

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EMANUELLE MENDES COUTINHO

**SUSTENTABILIDADE NA CONTRUÇÃO CIVIL E
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS COM ÊNFASE
NO COPROCESSAMENTO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO**

ANÁPOLIS / GO

2021

EMANUELLE MENDES COUTINHO

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS COM ÊNFASE
NO COPROCESSAMENTO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: ME. ANDERSON DUTRA E SILVA

ANÁPOLIS / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

COUTINHO, EMANUELLE MENDES.

Sustentabilidade na construção civil e gerenciamento de resíduos sólidos com ênfase no coprocessamento na produção de cimento.

54P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021)

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Sustentabilidade	2. Coprocessamento
3. Gerenciamento de resíduos	4. Resíduos Sólidos
I. ENC/UNI	II. Bacharel

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COUTINHO, Emanuelle Mendes. Sustentabilidade na construção civil e gerenciamento de resíduos sólidos com ênfase no coprocessamento na produção de cimento, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 54p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Emanuelle Mendes Coutinho

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Sustentabilidade na construção civil e gerenciamento de resíduos sólidos com ênfase no coprocessamento na produção de cimento.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Emanuelle Mendes Coutinho

Emanuelle Mendes Coutinho
E-mail: manuhmendescoutinho@gmail.com

EMANUELLE MENDES COUTINHO

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS COM ÊNFASE
NO COPROCESSAMENTO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:



**ANDERSON DUTRA E SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)**



**AURELIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 02 de dezembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial a Deus que é a razão pela qual estamos aqui, à minha família por sempre me apoiarem e acreditarem no meu potencial, ao orientador Professor Mestre Anderson Dutra e Silva que teve fundamental importância na elaboração do trabalho, e a todos que de forma direta ou indireta tiveram participação neste.

Emanuelle Mendes Coutinho

RESUMO

O conceito de sustentabilidade está ligado ao chamado desenvolvimento sustentável que, em suma, se trata do conjunto de atitudes e práticas que promovam o crescimento social e econômico sem causar danos ao meio ambiente. A construção civil é uma área que gera bastante impacto ambiental quando não executada corretamente, onde se percebe um grande desperdício de materiais e a geração de resíduos, muitas vezes, descartados de maneira incorreta. Nesse contexto, o método do coprocessamento surge como uma alternativa válida para o reaproveitamento de materiais, reduzindo a necessidade de destinação final adequada de resíduos. O presente estudo tem como objetivo analisar o coprocessamento aplicado a uma indústria de cimento. Foi realizado um estudo de caso, embasado em pesquisa bibliográfica na área em questão. De acordo com dados obtidos, percebe-se que a redução de resíduos e redução de impactos, embora incipiente, é significativa. Porém, algumas melhorias são necessárias para melhor efetividade do processo, entre elas estão uma maior adesão dos produtores de resíduos, uma melhor organização na triagem e no depósito de resíduos e uma maior difusão das estratégias de conscientização da comunidade em geral.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Desenvolvimento Sustentável; Construção Civil; Coprocessamento.

ABSTRACT

The concept of sustainability is linked to the so-called sustainable development, which, in short, is the set of attitudes and practices that promote social and economic growth without causing damage to the environment. Civil construction is an area that generates a lot of environmental impact when not properly executed, where there is a large waste of materials and the generation of waste, often discarded incorrectly. In this context, the co-processing method appears as a valid alternative for the reuse of materials, reducing the need for an adequate final disposal of waste. This study aims to analyze the co-processing applied to a cement industry. A case study was carried out, based on bibliographical research in the area in question. According to the data obtained, it is clear that the reduction of waste and impact reduction, although incipient, is significant. However, some improvements are needed for better effectiveness of the process, among them are greater adhesion of residue producers, better organization in the sorting and deposit of residues, and greater dissemination of awareness strategies in the community in general.

Keywords: Sustainability; Sustainable development; Civil Construction; Coprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de Fabricação do Cimento	18
Figura 2 – Mineração da Rocha Calcária	19
Figura 3 – Moinho de cru vertical	20
Figura 4 – Consumo de Energia na Produção de Cimento.....	21
Figura 5 – Clínquer.....	22
Figura 6 – Moinho de Cimento	22
Figura 7 – Silo e Estocagem do Cimento	23
Figura 8 – Caracterização e Classificação de Resíduos Sólidos	25
Figura 9 – Logística Reversa	29
Figura 10 – Consequências da má gestão de resíduos.....	31
Figura 11 – Coprocessamento de Resíduos	32
Figura 12 – Resíduos usados como combustível e matérias-primas	33
Figura 13 – Grande variedade de resíduos usados em fornos de cimento.....	33
Figura 14 – Perfil dos combustíveis alternativos e tradicionais	35
Figura 15 – Substitutos de combustíveis fósseis, matérias-primas e biomassas coprocessadas	35
Figura 16 – Fábrica Ecoblending Cezarina	37
Figura 17 – Balança Fábrica Ecoblending.....	38
Figura 18 – Laboratório Ecoblending.....	39
Figura 19 – Resíduos Separados após Triagem.....	40
Figura 20 – Triturador de Resíduos Sólidos.....	41
Figura 21 – Materiais após a Trituração	41
Figura 22 – Produto Final após a Trituração	42
Figura 23 – Fluxograma de Tratamento de Resíduo por <i>Blendagem</i>	43
Figura 24 – Baias com limitação de espaço	46
Figura 25 – Caçambas receptoras dos resíduos triturados.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos resíduos da construção civil de acordo com a resolução 307 ...26

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Consumo aparente anual de cimento Portland, segundo estados e regiões brasileiras de 2010 à 2019 (em 1.000 toneladas).....	17
Tabela 2 – Produção e consumo mundial de cimento em 2018 (em milhões de toneladas)	17
Tabela 3 – Tabela de Emissões da cimenteira 2016 e 2017	45
Tabela 4 – Porcentagem de substituição térmica entre 2016, 2017 e 2018.....	46

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CO ₂	Dióxido de Carbono
GEE	Gases de Efeito Estufa
NBR	Norma Brasileira de Normas Técnicas
PIGRCC	Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Saúde

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 METODOLOGIA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 A INDÚSTRIA CIMENTEIRA.....	16
2.1.1 Processo de Fabricação do Cimento	18
2.1.1.1 Extração e Britagem das Matérias-Primas (mineração)	18
2.1.1.2 Preparação das Matérias-primas	19
2.1.1.3 Preparação dos Combustíveis	20
2.1.1.4 Queima do Clínquer.....	21
2.1.1.5 Moagem do Cimento	22
2.1.1.6 Expedição	23
2.2 RESÍDUOS	23
2.2.1 Resíduos Sólidos	23
2.2.2 Resíduos da Construção Civil	24
2.2.3 Diretrizes para o Gerenciamento dos Resíduos.....	27
2.2.3.1 Política Nacional do Meio Ambiente	27
2.2.3.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos	27
2.2.3.2.1 <i>LOGÍSTICA REVERSA</i>	28
2.2.3.3 Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	29
2.2.3.4 Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil para o Município de Anápolis	30
2.3 COPROCESSAMENTO.....	30
2.3.1 Resíduos Usados como Combustível ou Matérias-primas.....	33
2.3.2 Vantagens e Desvantagens do Coprocessamento	35
3 ESTUDO DE CASO	37
3.1 FÁBRICA ECOBLENDING	37
3.1.1 Produção do <i>blend</i>	38

3.1.1.1	Chegada dos Resíduos à Fábrica	38
3.1.1.2	Laboratório	38
3.1.1.3	Triagem dos Resíduos.....	39
3.1.1.4	Trituração.....	41
3.1.1.5	Mistura e Finalização do <i>Blend</i>	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1	CIMENTEIRA	44
4.1.1	Retorno Financeiro do Investimento e Economia	44
4.1.2	Redução da Emissão de Gases e Taxa de Substituição Térmica.....	44
4.2	MELHORIAS QUE PODEM SER ADOTADAS PELA FÁBRICA ECOBLENDING	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O termo sustentável, assim como seus derivados, embora muito utilizado na literatura científica, no setor privado e nas políticas públicas, ainda não possui um conceito definido. Na literatura, existe uma vasta diversidade de conceitos para o termo, sendo que todas elas se relacionam com o desenvolvimento sustentável (LINDSEY, 2011 *apud* FEIL; SCHREIBER, 2017).

A Sustentabilidade na Construção Civil é um tema cada vez mais importante e necessário para profissionais e quaisquer empresas do setor. A grande produção de resíduos sólidos e a extração desenfreada e comprometedora de matéria-prima são um desafio na redução de efeitos negativos gerados pelas construções e indústrias diversas.

O gerenciamento de resíduos sólidos é um mecanismo imprescindível para a redução dos impactos ambientais. Segundo a Ambscience Engenharia (2021), o gerenciamento de resíduos sólidos trata-se de um conjunto de procedimentos, dentre eles o planejamento, a implementação e a gestão para reduzir a produção de resíduos e proporcionar os procedimentos adequados aos resíduos gerados.

1.1 JUSTIFICATIVA

“Provenientes da atividade industrial, doméstica, comercial, agrícola e de serviços, os resíduos sólidos, se não forem adequadamente geridos, podem provocar sérios danos ao ambiente e à sociedade” (ANDRADE; FERREIRA, 2011, p. 8).

Devido ao avanço e desenvolvimento tecnológico e industrial, muitos produtos e materiais são descartados antes mesmo do fim de sua vida útil, gerando cada vez mais resíduos sólidos. A nova Política Nacional de Resíduos Sólidos por meio da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, menciona no Artigo 3º item VII que a destinação final ambientalmente adequada refere à destinação de resíduos incluindo a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final (BRASIL, 2010).

Segundo a Folha de S. Paulo (2021), somente 72,7 milhões de toneladas de lixo geradas em 2019 foram coletadas, de um total de mais de 79 milhões de toneladas. Desse montante, 40% teve um descarte incorreto, ou seja, em aterro controlado, que possui um tipo

de cobertura do solo, mas não dispõe da impermeabilização e do tratamento de chorume, ou lixão, locais a céu aberto que não possuem nenhum tipo de tratamento adequado para os resíduos, extremamente prejudiciais ao meio ambiente.

