicláveis	3,58	15
Rejeito	1,19	5
Total	100	420

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 3 apresenta a porcentagem de RCD separados por classe.

Tabela 3 - Percentual de RCD separados por classe em Lavras e Região.

Material	Percentual (%)	Total (t/d)
Reaproveitamento material cinza	65	212,86

Reaproveitamento material vermelho	30	98,24
Recicláveis	4	13,10
Rejeitos	1	3,28
Total	100	327,48

Fonte: Autor (2022).

A partir das proporções baseadas na empresa E do estudo de caso, foi possível encontrar 212,86 t/d para o material predominante, o cinza. Em seguida, 98,24 t/d para o vermelho, representando a classe A. E em menores proporções para os recicláveis, representando a classe B, e rejeitos, com 13,10 e 3,28 t/d, respectivamente.

5.2 Custo de Instalação

Baseado no levantamento de resíduos classe A dos municípios estudados, tem-se aproximadamente 320 t/d para serem britados e reaproveitados. Considerando um cenário ideal com 100% de reaproveitamento dos resíduos que chegam para alimentar a planta de britagem, e levando em consideração as especificações do equipamento instalado com capacidade de britagem de 30 toneladas de resíduo por hora (empresa M), seriam necessárias 12 horas por dia, de segunda a sexta-feira, para funcionamento do maquinário a fim de atingir o objetivo proposto.

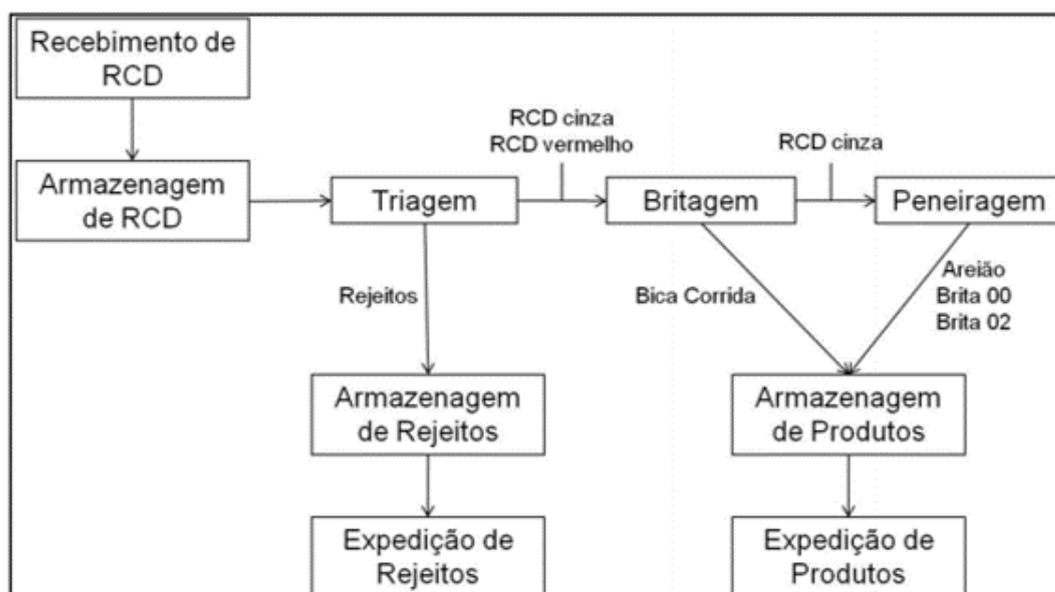
Os caminhões de caçambas ao chegarem na planta de beneficiamento devem primeiramente passar por uma balança calibrada, com a finalidade de mensurar a quantidade real de RCD, além de registrar horários de entrada e saída do caminhão, sua respectiva placa o motorista e o transportador, dados esses que irão compor o MTR e permitirá ao gerador pagar o valor relacionado a massa registrada.

Devido a heterogeneidade dos resíduos nas caçambas a classificação deve ser dada referente a predominância dos resíduos observados ou declarados no MTR. Em seguida, o caminhão irá bascular no pátio para que a caracterização e triagem preliminar ocorra, com a separação por classes. Utilizando o modelo já implementado na empresa M, a seguir são descritos os processos necessários para o processamento do material (Figura 4).

Após a triagem, os resíduos classe A devem ser direcionados para o pré peneiramento, para a separação dos finos (areia e pó de pedra), com granulometria inferior a 4,8 mm. Os resíduos com diâmetro superior deverão então ser encaminhados, através de uma esteira, para a mesa de triagem. Nesta etapa, será avaliada a contaminação do resíduo britável, ou seja, qualquer indício de resíduo remanescente que não se enquadre como classe A.