A função da sustentabilidade no âmbito da construção é garantir que em todas as etapas sejam utilizados métodos eficazes para a melhoria e redução de impactos ambientais, gerando economia e qualidade de vida para a população e para as gerações futuras. Reutilizar materiais, buscar novas formas para a não exploração de recursos naturais e desenvolver novas fontes de geração de energia são meios pelos quais se torna possível a diminuição dos impactos gerados pela construção no ambiente. Pensando nisso, a gestão adequada e a opção da reutilização de resíduos sólidos de indústrias de diferentes setores aliados com sólidos urbanos como matéria-prima podem ser uma solução e possibilidade atraente, podendo gerar economia nos processos e redução de impactos.

Segundo Andrade e Ferreira (2011, p.8)

Cidades que apresentam gestão deficiente de resíduos sólidos podem sofrer com poluição atmosférica decorrente de material particulado, odores e gases nocivos; poluição hídrica resultante do chorume de “lixões” e do lançamento direto dos resíduos no ambiente; contaminação e degradação do solo; desvalorização imobiliária das áreas próximas aos locais de disposição de resíduos; e proliferação de doenças através de vetores associados aos resíduos sólidos.

Neste contexto, a indústria cimenteira através do coprocessamento surge como uma alternativa promissora e sustentável, auxiliando tanto na problemática da destinação final dos resíduos sólidos urbanos e das mais variadas indústrias (com exceção de resíduos patogênicos, materiais radioativos, lixo doméstico, pesticidas, material explosivo, pilhas e baterias usadas), quanto na geração parcial de combustível e matéria-prima para a produção de cimento. Além disso, reduz o custo de fabricação do cimento e as emissões de CO² (SOUZA, 2009).

Segundo a Votorantim Cimentos (2020), o coprocessamento é uma tecnologia que transforma, no processo de produção do cimento, materiais alternativos e resíduos não recicláveis em uma energia mais limpa, dando a eles uma destinação mais adequada e sustentável. Com isso, parte do coque de petróleo é substituído e as emissões de CO² são reduzidas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral analisar o coprocessamento de resíduos sólidos no setor industrial, enfatizar a destinação final de tais resíduos e apresentar uma solução viável e sustentável de destino e reaproveitamento destes.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os resíduos sólidos dos diversos setores da indústria;
- Identificar os principais problemas do mal gerenciamento dos resíduos sólidos;
- Sugerir o coprocessamento na produção de cimento como solução sustentável para a destinação e o reaproveitamento de resíduos;
- Verificar a viabilidade e as vantagens econômicas e ambientais do coprocessamento.

1.3 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado é o descritivo, por meio da análise dos resíduos sólidos quanto à sua classificação e destinação final e apresentar os riscos e malefícios do mal gerenciamento destes. Realizar-se-á um estudo de caso na fábrica Ecoblending Ambiental no município de Cezarina no estado de Goiás, afim de analisar o processo de fabricação do *blend*, desde a triagem dos resíduos até sua destinação final na fábrica de cimento, visando apresentar o coprocessamento na produção de cimento como solução sustentável tanto na destinação final adequada, quanto no reaproveitamento de resíduos sólidos e apresentar, por meio de uma análise quantitativa, a viabilidade do processo através de tabelas e quadros.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 2 comenta sobre a indústria cimenteira, o processo de fabricação do cimento e sua produção e consumo no Brasil e no mundo e apresenta a classificação e as principais políticas e legislação brasileiras a respeito dos resíduos sólidos e resíduos da construção civil. Além disso, é detalhado o coprocessamento, seu conceito, finalidade, o

processo em si, materiais que podem ser coprocessados e são citadas as vantagens econômicas, sociais e ambientais. No capítulo 3, expõe-se o estudo de caso na Fábrica Ecoblending na cidade de Cezarina, Estado de Goiás. O capítulo 4, mostra os resultados e discussões da pesquisa, apresentando os dados da cimenteira estudada e propondo melhorias à Fábrica de *blend*. A conclusão da pesquisa é apresentada no capítulo 5. Por fim, o capítulo 6 enumera sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

A palavra cimento tem origem no termo latim “caementu”, ou seja, pedra proveniente de rochedos. Existem indícios da utilização do cimento desde as antigas civilizações. No Egito antigo já era utilizada uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. Além disso, grandes obras gregas e romanas foram construídas com solos de origem vulcânica com características concernentes ao cimento como, por exemplo, o endurecimento sob a ação da água (ABCP, 2009).

Em 1976, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland- ABCP (2009), ocorreu uma importante evolução no desenvolvimento do cimento. O inglês John Smeaton, obteve um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, através da mistura de componentes argilosos e calcários o francês Vicat, obteve resultados semelhantes aos de Smeaton. Vicat é considerado o inventor do cimento artificial. Alguns anos depois, em 1824, um construtor inglês, Joseph Aspdín, queimou pedras calcárias juntamente com argila, resultando em um pó fino que, após secar, adquiria uma dureza semelhante às pedras empregadas nas construções e não se dissolvia em água. No mesmo ano este produto foi patenteado por Joseph e nomeado como cimento Portland, devido a sua coloração e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland.

No Brasil, estudos sobre o cimento começaram em meados de 1888 por um comendador chamado Antônio Proost Rodovalho, que se dedicou em instalar uma fábrica em sua fazenda localizada no Estado de São Paulo, mais precisamente na cidade de Sorocaba. Várias outras iniciativas para a fabricação do cimento foram desenvolvidas na mesma época, porém nenhuma obteve sucesso. Uma pequena fábrica foi instalada na ilha de Tiriri, na Paraíba, em 1892, por iniciativa do engenheiro Louis Felipe Alves da Nóbrega, mas devido à distância dos centros consumidores e à reduzida escala de produção, esta funcionou apenas durante três meses. Em 1897 a fábrica de Rodovalho lançou sua primeira produção, operando até 1904. Seu produto foi nomeado como cimento Santo Antônio. Em 1907 Rodovalho tentou retomar a produção, mas por motivos relacionados à qualidade do produto não alcançou o sucesso e encerrou suas atividades definitivamente em 1918. Houve uma tentativa, também, no Estado do Espírito Santo, em Cachoeiro Itapemirim, em que o governo fundou uma fábrica, em 1912, mas por operar de forma precária e possuir uma escala de produção muito

baixa, foi paralisada em 1924. Ainda no ano de 1924, foi implantada uma fábrica em Perus, Estado de São Paulo, pela Companhia Brasileira de Cimento Portland, considerada o marco da implantação da indústria brasileira de cimento, que teve, em 1926, as primeiras toneladas produzidas e colocadas no mercado nacional que, até então, dependia praticamente do produto importado. Após isto, a produção nacional foi aumentando gradativamente através da implantação de novas fábricas, diminuindo a necessidade de produtos importados (ABCP, 2009).

O consumo mundial do cimento, de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2019), apresenta valores expressivos e, mesmo em meio a altos e baixos, a indústria cimenteira alcança sempre números satisfatórios. A Tabela 1, mostra o consumo aparente anual de cimento Portland no Brasil entre os anos de 2010 e 2019, sendo a Região Sudeste a maior consumidora do País durante esses anos, representando 44% do total em 2010, 43% em 2015 e 46% em 2019 da produção anual brasileira de cimento.

Tabela 1 – Consumo aparente anual de cimento Portland, segundo estados e regiões brasileiras de 2010 à 2019 (em 1.000 toneladas)

ESTADOS/REGIÕES	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
NORTE	4.258	4.728	5.014	5.274	5.266	4.843	4.040	3.544	3.263	3.269
NORDESTE	12.317	13.160	14.607	15.363	16.687	15.555	13.723	12.409	11.735	12.050
CENTRO-OESTE	5.738	6.307	6.714	6.982	7.057	6.320	5.174	4.945	5.040	5.353
SUDESTE	27.783	29.875	31.438	31.533	31.796	28.560	25.190	23.389	23.429	24.260
SUL	9.912	10.902	11.551	11.815	11.884	10.908	9.841	9.416	9.473	9.862
TOTAL BRASIL	60.008	64.972	69.324	70.967	72.690	66.186	57.968	53.703	52.940	54.794

Fonte: SNIC, 2019.

Tabela 2 – Produção e consumo mundial de cimento em 2018 (em milhões de toneladas)

CONTINENTE	PRODUÇÃO	CONSUMO
AMÉRICAS	271	267
EUROPA	359	333
ÁSIA	3.144	3.294
ÁFRICA	203	199
OCEANIA	12	15
TOTAL MUNDIAL	3.990	4.108

Fonte: SNIC, 2019.

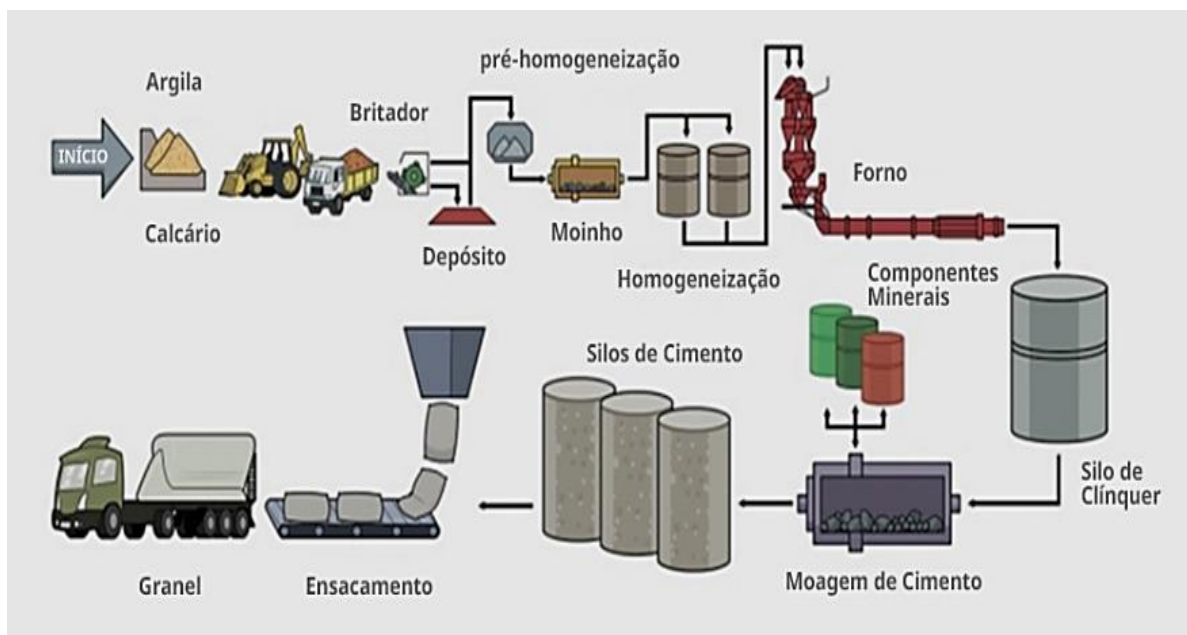
Já a Tabela 2, mostra a produção e o consumo mundial de cimento em 2018, sendo a Ásia a maior consumidora, responsável por 80% do total, e também a maior produtora, com aproximadamente 79% do total (SNIC, 2019).

2.1.1 Processo de Fabricação do Cimento

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria - CNI (2012), o processo produtivo do cimento consiste, de forma resumida, em uma associação da exploração e do beneficiamento de substâncias minerais não metálicas, sua conversão química em clínquer, produto intermediário do cimento, em fornos com elevadas temperaturas a cerca de 1.450°C e posterior moagem e mistura a outros materiais, que variam de acordo com o tipo de cimento.

Segundo Carpio (2005), o processo de fabricação do cimento, Figura 1, envolve as seguintes etapas: extração e britagem das matérias-primas (mineração), preparo das matérias-primas e dos combustíveis, queima do clínquer, moagem do cimento e expedição.

Figura 1 – Processo de Fabricação do Cimento



Fonte: MAUÁ, 2017.

2.1.1.1 Extração e Britagem das Matérias-Primas (mineração)

O início do processo de produção do cimento é representado pela extração das matérias-primas naturais como o calcário, o gesso e a argila que são extraídos de jazidas. A principal matéria-prima na fabricação do cimento é o calcário, que necessita de vários

processos para a sua extração, tais como sondagem, perfuração e detonação. A etapa seguinte é a britagem, as matérias-primas são levadas para o britador e nele o calcário é fragmentado em proporções menores para que possa ser conduzido aos depósitos para estocagem, homogeneização e posterior separação (GUIMARÃES, 2015). Segundo a Associação Mineira de Defesa do Ambiente (2021), nesta fase iniciam-se os impactos ambientais que, assim como toda atividade mineradora, tal extração causa um enorme impacto ambiental e contribui para a escassez de recursos naturais, prejudica também os lençóis freáticos, danifica a paisagem local, além de destruir os tão importantes sítios arqueológicos. A Figura 2, mostra a extração da rocha calcária.

Figura 2 – Mineração da Rocha Calcária



Fonte: ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE DEFESA DO AMBIENTE, 2021.

Conforme Carpio (2005), alguns materiais como bauxita, minério de ferro ou sílica, são considerados materiais “corretivos”, e podem ser necessários, em pequena quantidade para adequar a composição química da mistura, conforme as necessidades do processo e com as especificações do produto.

2.1.1.2 Preparação das Matérias-primas

Após a extração e britagem, de acordo com Guimarães (2015), as matérias-primas são moídas até adquirirem uma granulação adequada. O material resultante desta moagem é chamado de farinha ou “cru” (cálcio, sílica, alumínio e ferro), para os processos via seca e

semiseca. Nos processos úmido e semiúmido, as matérias-primas são misturadas com uma quantidade de água suficiente para produzir uma pasta. O produto resultante, farinha ou pasta, é levado para estocagem e posteriormente homogeneizado em silos, afim de alcançar e manter os parâmetros necessários antes de entrar no forno de produção de clínquer. A Figura 3, mostra o moinho vertical no qual os componentes serão moídos resultando no “cru”.

Figura 3 – Moinho de cru vertical

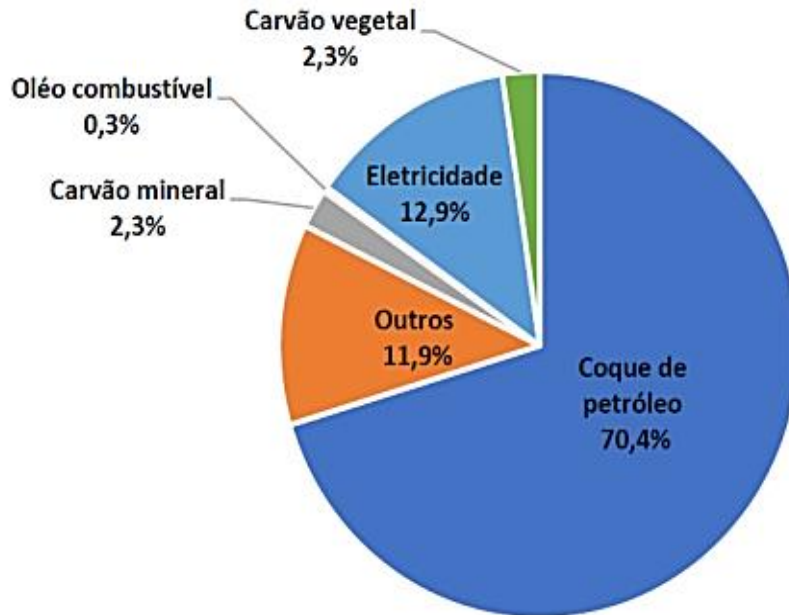


Fonte: SOBRINHOPICUI, 2016.

2.1.1.3 Preparação dos Combustíveis

Os principais combustíveis fósseis usados na fabricação do clínquer são o carvão, o coque de petróleo, e os óleos pesados (CEMBUREAU, 1999 *apud* CARPIO, 2005). Nos últimos anos, de acordo com Carpio (2005), percebeu-se um aumento no uso de combustíveis alternativos não fósseis oriundos de outros setores da indústria como, por exemplo, pneus, plásticos, solventes, borras de tintas, resíduos de óleos e outros. Estes combustíveis são preparados fora das cimenteiras, em locais próprios para este fim, passando por processos como trituração e mistura. Na Figura 4, está representado o consumo de energia na produção de cimento, que mostra a quantidade em porcentagem de cada componente, dos quais o coque de petróleo representa a maior parcela de 70,4%, a eletricidade consumida é de 12,9%, o carvão vegetal assim como o carvão mineral representam 2,3%, o óleo combustível 0,3%, e os outros combustíveis utilizados como, por exemplo, pneus, tintas e solventes representam 11,9% do consumo.

Figura 4 – Consumo de Energia na Produção de Cimento



Fonte: QUEIROZ, 2018.

2.1.1.4 Queima do Clínquer

O clínquer pode ser considerado como o cimento em sua fase inicial de fabricação e é obtido, segundo Costa *et al.* (2013), a partir da queima das matérias-primas em um forno rotativo a elevadas temperaturas.

A queima do clínquer é o processo que tem mais influência em relação às emissões, qualidade do produto e o custo. A matéria-prima é levada ao forno de cimento e passa por um processo térmico que engloba a secagem/preaquecimento, calcinação que libera CO² do calcário e sinterização que consiste na formação dos minerais do clínquer a temperaturas em torno de 1400 a 1500°C (CARPIO, 2005). Quanto às instalações utilizadas no processo, geralmente, possuem um forno rotativo cilíndrico central em posição horizontal, com uma leve inclinação para circulação dos gases de aquecimento resultantes da queima. O forno sofre, ainda, uma baixa rotação que empurra a matéria-prima, na forma de clínquer, da parte mais elevada para a parte inferior. O combustível é queimado na parte mais baixa (MONTEIRO; MAINIER, 2008). A Figura 5, mostra o clínquer, que possui aparência arredondada e escura.

Figura 5 – Clínquer



Fonte: SOBRINHOPICUI, 2016.

2.1.1.5 Moagem do Cimento

A chamada moagem do cimento é considerada, segundo Guimarães (2015), a produção propriamente dita do cimento, em que o clínquer já resfriado passa por uma moagem, no moinho de cimento, juntamente com uma quantidade pequena de gesso, que tem a função de regular a pega do cimento. Nos cimentos compostos há adição de outros constituintes, tais como: escória de alto-forno, pozolana ou fíler calcário. Esta adição pode ser feita na moagem do clínquer ou moída separadamente e misturada posteriormente. A Figura 6, mostra o moinho de cimento, onde todos os componentes são moídos até atingirem a granulometria ideal.

Figura 6 – Moinho de Cimento



Fonte: INDÚSTRIA HOJE, 2014.

2.1.1.6 Expedição

O processo é finalizado com o transporte do cimento, já em sua forma final, para os silos de estocagem, local em que será extraído e ensacado (CARPIO,2005). O livro de Karstensen (2006), diz que os transportes utilizados pelas fábricas (rodoviário, fluvial, ferroviário, etc.), são escolhidos conforme as condições e exigências de cada local. A Figura 7, mostra o silo, para onde o cimento é levado, e a estocagem correta do cimento.

Figura 7 – Silo e Estocagem do Cimento



Fonte: INDÚSTRIA HOJE, 2014.

2.2 RESÍDUOS

2.2.1 Resíduos Sólidos

De acordo a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos e semissólidos são aqueles resultantes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição e, ainda, classifica os resíduos em: Resíduos classe I – Perigosos e Resíduos classe II – Não perigosos que englobam os Resíduos classe II A – Não inertes e os Resíduos classe II B – Inertes.

Os resíduos classe I são aqueles que apresentam periculosidade ou que são caracterizados como inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos, ou ainda que constem nos anexos A ou B da NBR 10004 (ABNT, 2004). O anexo A apresenta os resíduos

perigosos de fontes não específicas, ou seja, de vários setores da indústria como, por exemplo, solventes, certos tipos de lodos, pós e fibras de amianto, cinzas provenientes da incineração, lâmpadas, óleos lubrificantes e outros. Já o anexo B apresenta os resíduos perigosos de fontes específicas como resíduos de pesticidas, dos processos explosivos, do refino do petróleo, etc. (ABNT, 2004).