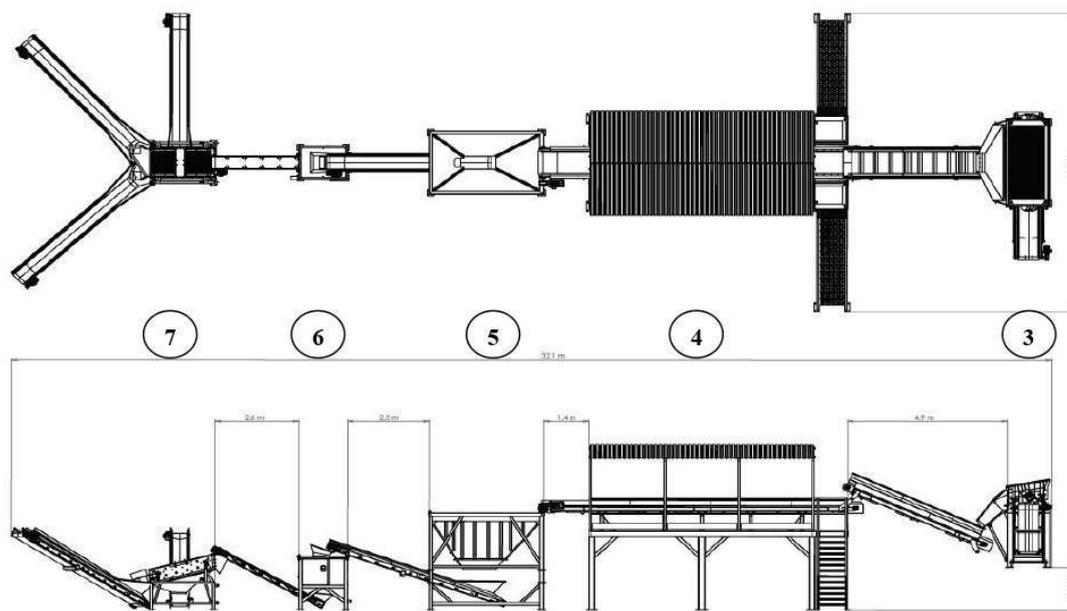
Uma vez isentos de impurezas os resíduos seguirão por esteira até a tremonha, que é a estrutura que armazena e acumula o material, garantindo que o processo seja contínuo e eficiente. Em seguida o resíduo passará pelo britador de mandíbula com capacidade de 30 t/h para fornecimento do produto na saída, considerando o horário de funcionamento das 07h00 às 19h00, ou seja, 12 horas trabalhadas, gerando um material britado de granulometria ajustável entre 15 a 80 mm. Por fim, o resíduo já britado deverá passar pela peneira que separará os agregados por granulometrias diferentes, sendo transportados por correias britas no tamanho 0, 1, 2 e pó de pedra (Empresa M, 2022), todo o processo é ilustrado no fluxograma a seguir.

Figura 4 - Fluxograma de entrada e saída de resíduos classe A.



Fonte: Campagna, Neumann e Danilevicz (2012).

Figura 5 - Layout da planta de britagem classe A.



Fonte: Empresa M (2022).

- 1 - Balança
- 2 - Triagem Preliminar
- 3 - Pré Peneiramento
- 4 - Triagem
- 5 - Tremonha
- 6 - Britador
- 7 - Peneiras 0, 1 e 2

As dimensões dos agregados seguem as características granulométricas das britas de reaproveitamento, conforme especificado na Tabela 4.

Tabela 4 - Tipo e granulometria dos agregados.

Material	Diâmetro
Brita 0	4,8 mm a 9,5 mm
Brita 1	de 9,5 mm a 19 mm
Brita 2	de 19 mm a 25 mm
Pó de pedra	< 4,8 mm

Fonte: Empresa M (2022).

Os resíduos que não se enquadram como Classe A devem ser encaminhados para a área de armazenamento de resíduos recicláveis (classe B), rejeitos e perigosos, construída de acordo com as normas técnicas pertinentes e vigentes.

A partir dos dados coletados, pode-se então propor a melhor forma de tratamento de cada classe dos RCD. Para os resíduos classe A, propõe-se a implantação de britador para receber os resíduos e vender seu subproduto para incorporação asfáltica, por exemplo (Tabela 5). Além de contribuir para a economia e o reaproveitamento, essas ações entram em acordo com as legislações vigentes e poupam os descartes incorretos no meio.

Considerando o escopo da empresa M para a planta de reaproveitamento no cenário ideal (Figura 5) tem-se o orçamento proposto na Tabela 5.

Tabela 5 – Usina para reaproveitamento classe A.

Entrada (t/h)	Valor Usina Triagem e Britagem (R\$)
30	1.368.000,00

Fonte: Empresa M (2022).

Também foi cotado o preço de mercado para a aquisição de outros equipamentos fundamentais para o funcionamento da planta de beneficiamento, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de equipamentos para investimento inicial.

Investimento inicial		
Item	Quantidade	Preço Total (R\$)
Balança rodoviária	1	85.390,00
Pá Carregadeira - Semi Nova	1	285.000,00
Escavadeira	1	320.000,00
Caminhão basculante - Semi Novo	1	400.000,00
Obra infraestrutura (Galpão com Escritório/Banheiro/Cozinha/Oficina/Depósito/Vestiário e Guarita)	-	150.000,00
Pessoal (Uniformes, Medicina e Segurança do Trabalho, EPI)	-	9.455,00
Total		1.249.845,00

Fonte: Autor (2022).

Além dos custos com a usina, também foram cotados os preços para os bens essenciais, como instalações e equipamentos conforme Tabelas 7 a 12.

Tabela 7 - Despesas com equipamentos de escritório.

Escritório		
Item	Quantidade	Preço Total (R\$)
Mesa	1	500,00
Cadeira	3	650,00
Lixeira	2	110,00
Computador e periféricos	1	3.605,00
Ar condicionado	1	1.200,00
Armário	1	1.000,00
Total		7.065,00

Fonte: Autor (2022).

Tabela 8 - Despesas com equipamentos de banheiros e vestiários.

Banheiro e Vestiário		
Item	Quantidade	Preço Total (R\$)
Chuveiro	3	180,00
Vaso sanitário	3	1.200,00
Pia (bancada e 4 cubas)	1	1.800,00
Lixeira	4	270,00
Guarda volumes	1	950,00
Banco	1	400,00
Total		4.800,00

Fonte: Autor (2022).