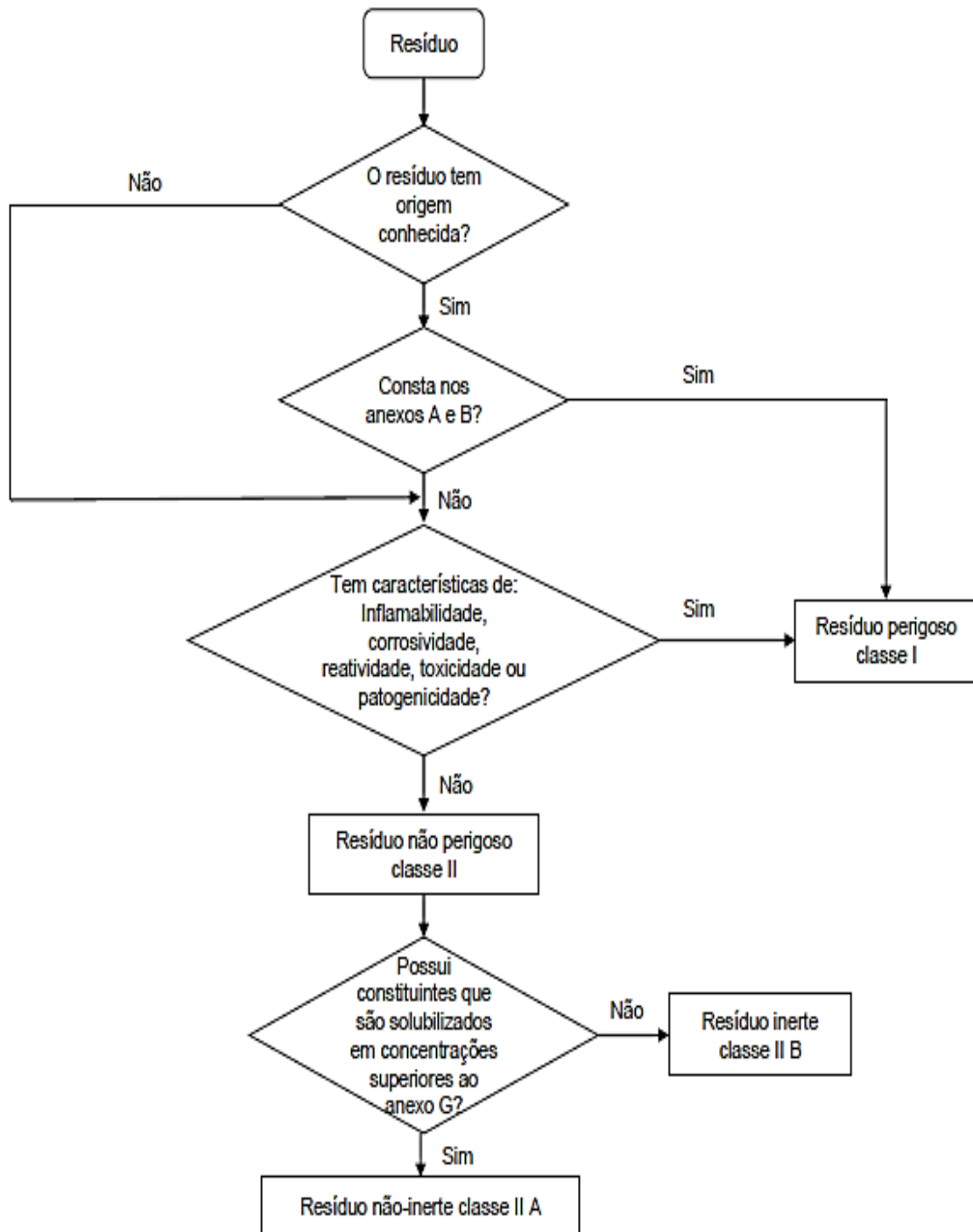
Resíduos classe II são divididos em duas classes, sendo elas: a classe II A – Não inertes e a classe II B – Inertes. Os resíduos da classe II A podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Já os resíduos classe II B são aqueles que quando entram em contato com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não apresentam a solubilização de seus constituintes a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. São exemplos de resíduos não perigosos, que constam no anexo G da NBR 10004: restos de alimentos, resíduo de papel e papelão, resíduos de borracha, resíduos de madeira, e outros (ABNT, 2004).

O diagrama da norma em questão, apresentado na Figura 8, simplifica e especifica a classificação, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), sendo a análise executada da seguinte forma: se o resíduo tem origem conhecida e consta nos anexos A ou B ou, ainda, se não tem origem conhecida, mas possui características inflamáveis, corrosivas, reativas, tóxicas ou patogênicas este é considerado um resíduo perigoso. Já o resíduo que não tem origem conhecida e não possui as características citadas trata-se, então, de um resíduo não perigoso, classe II. Além disso, se o resíduo possui constituintes que são solubilizados em concentrações superiores ao anexo G, este é classificado como resíduo não-inerte, classe II A, caso essa concentração não seja superior trata-se de um resíduo inerte, classe II B.

2.2.2 Resíduos da Construção Civil

Os resíduos da construção civil representam uma parcela considerável do total de resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas. Neles estão englobados quaisquer tipos de resíduos advindos de construções, demolições, reformas, reparos e da preparação e escavação de terrenos. A Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de tais resíduos (CONAMA, 2002).

Figura 8 – Caracterização e Classificação de Resíduos Sólidos



Fonte: ABNT, 2004.

De acordo com a Resolução citada, os resíduos da construção civil são classificados como:

- Classe A- Resíduos reutilizáveis na própria construção ou recicláveis como agregados, tais como: materiais cerâmicos, argamassa e concreto.

- Classe B- Resíduos recicláveis para outras destinações como, por exemplo, plásticos, papel, papelão, metais, vidros, embalagens vazias e outros;
- Classe C- São os resíduos que não possuem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, como os produtos oriundos do gesso;
- Classe D- Resíduos perigosos resultantes da construção, como: tintas, solventes, óleos e outros, ou contaminados provenientes de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

O Quadro 1, cita e exemplifica tais Classes, de acordo com o Conama (2002).

Quadro 1 – Classificação dos resíduos da construção civil de acordo com a resolução 307

CLASSE	DESCRIÇÃO
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: construção, demolição, reformas, pavimentação e de outras obras de infraestrutura, componentes cerâmicos, argamassas e concreto, de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto e outros.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Adaptado de CONAMA, 2002.

Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão contemplar, segundo o CONAMA (2002), algumas etapas. A primeira é a caracterização, nesta etapa os resíduos são identificados e quantificados pelo gerador; depois vem a triagem, que deverá ser realizada, pelo gerador na origem, de preferência, ou nas áreas de destinação próprias para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas em tal Resolução; no acondicionamento, o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte deve ser garantido pelo gerador, devendo este assegurar as condições de reutilização e reciclagem sempre que possível; o transporte deverá ser realizado observando todas as etapas anteriores e conforme as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos; já a destinação dos resíduos da construção civil será, conforme a Resolução citada, das seguintes formas:

- Classe A: deverão ser utilizados ou reciclados na forma de agregados, ou podem ser encaminhados a áreas licenciadas de aterro de resíduos da construção civil, de tal forma que possibilite a sua utilização ou reciclagem futura;
- Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, e podem ser utilizados posteriormente se forem dispostos corretamente;
- Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
- Classe D: assim como a classe C, deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

2.2.3 Diretrizes para o Gerenciamento dos Resíduos

2.2.3.1 Política Nacional do Meio Ambiente

A Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e define seus fins e mecanismos, e dá outras providências. Tem por objetivo a preservação da qualidade ambiental e manutenção do equilíbrio ecológico e visa melhorias e punição ao agente poluidor ou predador, impondo a este a obrigação de recuperar ou indenizar os danos causados. (BRASIL, 1981).

Neste quesito a construção civil tem forte impacto, devido à grande geração de resíduos sólidos muitas vezes descartados de maneira incorreta o que pode acarretar prejuízos tanto financeiros quanto ambientais.

Acerca disso, a Lei 6.938 define poluição e cita no Artigo 3º item III:

poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos; (BRASIL, 1981).

2.2.3.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dispõe sobre seus princípios, finalidade e importância. Expõe definições relacionadas ao tema em questão, cita as obrigações dos setores públicos e privados e visa

sempre à gestão e destinação ambientalmente adequada dos resíduos. Por meio dela é possível saber os direitos, deveres e responsabilidades de cada setor inclusive das pessoas físicas (BRASIL, 2010).

Esta Lei demorou cerca de 20 anos para ser aprovada, contempla 57 artigos sobre a área ambiental e enfatiza a responsabilidade de todos na preservação ambiental. Cita ainda um método muito importante de reaproveitamento, a logística reversa, que prevê alguns procedimentos para viabilizar a volta dos resíduos sólidos ao setor empresarial de origem para reutilização ou descarte correto do ponto de vista ambiental.

E, ainda, com o objetivo de reduzir os efeitos negativos gerados pelos resíduos, propõe-se a responsabilidade compartilhada ao longo do ciclo de vida de um produto e dispõe no capítulo III seção II, Artigo 30:

É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção. (BRASIL, 2010).

A Lei 12.305 trata, em seu artigo 18, do Plano Nacional dos Resíduos Sólidos que deve ser elaborado pelos municípios de todos os estados brasileiros e dispõe que a elaboração de Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou outros benefícios (BRASIL, 2010).

2.2.3.2.1 LOGÍSTICA REVERSA

A logística reversa, segundo a Euro Ambiental (2020), é um instrumento de desenvolvimento econômico e social que viabiliza a reinserção de resíduos sólidos ao setor empresarial, por meio de ações como a coleta adequada e a restituição destes, para que sejam reaproveitados tanto em seu próprio ciclo quanto em outros processos.

A Figura 9, mostra o ciclo do processo que começa com a produção dos produtos na indústria, depois estes são distribuídos nos comércios e consumidos, após o consumo descarta-se o que não é mais necessário e é realizada uma seleção dos produtos que podem ser reciclados, estes voltam para a indústria e são utilizados tanto para a produção do mesmo produto, quanto a produção de novos produtos.

Figura 9 – Logística Reversa



Fonte: CNM, 2020.

2.2.3.3 Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

A Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), institui também o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), obrigando cada município a elaborar seu plano de gestão e este deve propor ações a serem desenvolvidas pelos órgãos públicos, visando melhorias na saúde pública e na gestão ambiental do município. Por meio deste, é possível ter acesso à serviços como limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, tornando-se imprescindível e indispensável do ponto de vista ambiental. Além disso, através do PMGIRS os municípios conseguem ter o controle dos resíduos gerados e podem, então, realizar ações para a não geração, redução, reutilização, tratamento e destinação final adequada.

O PMGIRS de Anápolis foi levado à Audiência Pública em 2009 e proposto levando-se em conta diversos aspectos do município, incluindo condições socioeconômicas, clima, relevo, aspectos quantitativos e qualitativos dos resíduos gerados, dentre outros (ANÁPOLIS, 2009).

Através da síntese apresentada para aprovação fica estabelecido segundo o Plano, Anápolis (2009), que os resíduos que ficarão sob a responsabilidade da prefeitura são os resíduos sólidos urbanos e os da construção civil considerados pequenos geradores, ou seja, geração menor ou igual a 1,0 m³. Porém, a prefeitura fica encarregada apenas da gestão desses resíduos e, portanto, o gerenciamento é terceirizado para a iniciativa privada. Já os

outros tipos de resíduos sólidos industriais como, por exemplo, de mineração, dos serviços públicos de água e esgoto, da logística reversa, da construção civil classificados como grandes geradores, entre outros, ficam apenas sob a fiscalização da prefeitura. O Plano cita ainda a cobrança da “taxa do lixo” que visa garantir a sustentabilidade econômica do gerenciamento dos resíduos.

2.2.3.4 Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil para o Município de Anápolis

A Lei nº 3418, de 25 de novembro de 2009 (BRASIL, 2009), institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC) para o Município de Anápolis e dá outras providências. Trata-se de um documento que indica a geração de resíduos provindos de construções, demolições, reformas e reparos. Tem por função estabelecer os procedimentos de manejo e destinação correta dos resíduos e é necessário na aprovação de projetos e emissão de Alvará de Construção.

Cita no Artigo 7º, que o Município deve, através do Órgão Municipal do Meio Ambiente, licenciar áreas para a disposição dos resíduos Classe A, reutilizáveis ou recicláveis como agregados, reservando os materiais de forma adequada afim de usá-los posteriormente ou para futura utilização da área, reduzindo-os ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2009).

Já para a separação dos resíduos da construção civil, (BRASIL, 2009), a referida Lei dispõe, em seu Artigo 8º, que o Município deve licenciar as áreas mencionadas no artigo 7º desta Lei, com o objetivo de instalar estação de transbordo e triagem dos resíduos recebidos, possíveis transformações e posterior remoção para adequada disposição.

2.3 COPROCESSAMENTO

Atualmente, tem-se discutindo bastante acerca da sustentabilidade. As empresas tornaram-se responsáveis pela aquisição de métodos que contribuam para tal e para a minimização dos impactos ambientais de seus processos. Nesse âmbito, o coprocessamento entra como uma alternativa segura e eficaz agindo na destruição completa de resíduos, ou seja, eliminando-os, além de ter uma redução na emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, e tendo como uma de suas vantagens o rápido retorno financeiro (FIALHO; SOUZA, 2015).

Segundo Andrade e Ferreira (2011), as cidades que não possuem uma boa gestão de resíduos sólidos podem sofrer sérios danos, como a poluição atmosférica, odores e gases nocivos, poluição do lençol freático, contaminação e degradação do solo, perda do valor imobiliário e proliferação de doenças. Diante disso, as indústrias de cimento possuem uma excelente alternativa para colaborar com a problemática da destinação inadequada dos resíduos e redução da exploração de recursos naturais (SANTOS NETO, 2007). A Figura 10, mostra as consequências da má gestão de resíduos, os quais acabam descartados, na maioria das vezes, de maneira incorreta ocasionando inúmeros danos à população e ao meio ambiente.

Figura 10 – Consequências da má gestão de resíduos



Fonte: L.A. VICTA, 2019.

O coprocessamento, de acordo com a Votorantim Cimentos (2021), é uma tecnologia que consiste na destinação adequada e correta, do ponto de vista ambiental, de diferentes tipos de resíduos, usando-os como fonte de energia nos fornos das indústrias de cimento. Tais resíduos provindos dos diversos setores da indústria são bem diversificados, tais como: pneus inservíveis, solos contaminados, refilas de couro, poeira de jateamento, aparas de calçados, tiras de borracha e resíduo de areia, e outros (com exceção de resíduos patogênicos, materiais radioativos, lixo doméstico, pesticidas, material explosivo, pilhas e baterias usadas). Esses detritos podem ainda, após a incineração, serem utilizados como matérias-primas substituindo os recursos não renováveis que participam da fabricação do cimento, tais como argila e calcário. Tocchetto (2005), confirma essa afirmação e diz que as cinzas provenientes da queima são incorporadas ao clínquer, o que evita a disposição destas em aterros. A Figura 11,

esquematisa o coprocessamento e o define como uma operação combinada entre a queima e destruição de resíduos e a produção de clínquer.

Figura 11 – Coprocessamento de Resíduos



Fonte: KIHARA, 2011.

A chave do processo de fabricação do cimento é a chamada combustão, reação que transforma as matérias-primas em clínquer. Alguns parâmetros são ideais para uma boa combustão como, por exemplo, a alta temperatura da chama, o tempo de residência dos gases, a turbulência no interior do forno, e outros. No coprocessamento em fornos de cimento, todos esses parâmetros são utilizados integradamente ao processo de fabricação de cimentos. O processo é executado de forma segura e não altera a qualidade do cimento, além de ser ambientalmente adequado contribuindo para o bem estar dos trabalhadores do setor e para a sociedade (ABCP, 2019a).

Para alguns resíduos há a necessidade de um tratamento prévio para, então, serem injetados no forno. Este tratamento é chamado de *blendagem*, um processo de mistura de resíduos compatíveis, dos quais forma-se um produto homogêneo com características físico-químicas constantes (FIGUEIREDO *et al.*, 2008). O produto resultante propicia uma combustão mais estável no forno rotativo (MARINGOLO, 2001).

Alguns materiais não podem ser coprocessados, ou seja, o coprocessamento não é uma solução para todos os resíduos. Segundo Kihara (2011), os resíduos de serviços de saúde, produtos domésticos não selecionados, elementos radioativos, substâncias organocloradas, agrotóxicos e substâncias explosivas, são proibidos nessa técnica.

A Figura 12, mostra que o coprocessamento permite que a indústria cimenteira possua fundamental e significativa importância no gerenciamento de resíduos sólidos de outros setores da indústria.

Figura 12 – Resíduos usados como combustível e matérias-primas



Fonte: ABCP, 2019a.

2.3.1 Resíduos Usados como Combustível ou Matérias-primas

Figura 13 – Grande variedade de resíduos usados em fornos de cimento



Fonte: ABCP, 2019b.

A Figura 13, mostra a grande variedade de resíduos que podem ser usados como combustível e matéria-prima. Tais resíduos são provindos dos mais variados setores da indústria e podem ter os fornos de cimento como destinação final adequada do ponto de vista ambiental.

Conforme a ABCP (2019b), os resíduos usados como combustível são:

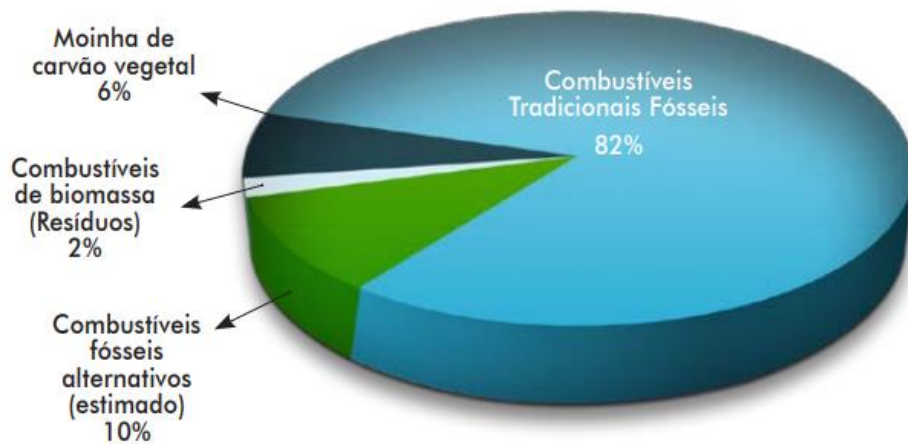
- Solventes, resíduos oleosos e resíduos têxteis;
- Óleos usados (de carro e fábricas);
- Pneus usados e resíduos de picagem de veículos;
- Graxas, lamas de processos químicos e de destilação;
- Resíduos de empacotamento e de borracha;
- Resíduos plásticos, de serragem e de papel;
- Lama de esgoto, ossos de animais e grãos vencidos;
- Resíduos do agronegócio;
- Combustíveis derivados de resíduos urbanos.

Já os resíduos utilizados como matérias-primas são, ainda, segundo a ABCP (2019b):

- Lama com alumina (alumínio);
- Lamas siderúrgicas (ferro);
- Areia de fundição (sílica);
- Terras de filtragem (sílica);
- Refratários usados (alumínio);
- Resíduos da fabricação de vidros (flúor);
- Gesso, Cinzas e Escória;
- Resíduos da perfuração de poços de petróleo;
- Solos contaminados dos postos de combustíveis.

A ABCP (2019b), com base no ano de 2017, relata que a utilização dos combustíveis fósseis representa 82% de capacidade calorífica utilizada para a produção do clínquer, o restante é constituído de resíduos e moimha de carvão vegetal, ficando os combustíveis alternativos responsáveis por 10% desta capacidade, como mostra a Figura 14.

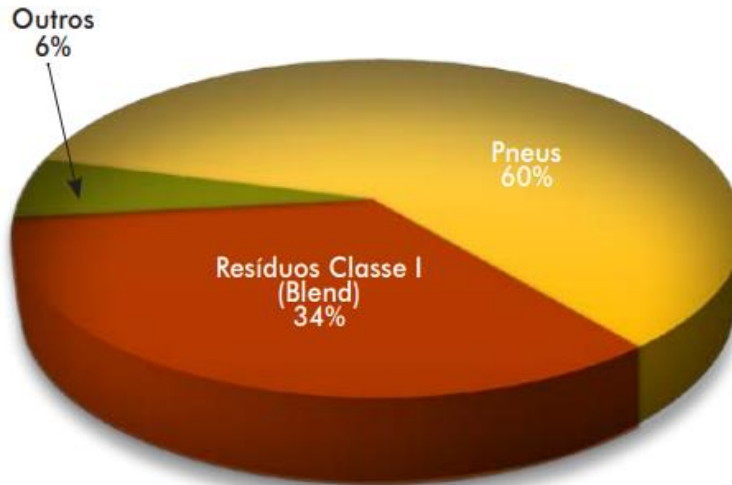
Figura 14 – Perfil dos combustíveis alternativos e tradicionais



Fonte: ABCP, 2019b.