Tabela 9 - Despesas com equipamentos de cozinha.

Cozinha		
Produto	Quantidade	Preço Total (R\$)
Pia (bancada e cuba)	1	900,00
Lixeira e utensílios de cozinha	3	380,00
Geladeira	1	2.000,00
Balcão	1	300,00
Conjunto de mesa e 6 cadeiras	1	1.300,00
Microondas	1	400,00
Filtro de água	1	200,00
Cooktop	1	400,00
Total		5.880,00

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10 - Despesas com equipamentos para guarita.

Guarita		
Item	Quantidade	Preço Total (R\$)

Computador e periféricos	1	3.605,00
Mesa	1	500,00
Cadeira	1	300,00
Armário	1	500,00
Total		4.905,00

Fonte: Autor (2022).

Tabela 11 - Despesas com Oficina mecânica.

Oficina		
Produto	Quantidade	Total (R\$)
Máquinas portáteis, equipamentos e ferramentas	-	R\$ 27.000,00
Total		R\$ 27.000,00

Fonte: Autor (2022).

Tabela 12 - Despesa global com bens essenciais.

Total despesas essenciais	
Item	Total (R\$)
Bens essenciais (Guarita + Cozinha + Banheiro/Vestiário + Escritório + Mecânica)	49.650,00

Fonte: Autor (2022).

5.3 Custo de Operação

Os equipamentos necessários para o funcionamento da planta de britagem foram especificados como:

- Escritório tipo contêiner (1);
- Banheiros masculino (1) e feminino (1);
- Cozinha;
- Oficina;
- Guarita;
- Computador (3);
- Galpão de triagem coberto (1);
- Disponibilidade de energia elétrica e água;
- Telefone celular;
- Internet.

A seguir, são listados equipamentos básicos necessários para o funcionamento da planta, bem como sua manutenção corretiva e preventiva.

- Retroescavadeira (1);
- Alimentador vibratório (pré peneiramento) (1);
- Britador de mandíbula (1);
- Transportadores de correia;
- Peneiras;
- Esteira elétrica de triagem;
- Caminhão basculante (1);
- Balança rodoviária;
- Pessoal (Uniformes, Medicina e Segurança do Trabalho, EPI).

Além dos custos para aquisição do maquinário, tem-se também os custos mensais para sua manutenção e funcionamento, definidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Despesas fixas mensais.

Custos Fixos Mensais					
Maquinário	Material	Consumo médio	Unidade	Custo médio	Unidade
Retro escavadeira	Diesel	26	(L/hora)	22.576,00	(R\$/mês)
	Óleos lubrificantes	-		3.022,00	(R\$/mês)
Caminhão Basculante	Diesel	8	(L/hora)	4.424,00	(R\$/mês)
	Óleos lubrificantes	-		296,00	(R\$/mês)
Planta de Britagem	Eletricidade	26	kW/hora	6.850,00	(R\$ kW/mês)
	Óleos lubrificantes	-		2.211,00	(R\$/mês)
Total				39.379,00	(R\$/mês)

Fonte: Autor (2022).

5.4 Custo com Funcionários

Para o funcionamento da planta de reciclagem de RCD será necessário mão de obra para segregação, separação e britagem. Além de equipamentos de proteção individual (EPIs), combustíveis, óleo lubrificante, uniformes, manutenção preventiva e corretiva, que foram listados no item anterior.

O número estimado de funcionários para pesagem e controle do material recebido foi de 1 (um) operador de balança. Para a realização da triagem do material recebido e operação de maquinário 6 (seis) funcionários serão necessários e 1 (um) deverá ser responsável pela manutenção mecânica dos maquinários. A usina também deve contar com 1 (um) gerente geral, 1 (um) representante comercial, além de (1) um auxiliar de serviços gerais que garantirá a limpeza e manutenção da parte administrativa.

A planta de beneficiamento totalizará 11 (onze) funcionários para o seu funcionamento, seus respectivos salários serão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Tabela de despesas fixas mensais com mão de obra.

Custos fixos mensais		
Colaboradores	Quantidade	Valor (R\$)
Gerente	1	7.000,00
Comercial	1	4.000,00
Operador de balança	1	2.500,00
Operador maquinário	6	12.500,00
Mecânico	1	3.500,00
Serviços gerais	1	2.000,00
Total	11	31.500,00

Fonte: Autor (2022).

5.5 Área dos resíduos triados

Os resíduos que não se enquadram como classe A, que seguirão para o processo de britagem e reaproveitamento, devem ser triados e dispostos em pátio de armazenamento. Após este processo, os resíduos recicláveis (classe B) devem ser separados por tipo. Os mais comumente encontrados, são madeira, papel e papelão, plástico e metal, que no estudo estão estimados em aproximadamente 13,10 t/d (Tabela 4).

Além destes, ainda podem ser encontrados pós segregação, resíduos perigosos (classe D), que precisam ser encaminhados para tratamentos específicos de destinação final, como blendagem, co-processamento ou aterro classe I. Os resíduos não recicláveis, como isopor, são classificados como classe C. Os rejeitos foram também considerados, sendo elencados como solo e capina. Todos os resíduos citados como classe C e rejeitos, podem ser encaminhados para destinações finais em aterro classe II.

O quantitativo e densidade de resíduos classe C e D foram irrelevante e desconsiderados neste estudo, porém, caso haja, faz-se necessário a baía de armazenamento

específica para posterior destinação final. A Tabela 15 apresenta a disposição de baias para acondicionamento de cada material.