Em relação aos combustíveis alternativos citados anteriormente e conforme a Figura 15, destacam-se os pneus inservíveis com 60% de substituição e o *blend*, mistura de resíduos, com 34%. A classe “Outros” se refere à serragem conjuntamente com óleo, solos contaminados e solventes, representando 6% desta substituição (ABCP, 2019b).

Figura 15 – Substitutos de combustíveis fósseis, matérias-primas e biomassas coprocessadas



Fonte: ABCP, 2019b.

2.3.2 Vantagens e Desvantagens do Coprocessamento

São apresentadas a seguir, as vantagens ambientais, sociais e econômicas da prática do coprocessamento, por ABCP (2019b).

- Ambiental: Preservação de recursos naturais; causa redução das emissões dos gases responsáveis pelo efeito estufa; diminui o passivo ambiental; possibilita o crescimento de outras tecnologias adequadas de destinação.
- Social: Atua na geração de empregos tanto nas fábricas como no entorno destas; contribui para a não utilização dos lixões e conseqüentemente a melhoria da saúde.
- Econômica: Aumenta a vida útil de aterros sanitários; reduz os custos de energia térmica.

Já as desvantagens, citadas por Brenhas *et al.* (2009) são:

- O coprocessamento só pode ser realizado em locais já existentes, o que não permite uma flexibilização na escolha do local;
- Os resíduos que possuam cloro não podem ser queimados, pois em níveis elevados deste componente a qualidade do clínquer e o normal funcionamento do sistema são prejudicados;
- Há necessidade de preparação prévia dos resíduos;
- Por conta de um controle específico e constante das emissões, existe um custo adicional em termos de investimento e manutenção de equipamentos.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 FÁBRICA ECOBLENDING

O estudo de caso foi realizado na Fábrica Ecoblending, no município de Cezarina, Estado de Goiás. Esta trata-se de uma prestadora de serviços ambientais especializada no tratamento e gestão de resíduos industriais que utiliza a tecnologia de coprocessamento para destruição térmica dos resíduos industriais com recuperação energética e substituição de matéria prima no processo de produção de clínquer (ECOBLENDING, 2021).

Em 2006 foi inaugurada, ainda de acordo com a Ecoblending (2021), a planta de Cezarina com 16 mil m² e capacidade de produção de 2 mil toneladas de AF50mm/mês, tornando-se referência em tratamento de resíduos industriais no estado de Goiás. Com o aumento da demanda e oportunidades em atender novos ramos como o tratamento de resíduos Farmoquímicos e Cosméticos, a Ecoblending inaugurou, em 2012, a Ecofármacos em Aparecida de Goiânia com 6.650 m². Foi inaugurado, em 2016, o aterro classe I e II em Guapó, Goiás, com soluções para resíduos sanitários, industriais, Unidade de Tratamento de Resíduos do Serviço de Saúde e Estação de Tratamento de Efluente, seguindo todas as normas de sua controladora. Já em 2020, foram iniciadas as operações de *landfarming*, um método de disposição de resíduos que consiste na degradação biológica de resíduos em uma camada superior de solo.

Desde o início da Fábrica, mais de 300.000 toneladas de resíduos foram coprocessados através do reaproveitamento energético e mais de 20.000 toneladas de resíduos gerenciados para a destinação ambientalmente correta (ECOBLENDING, 2021).

A Figura 16 mostra a fábrica Ecoblending em Cezarina, no Estado de Goiás.

Figura 16 – Fábrica Ecoblending Cezarina



Fonte: AUTORA, 2021.

3.1.1 Produção do *blend*

3.1.1.1 Chegada dos Resíduos à Fábrica

Ao receber os resíduos a Empresa tem a preocupação de identificar aqueles que podem ser reaproveitados. Assim que os caminhões chegam à fábrica, precisam passar pela balança que pesa a quantidade de resíduos que está entrando, como mostra a Figura 17, sendo essa uma forma de monitorar a produção e o quantitativo de resíduos que poderão ser coprocessados após a separação (ECOBLENDING, 2021).

Figura 17 – Balança Fábrica Ecoblending



Fonte: AUTORA, 2021.

3.1.1.2 Laboratório

Para realizar a caracterização físico-química, saber a qualidade do resíduo e se ele poderá ser incluído à mistura, são realizadas análises em laboratório que determinam a umidade, poder calorífico, cloro e outros. Essas informações são extremamente necessárias pois são utilizadas pela fábrica de cimento para definir as especificações mínimas e máximas para receber o blend (AMBIENTAL, 2020).

A Figura 18, mostra o laboratório da Fábrica Ecoblending.

Figura 18 – Laboratório Ecoblending

Fonte: AUTORA, 2021.

3.1.1.3 Triagem dos Resíduos

No processo de triagem os resíduos são manualmente identificados, separados e se puderem ser reaproveitados são direcionados para parceiros especializados que os transformam em novos produtos, cumprindo com o ciclo da economia circular que, segundo a CNI (2021), trata-se de um conceito que vincula desenvolvimento econômico a um eficiente uso de recursos naturais, através de novos métodos de negócios e da otimização nos processos de fabricação com dependência reduzida de matéria-prima virgem. Ao reciclar esses resíduos, a Ecoblending elimina o desperdício de matéria-prima e reduz os gastos com recursos financeiros, naturais e químicos (ECOBLENDING, 2021).

Segundo a Ambiental (2020), a *blendagem* de resíduos depende da correta combinação. É necessário saber a composição química dos elementos, o tipo dos resíduos e a compatibilidade entre eles, para obter um resultado homogêneo.

A Figura 19, mostra a separação dos resíduos, dispostos separadamente conforme o tipo e a classificação. Os resíduos sólidos Classe I (perigosos) devem ser armazenados conforme a norma NBR 12.235 (ABNT, 1992), que dispõe sobre o armazenamento de modo a

não alterar a quantidade/qualidade do resíduo e exige que a análise das propriedades físicas e químicas do resíduo antes de ser armazenado. O local deve possuir um sistema de isolamento que impeça o acesso de pessoas não autorizadas, sinalização de segurança que identifique os riscos de acesso ao local e áreas definidas, isoladas e sinalizadas para armazenamento de resíduos compatíveis. Já o armazenamento dos resíduos Classe II (não perigosos) deve seguir a norma NBR 11.174 (ABNT, 1990), que dispõe o armazenamento de maneira que minimize o risco de contaminação ambiental e que o local deve ser aprovado pelo órgão Ambiental do Estado. Os resíduos Classe II não devem ser dispostos juntamente com resíduos Classe I. O armazenamento de resíduos Classe II pode ser realizado em contêineres e/ou tambores, em tanques e a granel. Na imagem dá para perceber alguns erros na disposição dos materiais, muitos em contato direto com a superfície e ultrapassando os limites das baias.

Figura 19 – Resíduos Separados após Triagem



Fonte: AUTORA, 2021.

3.1.1.4 Trituração

Segundo a Ambiental (2020), trituração dos materiais consiste em reduzir o seu tamanho, atingindo a granulometria desejada, no caso da fábrica estudada a granulometria é de 5 mm. A Figura 20, mostra o Triturador de resíduos utilizado pela Ecoblending. Já na Figura 21, tem-se o material triturado que caso não tenha atingido a granulometria desejada passa por nova trituração. A Figura 22, mostra o produto final após a trituração, contendo a granulometria ideal para posterior mistura.

Figura 20 – Triturador de Resíduos Sólidos



Fonte: AUTORA, 2021.

Figura 21 – Materiais após a Trituração



Fonte: AUTORA, 2021.

Figura 22 – Produto Final após a Trituração



Fonte: AUTORA, 2021.

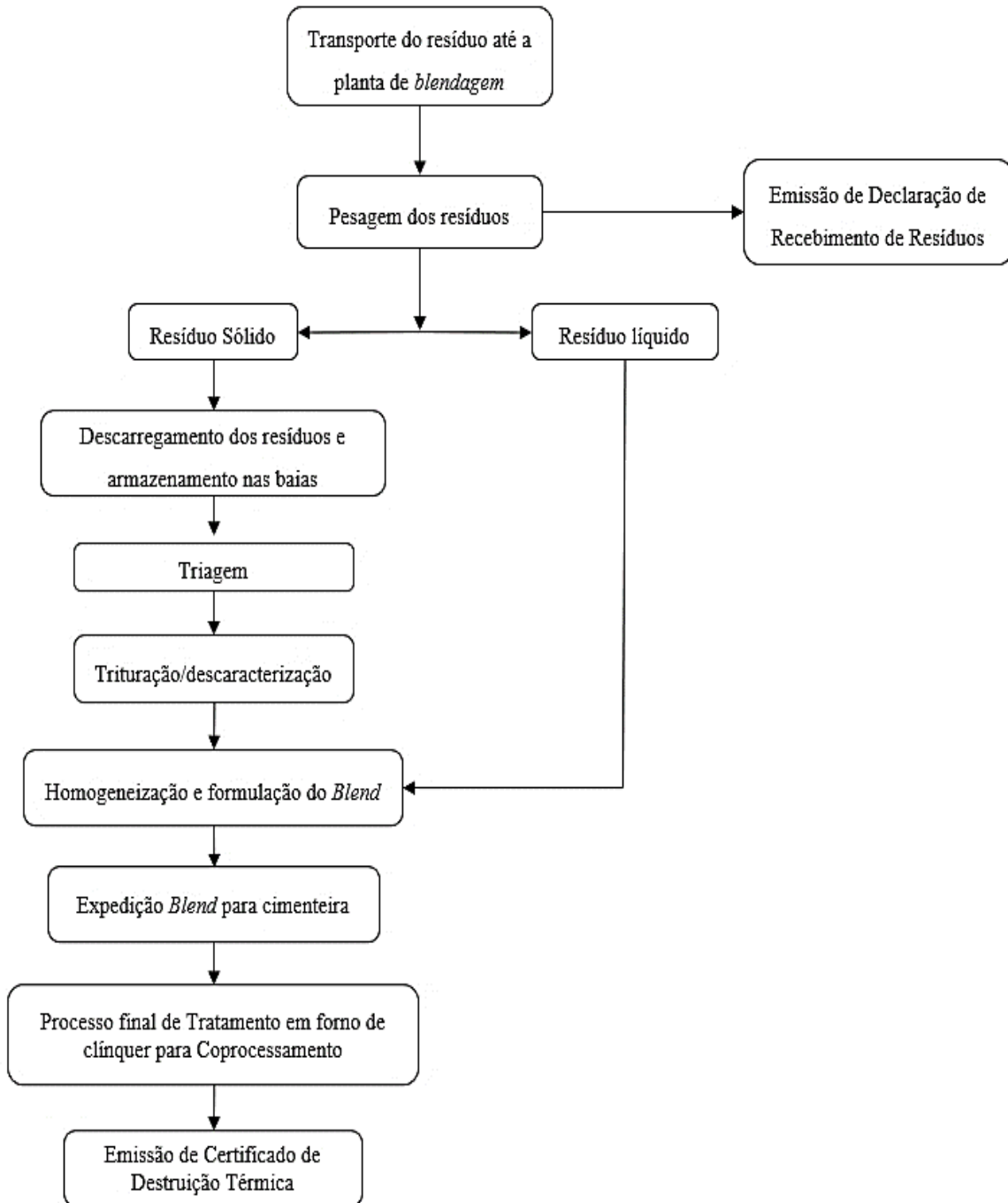
3.1.1.5 Mistura e Finalização do *Blend*

Após a trituração, os materiais passam pela mistura, e são adicionados a borra oleosa e a biomassa, formando assim um composto homogêneo, o *blend* (AMBIENTAL, 2020).