Tabela 15 – Disposição das baias de acondicionamento.

Ordem das baias	Material acondicionado
Baia 1	Madeira
Baia 2	Papel e papelão
Baia 3	Plástico
Baia 4	Metal
Baia 5	Rejeitos
Baia 6	Resíduos Perigosos (Classe D)
Baia 7	Resíduos Não Recicláveis (Classe C)

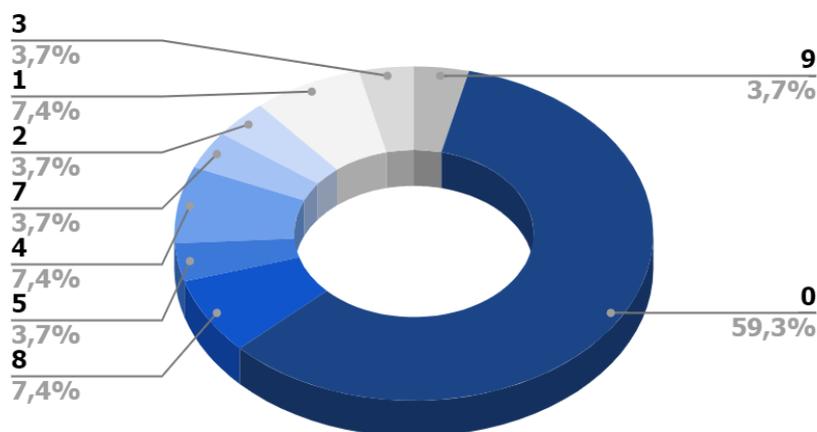
Fonte: Autor (2022).

5.6 Pesquisa de Mercado

Para atestar a viabilidade financeira com a comercialização da brita ecológica, foi realizada uma entrevista através da aplicação de questionário (Figura 5), onde o público alvo foram empresas já no ramo de construção civil. Ao final da pesquisa foram obtidas 27 respostas. As Figuras de 6 a 9 ilustram os resultados da pesquisa.

- Pergunta 01) De 0 a 10, você conhece os benefícios e as vantagens em se adquirir e utilizar um produto sustentável, neste caso, a brita produzida através de resíduos da construção civil?

Figura 6 - Gráfico ilustrativo das respostas da pergunta 01.

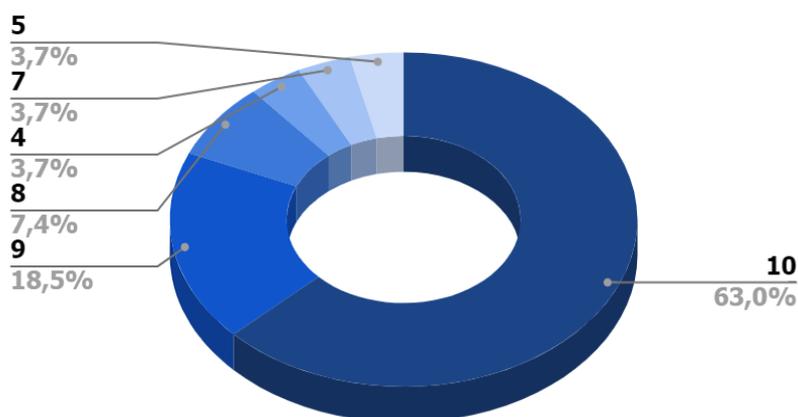


Fonte: Autor (2022)

Conforme ilustrado, 59,3% dos entrevistados desconhecem quaisquer benefícios e vantagens da brita ecológica.

- Pergunta 02) De 0 a 10, você optaria em comprar a brita sustentável, sabendo que ela possui qualidade atestada, sendo oferecida por um valor menor de mercado comparada a brita convencional?

Figura 7 - Gráfico ilustrativo das respostas da pergunta 02.

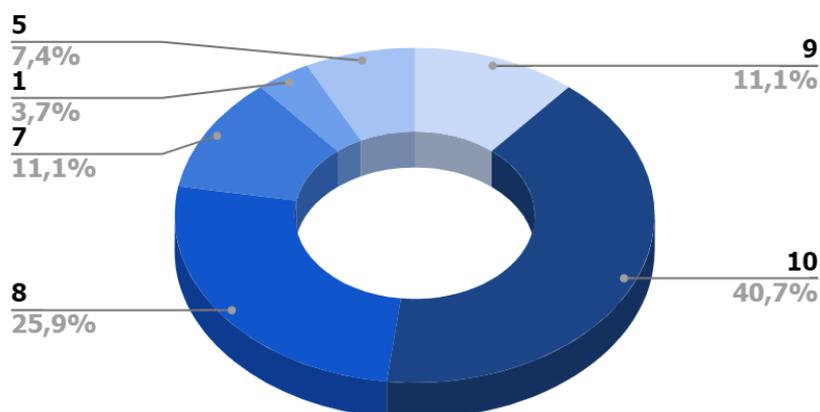


Fonte: Autor (2022)

A brita sustentável teve bastante aceitação, segundo os entrevistados 81,5% deram respostas otimistas quanto a compra do produto.

- Pergunta 03) De 0 a 10, você acredita que os seus clientes aceitariam adquirir a brita sustentável, após conhecer os seus benefícios e as suas vantagens?

Figura 8 - Gráfico ilustrativo das respostas da pergunta 03.

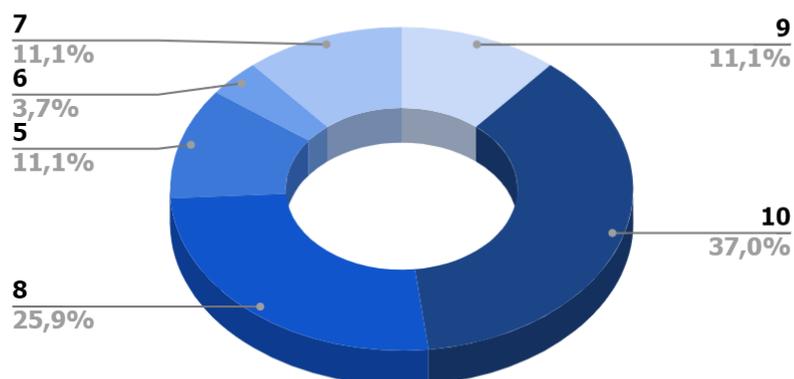


Fonte: Autor (2022).

A terceira pergunta, voltada para os comerciantes de britas convencionais e construtoras, apontaram aceitação de seus públicos, acreditando que pelo menos 66,60% dos seus clientes comprariam a brita ecológica.

- Pergunta 04) De 0 a 10, você e seus clientes utilizariam a brita sustentável, caso ela possuía uma coloração diferente da brita tradicional (vermelho, por exemplo)?

Figura 9 - Gráfico ilustrativo das respostas da pergunta 04.



Fonte: Autor (2022)

Quando questionados sobre a aceitação do material ecológico com coloração diferente da convencional, 74% dos entrevistados responderam entre 8 e 10 para a compra da brita sustentável.

- Pergunta 05) Você gostaria de registrar algum comentário ou alguma dúvida sobre a sua aceitação da brita sustentável que acabamos de abordar?

Quadro 1 - Comentários e dúvidas a respeito da brita ecológica.

A brita pode ser utilizada em qualquer processo de construção civil?
Fiquei muito interessado em conhecer mais sobre o produto e sua viabilidade.
Em quais tamanhos ela será disponibilizada?
Interessante e divulgar mais.
Dúvidas quanto a qualidade do produto; Ficou interessado em reduzir custos desde que tenha qualidade atestada.
Mais informações sobre a brita.
A questão do sustentável é muito válida.
Gostaria de ser consultado quando começar a ser comercializada a brita sustentável.
É muito interessante entrar no mercado. A empresa deveria ter parcerias com as obras da cidade em benefício mútuo.

Fonte: Autor (2022).

As maiores dúvidas dos entrevistados giram em torno da mesma questão, a viabilidade, a qualidade e a falta de conhecimento sobre o produto. Contudo, a maioria (aproximadamente 70 %) demonstrou considerável interesse no novo conceito de mercado da brita sustentável e também promoveram boa aceitação. Os resultados otimistas foram baseados não só no benefício econômico-financeiro da compra e uso do produto, mas também relacionados à questão ambiental do processo, no qual impactos são mitigados poupando o esgotamento de matérias primas e garantindo a preservação do meio ambiente.

5.7 Preço de entrada dos resíduos

O valor adotado para recebimento do material na planta de Lavras - MG em 2022 foi de R\$18,00 por metro cúbico, conforme descrito no item 4.5.

A Tabela 16 mostra a receita mensal esperada para o recebimento de 144,48 t/d (Tabela 3). Considerando a densidade do RCD civil em 1,19 t/m³ (CÓRDOBA, 2010), a geração por mês do material foi de 121,74 m³/dia, para o cenário 1.

Tabela 16 - Receita entrada de resíduos por metro cúbico cenário 1.

Valor (R\$/m³)	Geração mensal (m³/dia)	Dias úteis	Receita mensal (R\$/mês)
18,00	121,74	22	48.208,84

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 17 mostra a receita mensal esperada para o recebimento de 327,48 t/d. Considerando a mesma densidade do RCD, a geração por mês do material foi de 275,19 m³/dia, para o cenário 2.

Tabela 17 – Receita entrada de resíduos por metro cúbico em cenário 2

Valor (R\$/m³)	Geração mensal (m³/dia)	Dias úteis	Receita mensal (R\$/mês)
18,00	275,19	22	108.975,24

Fonte: Autor (2022).

Não foi encontrado, para este estudo, local na microrregião de Lavras que opere com a destinação final de RCC de forma licenciada e ambientalmente adequada, o que fortalece a exclusividade de mercado e a lucratividade para o empreendimento.

5.8 Preço de venda do subproduto

Para contextualizar o preço de venda, principalmente a diferença de valor da brita ecológica e convencional, foi realizada uma pesquisa de mercado, através de contato telefônico da base de dados da empresa N, com os fornecedores dos dois tipos de britas nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná, e elencado uma média dos valores comercializados (Tabela 18).

Tabela 18 - Preços brita convencional.

Localidade	Valor (R\$/t)
Barretos/SP	52,94
Jacarei/SP	52,94
Londrina/PR	58,82
Varginha/MG	73,30
Guarulhos/SP	52,94

Fonte: Autor (2022).

O valor da brita convencional no estado de São Paulo se mantém padronizado em R\$ 52,94 por tonelada, também sendo observado este valor aproximado no estado do Paraná. Já no estado de Minas Gerais houve aumento de mais de 40% no valor comercializado, chegando em R\$ 73,30 por tonelada. Esta diferença pode ser explicada pela maior competitividade de mercado no estado de São Paulo, onde existem mais empresas do ramo disputando mercado de um mesmo produto, reforçando a lei de oferta e procura.