Depois de todos esses processos, o *blend* está pronto e será ensacado e enviado à cimenteira, onde será usado como combustível e matéria prima na produção do cimento. Mensalmente, segundo a Ecoblending (2021), são enviadas 2.000 toneladas de resíduos triturados para a cimenteira.

Na Figura 23, tem-se um fluxograma que resume o processo da *blendagem*, o qual se inicia com o transporte do resíduo até a fábrica, logo após a entrada é feita a pesagem para ter um controle da quantidade de materiais que entram no local e, então, é feita uma Declaração de Recebimento de Resíduos que, segundo a VG Resíduos Ltda (2020), trata-se de uma declaração emitida pelos responsáveis do local de recebimento, comprovando a quantidade e tipo de resíduos recebidos, devendo constar a data e assinatura dos responsáveis pela entrega e recebimento dos resíduos. Caso o resíduo seja sólido, este será levado para as baias e passará por triagem e trituração/descharacterização, depois será misturado com os resíduos líquidos responsáveis pela homogeneização e formulação do *blend* (ECOBLENDING, 2021). Após estes processos, tem-se o produto final que é encaminhado para a cimenteira, onde passará pelo tratamento em fornos de clínquer, e logo após é emitido o Certificado de Destruição Térmica que, de acordo com a CETESB (2021), trata-se de um documento emitido pelo responsável pela destruição térmica de resíduos, certificando a realização da destruição dos resíduos recebidos, constando a quantidade e tipo dos resíduos que sofreram destruição térmica.

Figura 23 – Fluxograma de Tratamento de Resíduo por *Blendagem*



Fonte: ECOBLENDING, 2021.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CIMENTEIRA

Os resultados da presente pesquisa foram obtidos através de análises dos relatórios anuais da indústria que recebe o *blend* da Fábrica estudada, disponíveis no *site* da indústria. Tais resultados tem por finalidade demonstrar as vantagens obtidas pela Empresa resultantes da obtenção da técnica do coprocessamento.

4.1.1 Retorno Financeiro do Investimento e Economia

A indústria cimenteira aqui estudada¹, segundo o Relatório Anual da cimenteira (2017), trata-se de uma das maiores empresas internacionais de cimento, presente em oito países e tendo como principal cooperação ambiental a atividade de coprocessamento, realizada em 22 de suas unidades em todos os países onde tem operação. O investimento contínuo em coprocessamento faz da Empresa uma das líderes globais na aplicação da tecnologia. De acordo com o Relatório Anual da cimenteira (2018), o investimento na atividade no ano de 2018 foi de 2,8 milhões de euros e os resultados são muito positivos. A atividade de coprocessamento gerou, no ano, entre economia de combustível fóssil e receitas pelo tratamento de resíduos, aproximadamente 30 milhões de euros.

4.1.2 Redução da Emissão de Gases e Taxa de Substituição Térmica

Ainda de acordo com o Relatório Anual da cimenteira (2017), o coprocessamento contribui com a redução na emissão de GEE (Gases de Efeito Estufa) da companhia, dá uma destinação adequada a materiais inservíveis a outras indústrias e soluciona a problemática do lixo urbano. Em 2017, a taxa de substituição térmica cresceu 6,7% em relação a 2016. No ano, 582 mil toneladas de resíduos foram consumidas, evitando a emissão de 453 mil toneladas de CO₂.

A Tabela 3, faz um comparativo entre as emissões dos anos de 2016 e 2017, e mostra redução em algumas emissões, são elas: poeiras de 160 para 126g/t de clínquer, dióxido de enxofre de 287 para 269g/t de clínquer, compostos orgânicos voláteis de 40 para 19g/t de

¹ Este trabalho não possui autorização para citar o nome da cimenteira aqui estudada, porém todos os dados foram retirados do site da própria empresa.

clínquer e mercúrio de 108 para 25mg/t de clínquer. A tabela mostra também que houve um leve aumento em outras emissões: óxidos de nitrogênio de 1883 para 1890g/t de clínquer, cádmio + titânio de 34 para 72t.

Tabela 3 – Tabela de Emissões da cimenteira 2016 e 2017

Indicadores	2016	2017
Emissões de poeiras nos fornos (g/t clínquer)	160	126
Emissões específicas de óxidos de nitrogênio (NOx) (g/t clínquer)	1883	1890
Emissões específicas de dióxido de enxofre (SO2) (g/t clínquer)	287	269
Emissões específicas de compostos orgânicos voláteis (VOC/THC) (g/t clínquer)	40	19
Emissões específicas de mercúrio (HG) (mg/t clínquer)	108	25
Emissões específicas de cádmio + titânio (Cd + TI) (t)	34	72

Fonte: RELATÓRIO ANUAL DA CIMENTEIRA, 2017.

Em 2018, conforme o Relatório Anual da cimenteira (2018), a taxa de coprocessamento na fábrica cresceu 9% em relação ao ano anterior, atingindo 15,8% de substituição térmica, resultando em um crescimento de 84% considerando os últimos seis anos. Todos os países em que a companhia atua superaram suas taxas de coprocessamento em relação a 2017, sendo a África do Sul a que mais cresceu, 37,2%. No mesmo ano, 436 mil toneladas de CO² deixaram de ser emitidas pela empresa e foram substituídas por 293 mil toneladas de combustíveis fósseis e 104 mil toneladas de matérias-primas substituídas por 637 mil toneladas de resíduos.

A Tabela 4 mostra a Porcentagem de substituição térmica entre os anos 2016, 2017 e 2018, nos quais se percebe uma evolução crescente começando 2016 com 13,6%, passando para 14,5% em 2017 e evoluindo 9% em 2018 passando para 15,8%.

Tabela 4 – Porcentagem de substituição térmica entre 2016, 2017 e 2018

Ano	2016	2017	2018
Porcentagem de substituição térmica	13,6%	14,5%	15,8%
Evolução	-----		9%

Fonte: RELATÓRIO ANUAL DA CIMENTEIRA, 2018.

4.2 MELHORIAS QUE PODEM SER ADOTADAS PELA FÁBRICA ECOBLENDING

Em vista das normas apresentadas, percebe-se que alguns aspectos na Fábrica deixam a desejar e podem acabar contaminando o resíduo e alterando a qualidade do produto final. Para evitar que problemas aconteçam e otimizar o tempo e a produção, melhorias podem ser feitas. Primeiramente propõe-se a delimitação das baias, espaços limites nos quais os resíduos não devem ultrapassar, evitando o contato com resíduos de classes diferentes e deixando o local mais limpo. Além disso, placas devem ser colocadas nas baias indicando, conforme a NBR 12.235 (ABNT, 1992), os parâmetros analisados em cada resíduo, os métodos de amostragem utilizados, os métodos de análise e ensaios a serem feitos, quantas vezes essa análise deve ser feita, as características de reatividade, inflamabilidade e corrosividade dos resíduos e as propriedades que os caracterizam como tais, e a incompatibilidade com outros resíduos. Na Figura 24, tem-se um exemplo de limitação das baias que pode ser adotado pela Fábrica, evitando o contato de diferentes tipos de resíduos e mantendo a organização do local.

Figura 24 – Baias com limitação de espaço



Fonte: FRANK E SUSTENTABILIDADE, 2016.

Para que os materiais triturados não entrem em contato direto com a superfície da fábrica, podendo, assim, alterar suas propriedades, propõe-se a utilização de caçambas em esteiras, as quais receberão os resíduos triturados e os armazenarão até a próxima fase do processo, evitando contato com produtos de classes diferentes e, conseqüentemente, sua alteração química, resultando em um produto final adequado. A Figura 25, mostra um exemplo desse sistema de recepção dos resíduos triturados que pode ser adotado pela fábrica, visando melhorias nas operações e assegurando a qualidade do produto.

Figura 25 – Caçambas receptoras dos resíduos triturados



Fonte: VG RESÍDUOS LTDA, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria cimenteira cresce a cada dia e, conseqüentemente, cresce o uso de recursos naturais. Em vista disso, faz-se necessário o uso de métodos para reduzir tal exploração. O coprocessamento tem demonstrado ser uma ótima opção, agindo na redução de impactos ambientais e contribuindo com a destinação final de resíduos. Tais resíduos, muitas vezes descartados de forma irregular produzem impactos ambientais que atingem a sociedade e a natureza. Uma vez que esses perdem sua utilidade primária, ao invés de serem descartados, a sua utilização na produção de clínquer pode reduzir impactos e gerar novas oportunidades sustentáveis.

Apesar do acesso limitado de informações, buscou-se demonstrar nesta pesquisa os benefícios do coprocessamento de resíduos sólidos na produção de cimento através das vantagens econômicas e ambientais que a indústria estudada obteve após aderir à técnica. Mesmo não atingindo algumas metas, as emissões de gases da cimenteira ao longo dos anos analisados foram reduzidas consideravelmente, trazendo inúmeros benefícios ambientais. Através dos dados pesquisados, percebe-se que a implantação da técnica na produção do cimento é capaz de compensar o investimento inicial. Além disso, o processo contribui para a diminuição da demanda de locais para a disposição de aterros sanitários, evitando a contaminação do solo e do lençol freático, além de diminuir a utilização de materiais não renováveis.