Tabela 19 - Preços brita ecológica

Localidade	Valor (R\$/t)
Barretos/SP	25,21
Jacareí/SP	27,95
Londrina/PR	26,89
Varginha/MG	29,60
Guarulhos/SP	29,41

Fonte: Autor (2022).

Em todos os estados a brita ecológica se mostrou com pelo menos 40% de preço abaixo do mercado quando comparada à brita convencional (Tabela 19). Nos municípios mais próximos à capital paulista, como Jacareí e Guarulhos, essa diferença ultrapassou a margem de 50%. Já no estado de Minas Gerais, contemplando os municípios deste estudo, a variação foi de 45,71%, fortalecendo o poder de negociação e aceitação dos consumidores e aprovando o investimento e retorno na planta de beneficiamento. Além da contribuição ambiental com o reaproveitamento do material.

A partir do estudo de mercado da venda das britas convencional e ecológica em diversas empresas dos estados brasileiros, foi possível chegar a uma média de preço para a tradicional de R\$ 58,19 e para a ecológica de R\$ 27,81, com 47,79% de diferença entre os valores.

A empresa N atualmente comercializa sua brita convencional em um preço médio de R\$ 64,00 por tonelada. Assim, considerando a venda da brita ecológica em 47,79% abaixo do preço da brita comum, resultando em R\$ 30,58 por tonelada.

Considerando as mesmas análises para o material de pó de brita, gerado a partir do residual da etapa de pré peneiramento do processo, pode-se estimar o valor de revenda de R\$

28,43 (Tabela 20). Para isso, considerou-se que a empresa N comercializa o pó de pedra convencional a R\$ 59,50 por tonelada.

Tabela 20 - Preço de revenda do subproduto ecológico em Lavras.

Preço Subproduto Ecológico	
Material	Valor (R\$/t)
Brita ecológica	30,58
Pó de pedra	28,43

Fonte: Autor (2022).

O agregado reaproveitado deverá ser reservado em pátio adequado, podendo ser vendido para administrações públicas ou empresas privadas. Este material se apresenta viável na melhoria da trafegabilidade das estradas, proporcionando melhores condições para o escoamento agropecuário, passagem de moradores, entre outros. Poderá ser utilizado também para contra pisos em obras, na fabricação de artefatos, na construção civil, e na produção de rachão para drenos.

Cassa, Carneiro e Brum (2001) diagnosticaram a composição dos RCD que chegavam nos aterros de Salvador - BA, e 22% desses resíduos representavam solos e areias sendo classificados como classe A. Esse tipo de resíduo é retido no pré-peneiramento da planta de britagem, podendo ser comercializado como muafa, pó de pedra, bica corrida e areia, com valor de mercado menor quando comparado às britas convencionais.

Dado a geração diária no cenário 1, ou seja, considerando apenas a geração do município de Lavras de 144,87 toneladas por dia, em 22 dias trabalhados no mês, estimou-se a receita a ser obtida através de cada subproduto da planta (brita ecológica e pó de pedra). Para a estimativa, considerou-se a proporção de 22% citada em literatura (CASSA; CARNEIRO; BRUM et al., 2001) para os finos retidos, e consequentemente 78% para os demais (Tabela 21).

Tabela 21 - Receita cenário 1.

Material Reciclado	Beneficiamento (t/d)	Valor (R\$/t)	Receita (R\$/dia)
Brita Ecológica	112,99	30,58	3.455,23
Pó de pedra	31,87	28,43	906,06
Classe A	Total dia		R\$ 4.361,29

Total mês	R\$ 95.948,38
Total ano	R\$ 1.151.380,56

Fonte: Autor (2022).

Para o cenário 2, considerando a geração de Lavras, como ponto principal, e de todos os municípios ao entorno, tem-se 327,48 toneladas por dia. Com a mesma lógica do cenário anterior, de dias trabalhados e proporção para cada material beneficiado, tem-se a receita apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 - Receita cenário 2.

Material Reciclado	Beneficiamento (t/d)	Valor (R\$/t)	Receita (R\$/dia)
Brita Ecológica	255,43	30,58	7.811,04
Pó de pedra	72,04	28,43	2.048,09
	Total dia		R\$ 9.859,13
Classe A	Total mês		R\$ 216.901,06
	Total ano		R\$ 2.602.812,80

Fonte: Autor (2022).

5.9 Viabilidade econômica

Os estudos levantados mostram um valor aproximado inicial de investimentos necessário para a implementação do empreendimento. Assim, para a viabilidade econômica financeira, calculou-se a partir dos investimentos e da arrecadação, o tempo de retorno do investimento inicial para cada um dos cenários propostos (Tabelas 23 e 24).

- Cenário 1

Tabela 23 – Cenário 1.

Viabilidade Cenário 1		
	Unidade	Valor
Investimento Inicial	R\$	2.667.495
Receita Entrada RCD	R\$/mês	48.208,84
Receita Venda Ecológica	R\$/mês	95.948,38
Tempo de retorno	Nº de meses	19

Fonte: Autor (2022).

Baseado no investimento inicial para a operação da planta de recebimento de resíduos, pode-se descontar a receita total de entrada dos RCD pelas caçambas dos geradores e a receita da comercialização do subproduto gerado, somando o valor de R\$ 144.157,22 por mês. Para o empreendimento se pagar, e começar a gerar lucro mantendo-se de forma sustentável, será necessários aproximadamente 19 meses considerando apenas o município de Lavras como cliente.

- Cenário 2

Tabela 24 – Cenário 2.

Viabilidade Cenário 2		
	Unidade	Valor
Investimento Inicial	R\$	2.667.495,00
Receita Entrada RCD	R\$/mês	108.975,24
Receita Venda Ecológica	R\$/mês	216.901,06
Tempo de retorno	Nº de meses	9

Fonte: Autor (2022).