Após analisar o estudo conclui-se que o coprocessamento é considerado um método eficaz e que tem apresentado resultados positivos para as empresas que o utilizam. A técnica tem crescido cada dia mais e tem grandes perspectivas para o futuro.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista um maior aprofundamento no assunto, alguns aspectos se revelaram interessantes para uma pesquisa mais detalhada. Recomenda-se para trabalhos futuros:

- a) Avaliar junto à Fábrica de *blend*, Ecoblending, melhorias a serem feitas no espaço de trabalho, visto que o local apresenta algumas irregularidades que podem ocasionar prejuízos de grande escala, tendo em vista o alto teor calorífero dos resíduos;
- b) Buscar formas de reduzir as emissões de gases que, mesmo tendo apresentado diminuições consideráveis, continuam elevados e podem causar danos ambientais a longo prazo;
- c) Estudar os impactos gerados à saúde e segurança dos funcionários e da população do entorno da Fábrica, através de entrevistas e pesquisas com os mesmos, afim de obter dados e entender todos os problemas gerados e dar soluções para reduzir tais consequências.

REFERÊNCIAS

AMBIENTAL, Silcon. **Entenda como funciona a *blendagem* de resíduos**. 2020. Disponível em: <https://blog.silcon.com.br/entenda-como-funciona-blendagem-de-residuos/>. Acesso em: 10 set. 2021.

AMBSCIENCE ENGENHARIA (org.). **O que é gerenciamento de resíduos sólidos e qual a sua importância?** Disponível em: <https://ambscience.com/o-que-e-gerenciamento-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

ANÁPOLIS. Prefeitura de Anápolis. **Síntese do Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para o município de Anápolis (PMGIRS/ Anápolis)**. 2009. Disponível em: <http://www.anapolis.go.gov.br/portal/arquivos/files/Sintese meio ambiente.pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.

ANDRADE; FERREIRA. A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL FRENTE ÀS QUESTÕES DA GLOBALIZAÇÃO. **Rede – Revista Eletrônica do Prodem**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 7-22, mar. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND a. **O coprocessamento é a destinação adequada e sustentável de resíduos e de passivos ambientais em fornos de cimento**. 2019. Disponível em: <https://coprocessamento.org.br/sobre/o-que-e-coprocessamento/>. Acesso em: 12 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND b. **Panorama do Coprocessamento 2019: ano base 2017**. 2019. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (São Paulo). **Uma Breve História do Cimento Portland**. 2009. Disponível em: <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/#:~:text=A%20origem%20do%20cimento%20remonta%20h%C3%A1%20cerca%20de%204.500%20anos.&text=O%20grande%20passo%20no%20desenvolvimento,de%20calc%C3%A1rios%20moles%20e%20argilosos>. Acesso em: 26 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11174: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes**. 1 ed. Rio de Janeiro, 1990. 7 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12235: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. 1 ed. Rio de Janeiro, 1992. 14 p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE DEFESA DO AMBIENTE (Belo Horizonte). **Ciclo de Vida do Cimento**. 2021. Disponível em: <https://www.amda.org.br/index.php/comunicacao/ciclo-de-vida/2767-ciclo-de-vida-do-cimento>. Acesso em: 10 maio 2021.

BRASIL. Constituição (1981). Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. 1. ed. Brasília.

BRASIL. Constituição (2010). 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. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. 1. ed. Brasília: Edições Câmara, 02 ago. 2010.

BRASIL (Município). Lei nº 3418, de 25 de novembro de 2009. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil para o Município de Anápolis, e dá outras providências. **Lei Nº 3418, de 25 de novembro de 2009**. 1. ed. Anápolis, GO, 30 maio 2012.

BRENNHAS, Maria José *et al.* Co-incineração em Fornos de Cimenteiras: análise de caso. **Revista da Faculdade de Ciências e Tecnologia**, Fernando Pessoa, n. 6, p. 82-94, 2009.

CARPIO, Ricardo Carrasco. **Otimização no Coprocessamento de Resíduos na Indústria do Cimento Envolvendo Custos, Qualidade e Impacto Ambiental**. 2005. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

CEMBUREAU. “**BEST AVAILABLE TECHNIQUES**”: for the cement industry. Europa: Cembureau, 1999 apud CARPIO (2005).

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). **Logística Reversa**: documentos. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/logisticareversa/glossario/documentos/>. Acesso em: 14 set. 2021.

CNI (Brasil). Associação Brasileira de Cimento Portland. **Indústria Brasileira de Cimento**: base para a construção do desenvolvimento. 2012. ed. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2012. 58 p.

CNI. **Economia circular: entenda o que é, suas características e benefícios**. 2021. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/economia-circular/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

CONAMA. Constituição (2002). Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. DOU, 17 jul. 2002. n. 136, Seção 1, p. 95-96.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (Brasília). **Acordo assinado nesta semana pode indicar avanço na logística reversa de eletroeletrônicos**. 2020. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/index.php/comunicacao/noticias/acordo-assinado-nesta-semana-pode-indicar-avanco-na-logistica-reversa-de-eletroeletronicos>. Acesso em: 27 maio 2021.

COSTA, Eugênio Bastos da *et al.* Clínquer Portland com reduzido impacto ambiental. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 75-86, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212013000200007>.

ECOBLENDING. **Soluções em gestão de resíduos.** Disponível em: <https://www.ecoblending.com.br/>. Acesso em: 15 set. 2021.

EURO AMBIENTAL (Santa Catarina). **Logística Reversa.** 2020. Disponível em: <https://euroambiental.eco.br/logistica-reversa/>. Acesso em: 27 maio 2021.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados1. **Cad. Ebape.Br**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 1-15, set. 2017.

FIALHO, Leticia de Sousa; SOUZA, Lucas de. Coprocessamento: Vantagens econômicas e ambientais em transformar resíduos sólidos. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 17, 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Encontro Internacional Sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente, 2015. p. 1-16.

FIGUEIREDO, Monique K-K. *et al.* BLEND de Resíduos Industriais – Uma avaliação por Conversão a Baixa Temperatura. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 31., 2008, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2008. p. 1-1.

FOLHA DE S. PAULO (Piauí). **40% do Lixo Produzido no Brasil em 2019 foi Descartado Incorretamente.** 2021. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/40-do-lixo-produzido-no-brasil-em-2019-foi-descartado-incorretamente/>. Acesso em: 27 maio 2021.

FRANKESUSTENTABILIDADE. **Reciclagem no Canteiro de Obras.** 2016. Disponível em: <https://www.frakesustentabilidade.com.br/2016/08/reciclagem-no-canteiro-de-obra.html>. Acesso em: 04 out. 2021.

GUIMARÃES, André Gomes. **Coprocessamento de Resíduos Perigosos em uma Indústria Cimenteira no Brasil: a Percepção dos Trabalhadores e Aspectos de Saúde Ocupacional.** 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Cidadania Ambiental e Participação, Universidade Aberta, Lisboa, 2015.

INDÚSTRIA HOJE. **Como é produzido o cimento?** 2014. Disponível em: <https://industria hoje.com.br/fabricacao-de-cimento>. Acesso em: 14 out. 2021.

KARSTENSEN, Kåre Helge. **Formação e Emissão de POP's pela Indústria de Cimento.** 2. ed. Noruega: Rima Editora, 2006. 190 p.

KIHARA, Yushiro. Coprocessamento de Resíduos em Fornos de Cimento: Resíduos Urbanos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2. 2011, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011. p. 1-39.

L.A. VICTA. **Entenda o custo ambiental causado pela má gestão de resíduos no Brasil.** 2019. Disponível em: <http://www.lavicta.com.br/2020/01/22/ma-gestao-residuos-brasil/>. Acesso em: 14 out. 2021.

MARINGOLO, Vagner. **Clínquer Coprocessado: Produto de Tecnologia Integrada para Sustentabilidade e Competitividade da Indústria de Cimento.** 2001. 174 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MAUÁ, Cimento. **Como é feito o cimento, sua composição e nomenclatura no mercado.** 2017. Disponível em: https://cimentomaua.com.br/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/?fb_comment_id=1806861512721198_3372002209540446. Acesso em: 26 maio 2021.

MONTEIRO, Luciane Pimentel Costa; MAINIER, Fernando Benedicto. Queima de Pneus Inservíveis em Fornos de Clínquer. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 52-58, jun. 2008.

QUEIROZ, Victor Silva. **Avaliação do Ciclo de Vida de Emissão de CO₂ na Indústria do Cimento:** um estudo comparativo entre o cimento LC³ e o cimento portland composto. 2018. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SANTOS NETO, Benedito da Costa. **Proposição de um Sistema de Gestão na Atividade de Co-processamento de Resíduos Industriais em Fornos de Cimento.** 2007. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Gestão, Centro Tecnológico, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2007.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (Brasil). **Relatório Anual.** 2019. ed. São Paulo: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2019. 44 p.

SOBRINHOPICUI. **Etapas do processo de fabricação de cimento:** por Jony Peterson. 2016. Disponível em: <http://sobrinhopicui.blogspot.com/2016/11/etapas-do-processo-de-fabricacao-de.html>. Acesso em: 11 out. 2021.

SOUZA, Cleanto Bezerra de. **Co-processamento de Resíduos Sólidos em Fábrica de Cimento.** 2009. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração Com Ênfase em Recursos Humanos, Faculdade São Luís de França, Aracajú, 2009.

TOCCHETTO, Profa. Dra. Marta Regina Lopes. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais.** 2005. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.

VG RESÍDUOS LTDA. **Como elaborar o certificado de destinação final?** 2020. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-elaborar-o-certificado-de-destinacao-final/>. Acesso em: 14 set. 2021.

VG RESÍDUOS LTDA. **Quais as melhores práticas para sua gestão de resíduos industriais?** 2018. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/quais-as-melhores-praticas-para-sua-gestao-de-residuos-industriais/>. Acesso em: 04 out. 2021.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Coprocessamento.** 2021. Disponível em: <http://www.votorantimcimentos.com/pt-BR/products-and-services/co-processing/Paginas/Verdera.aspx>. Acesso em: 19 jul. 2021.

VOTORANTIM CIMENTOS (org.). **O coprocessamento de resíduos na construção de um mundo feito para durar.** 2020. Disponível em:

<https://www.votorantimcimentos.com.br/noticia/o-coprocessamento-de-residuos-na-construcao-de-um-mundo-feito-para-durar/>. Acesso em: 29 mar. 2021.