Já para o cenário 2, com receita total de R\$ 325.876,30, o mesmo investimento inicial se paga em torno de 8 a 9 meses. São quase 10 meses a menos, se comparado com o cenário 1, considerando todos os municípios deste estudo como geradores e clientes.

6. CONCLUSÃO

Espera-se que o estudo consiga despertar o interesse dos investidores no projeto de implantação da usina de triagem e britagem. Para isso, mostrou-se os pontos principais de investimentos a partir de orçamentos com empresas do ramo e pesquisas de mercado para se levantar os custos necessários para a implantação do empreendimento. Para a estimativa de receita, utilizou-se como embasamento a alimentação da planta através da entrada dos resíduos em caçambas e venda dos subprodutos do processo, como brita ecológica e a muafa. Por fim, foi calculado um tempo de retorno do investimento inicial como um direcionamento financeiro.

Com base nessa análise, a viabilidade econômico-financeira foi mais atrativa no cenário 2 devido a maior quantidade de resíduos gerados e reaproveitados, consequentemente

gerando uma maior receita para se abater no valor do investimento inicial, apresentando um retorno de investimento a partir de 9 meses de operação.

Para estudos futuros sugere-se o envolvimento logístico com as empresas caçambeiras de resíduos dos municípios limítrofes até a usina de beneficiamento em Lavras - MG, a fim de levantar também custos e viabilidade do transporte, de acordo com o quantitativo e número de viagens necessárias para cada caso. Assim como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) estudo de impactos ambientais causados pela utilização desse serviço, no caso a queima de combustível no trajeto, levando em consideração a emissão de poluentes atmosféricos, principalmente gás carbônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECON - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Relatório de pesquisa setorial 2014/2015**. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/pesquisa_setorial/>. Acesso em 16 mar. 2022.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Ministério de Minas e Energia. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/search?SearchableText=tarifa%20cemig>. Acesso em: 16 jul. 2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116/2021**: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/23795/nbr15116-agregados-reciclados-para-uso-em-argamassas-e-concretos-de-cimento-portland-requisitos-e-metodos-de-ensaios>. Acesso em: 22 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004/2004**: Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Ed. ABNT, 2004a. Disponível em: <http://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006/2004**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Ed. ABNT, 2004b. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-10.006-Solubiliza%C3%A7%C3%A3o-de-Res%C3%ADuos.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007/2004**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Ed. ABNT, 2004c. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116/2004**: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de

concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004d. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-15.116-Agregados-Reciclados-de-RCC.pdf>. Acesso em: 15 de jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR, ABNT. 12.235:** Armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-12235-1992-armazenamento-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-perigosos.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR, ABNT. 11.174:** Armazenamento de resíduos classes II–não inertes e III–inertes. Rio de Janeiro, 1990. Disponível em: <https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MTkzMg%2C>. Acesso em: 05 mai. 2022.

BIOMASSA. **Os resíduos gerados pela construção civil.** 2019. Disponível em: <https://biomassadobrasil.com.br/os-residuos-gerados-pela-construcao-civil>. Acesso em: 16 mai 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 maio 2002a.

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 jul. 2002b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 348, de 16 de agosto 2004. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 ago. 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, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3o da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 469, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA nº 307 de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 jul. 2015.

BRASIL. Decreto nº 10.936, 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jan. 2022.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p.178-189, 2015.

BRISTOW, G.; WELLS, P. Innovative discourse for sustainable local development: a critical analysis of eco-industrialism. **International Journal of Innovation and Sustainable Development**, v.1, n.1-2, p.168-179, 2005.

BRITA LEVE. 2013. Disponível em <<http://www.britaleve.com.br/>>. Acesso em 17 de jul. de 2022.

BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. Regulação, políticas públicas e governança ambiental. Fundamentos de política e gestão ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável. **Garamond**, p.139-178, 2012.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Resultados do PIB Brasil e da construção no 1º trimestre surpreendem**. 2021. Disponível em:

<<https://cbic.org.br/resultados-do-pib-brasil-e-da-construcao-no-1o-trimestre-surpreendem/#~:text=J%C3%A1%20o%20PIB%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o,do%20setor%20na%20economia%20nacional>>. Acesso em: 16 mar. 2022.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Construção civil é a locomotiva do crescimento, com emprego e renda**, 2020. Disponível em: <<https://cbic.org.br/construcao-civil-e-a-locomotiva-do-crescimento-com-emprego-e-renda/>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

CAMPAGNA, C. S.; NEUMANN, C. S. R.; DANILEVICZ, A. M. Desenvolvimento de um layout para uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 20., 2012, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves, 2012.

CASSA, J. C.; CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom**. Salvador: Ed. UFBA; Ed. Caixa Econômica Federal, 2001. 312p.

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do sistema de gerenciamento integrado de resíduos de construção e demolição do município de São Carlos-SP**. 2010. (Dissertação) Mestrado em hidráulica e saneamento. Universidade de São Paulo. 406p. 2010.

COSTA, I.; FERRÃO, P. A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.10-11, p.984-992, 2010.

DEUTZ, P. Producer responsibility in a sustainable development context: ecological modernisation or industrial ecology? **Geographical journal**, v.175, n.4, p.274-285, 2009.

ECOLEVE. 2013. Disponível em: <http://www.ecoleve.net.br/>. Acesso em 17 de jul. de 2022.

EHRENFELD, John R. Industrial ecology: paradigm shift or normal science? **American Behavioral Scientist**, v.44, n.2, p.229-244, 2000.

DE GOIÁS, A. L. D. E. ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2017. Disponível. **Centro universitário de anapólis–unievangélica programa de pós-graduação em sociedade, tecnologia e meio ambiente (ppstma)**, v. 17, 2018.

GONÇALVEZ, D. B. A gestão de resíduos da construção civil no município de Sorocaba-SP. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.11, n.2, p.15-26, 2015.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth>. Acesso em: 13 abr. 2022.

GRAEDEL, T. **Industrial Ecology: definition and Implementation**. In: SOCOLOW, R. H. et al. (EE.). *Industrial ecology and global change*. New York: Cambridge University, 2006. p. 23-41.

KARPINSK, L. A. et al. **Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil: Uma Abordagem Ambiental**. Porto Alegre: Edipures, 2009. 163p.

Máquina Solo, 2022. Disponível em: <https://maquinasolo.com.br/>. Acesso em: 05 ago. 2022

MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: Rima, 2005, 162p.

MENDES, T. A. et al. Parâmetros de uma Pista Experimental Executada com Entulho Reciclado. In: 35º Reunião Anual de Pavimentação, **Anais...** Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Pavimentação, p.1-12, 2004.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento. Deliberação Normativa COPAM nº 118, de 27 de junho de 2008. Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa n.º 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado e dá outras providências. **Diário Executivo do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 1 jul. 2008.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento. Deliberação Normativa COPAM nº 155, de 25 de agosto de 2010. Altera dispositivos da Deliberação Normativa COPAM nº 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, MG, 4 set. 2010.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento. Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Diário Executivo do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 6 dez. 2017.

MORAES, R. O.; PEREIRA, P. M. S. O Programa de manejo diferenciado e reciclagem de resíduos da Prefeitura de Belo Horizonte. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.6, n.1, p. 117-126, 2012.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental**: conceitos e métodos. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 584p.

SANTOS, A. M. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no município de Petrolina (PE)**. 2008. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

SCHNEIDER, D. M. Normas técnicas brasileiras: resíduos da construção civil/volumosos e inertes. **Revista Habitare**, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: http://www.habitare.org.br/revista_ultima.aspx?CD_PUBLICACAO=52. Acesso em: 16 mai. 2022.

SILVA, L. S.; DEMETRIO, J. C. C.; DEMETRIO, F. J. C. Concreto Sustentável: Substituição da areia natural por pó de brita para confecção de concreto simples. **Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, São Luís-MA**, 2015.

SILVA, P. J. et al. Políticas e práticas de gestão ambiental: uma análise da gestão dos resíduos da construção civil na cidade de Belo Horizonte (MG). **Cadernos EBAPE-BR**, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 1-25, 2006.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; DUARTE, E. B. L. Caracterização e destinação dos resíduos de construção gerados a construção de um edifício comercial localizado na cidade de São Paulo. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.3, n.2, p.223-246, 2015.

ROSADO, L. P.; PENTEADO, C. S. G. Gestão municipal dos resíduos da construção civil: influência da taxa de disposição em aterros. **Ambiente & Sociedade**, v.23, 2020.

VAZZOLER, J. S. et al. Investigation of the potential use of waste from ornamental stone processing after heat treatment for the production of cement-based paste. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 177, p. 314-321, 2017.

WU, Z. et al. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Waste management**, v.34, n.9, p.1683-1692, 2014.

ANEXO A

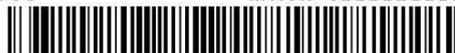


Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM

Página 1 de 2

MANIFESTO DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS

MTR nº XXXXXXXXXX



Vinculo com MTR Provisório Nº: XXXXXX							
Identificação do Gerador							
Razão Social:				CPF/CNPJ:			
Endereço:		Telefone:		data da emissão:			
Município:	Estado: MG	Fax/Tel:		nome e assinatura do responsável			
Nome do Responsável pela Emissão		Cargo:					
Identificação do Transportador							
Razão Social:				CPF/CNPJ:			
Endereço:		Telefone:		data do transporte:			
Município:	Estado:	Fax/Tel:		nome e assinatura do responsável			
Nome do Motorista		Placa do Veículo					
Identificação do Destinador							
Razão Social:				CPF/CNPJ:			
Endereço:		Telefone :		data do recebimento:			
Município:	Estado:	Fax/Tel :		nome e assinatura do responsável			
Nome do Responsável pelo Recebimento		Cargo:					
Observações do Gerador							
Identificação dos Resíduos							
Item.	Código IBAMA e Denominação	Estado Físico	Classe	Acondicionamento	Qtde	Unidade	Tecnologia
Observação do Recebimento dos Resíduos							
Resíduo	Justificativa						
Observações Gerais do Destinador							

Este MTR não substitui o CERTIFICADO DE DESTINAÇÃO FINAL - CDF correspondente aos resíduos aqui relacionados

Uma via física deste MTR deve acompanhar o Transportador

Vias eletrônicas automaticamente estarão disponibilizadas para o Gerador, o Transportador, o Destinador e a FEAM

MANIFESTO DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS**MTR nº XXXXXXXXXXXX**

Observações Gerais do Destinatador

--

Este MTR não substitui o CERTIFICADO DE DESTINAÇÃO FINAL - CDF correspondente aos resíduos aqui relacionados

Uma via física deste MTR deve acompanhar o Transportador

Vias eletrônicas automaticamente estarão disponibilizadas para o Gerador, o Transportador, o Destinatador e a FEAM