

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE HORTÊNSIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

EMANUELA FIN

**PANORAMA DO COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO RIO
GRANDE DO SUL NO PERÍODO DE 2010 A 2017**

SÃO FRANCISCO DE PAULA

2019



uergs
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Hortênsias

EMANUELA FIN

**PANORAMA DO COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO
RIO GRANDE DO SUL NO PERÍODO DE 2010 A 2017**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ambiente e Sustentabilidade, da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ambiente e Sustentabilidade**.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Tramontina

SÃO FRANCISCO DE PAULA

2019

Catálogo de publicação na fonte (CIP)

F491p Fin, Emanuela

Panorama do coprocessamento de resíduos industriais no Rio Grande do Sul no período de 2010 a 2017/ Emanuela Fin – São Francisco de Paula, 2019.

135 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Unidade em São Francisco de Paula, 2019.

Orientadora: Prof.^a. Dra. Ana Carolina Tramontina

1. Coprocessamento. 2. Destinação Final. 3. Resíduos Industriais. 4. Dissertação. I. Tramontina, Ana Carolina. II. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Unidade em São Francisco de Paula. III. Título.

EMANUELA FIN

**PANORAMA DO COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO
RIO GRANDE DO SUL NO PERÍODO DE 2010 A 2017**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre na
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina
Tramontina

Aprovada em: 16 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA

Ma. Francine Zanatta

Centro Universitário e Faculdades - UNIFTEC

Prof. Dr. Rafael Haag

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sustentabilidade pela oportunidade de aprendizado.

A orientadora Profa. Dra. Ana Carolina Tramontina por ter oportunizado, confiado e acreditado nesta pesquisa, bem como por todo o seu tempo, paciência, compreensão e auxílio prestado ao longo do mestrado.

Aos demais professores do PPGAS pelas experiências e conhecimentos repassados ao longo do curso.

A FEPAM, as unidades de blendagem de resíduos industriais e a cimenteira que realiza o coprocessamento no RS pela acolhida e pelos dados e informações fornecidas que permitiram a realização desta pesquisa.

A amiga Francine pela indicação do mestrado e pelo incentivo de sempre.

As amigas Taísa, Caroline e Daiana pelo apoio e auxílio durante a jornada acadêmica.

Aos demais colegas de mestrado pela convivência e troca de conhecimentos.

A minha família pelo amor incondicional, pelo apoio e incentivo constantes e entendimento das horas em que necessitei estar ausente.

A minha sobrinha e afilhada Valentina pelo carinho e pelos momentos de descontração.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

Muito obrigada!

RESUMO

A destinação final ambientalmente adequada e segura dos resíduos industriais representa um dos maiores desafios para a sociedade contemporânea, pois seu gerenciamento inadequado pode resultar em riscos à saúde pública e à qualidade ambiental, requerendo inovações tecnológicas e soluções definitivas. O coprocessamento em fornos de produção de cimento representa uma alternativa nobre para a destinação final de resíduos industriais, com a possibilidade de recuperação energética dos mesmos, em substituição parcial dos combustíveis fósseis e as matérias-primas tradicionais. Esta pesquisa tem por objetivo analisar o panorama do coprocessamento dos resíduos industriais com características de inflamabilidade no estado do Rio Grande do Sul, no período de 2010 a 2017, visando os benefícios desta alternativa tecnológica para o ambiente e sociedade, com base nos dados fornecidos pela FEPAM, através das planilhas trimestrais de resíduos do SIGECORS e dados das unidades de blendagem e de coprocessamento localizadas no estado, referentes aos resíduos destinados ao coprocessamento do período analisado. Os resultados apresentam evolução da quantidade de resíduos industriais destinados ao coprocessamento desde a implantação das unidades de blendagem e de coprocessamento no estado, representando a eliminação do passivo ambiental na ordem de 92.611,02 toneladas no período analisado. Dos resíduos destinados ao coprocessamento, os resíduos classe I gerados pela indústria mecânica, metalúrgica, dentre outras, tiveram maior contribuição. Desta forma, pode-se concluir que a exigência da Portaria 016/2010 impulsionou o desenvolvimento e aplicação da tecnologia de coprocessamento no estado do RS, trazendo vantagens nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, se destacando como a alternativa disponível no estado que apresenta melhor custo/benefício, desde que aplicada com os devidos controles ambientais e utilização de combustível derivado de resíduos industriais de fontes confiáveis e seguras.

Palavras-chave: Destinação final. Resíduos industriais. Coprocessamento

ABSTRACT

The environmentally adequate and safe final destination of industrial waste represents one of the greatest challenges for contemporary society, since its inadequate management, can result in risks to public health and environmental quality, requiring technological innovations and definitive solutions. Coprocessing in cement kilns represents a noble alternative for the final disposal of industrial waste, with the possibility of energy recovery of the same, in partial substitution of fossil fuels and traditional raw materials. This research has the objective of analyzing the scenario of the co-processing of industrial waste with characteristics of flammability in the state of Rio Grande do Sul, from 2010 to 2017, aiming at the benefits of this technological alternative for the environment and society, based on the data provided by FEPAM, through the quarterly waste sheets of SIGECORS and data of the blending and coprocessing units located in the state, related to the waste destined to the coprocessing of the analyzed period. The results show the evolution of the amount of industrial waste destined for coprocessing since the implantation of the blending and coprocessing units in the state, representing the elimination of environmental liabilities in the order of 92.611,02 tons in the analyzed period. Of the waste destined to the coprocessing, class I waste generated by the mechanical, metallurgical industry, among others, a greater contribution. In this way, it can be concluded that the requirement of Ordinance 016/2010 promoted the development and application of coprocessing technology in the State of Rio Grande do Sul, bringing advantages in environmental, social and economic aspects, highlighting as the available alternative in the state that presents better cost / benefit ratio, provided that it is applied with environmental controls and the use of fuel derived from industrial waste from reliable and safe sources.

Keywords: Final destination. Industrial waste. Coprocessing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estratégia de gestão integrada de resíduos sólidos	25
Figura 2 - Produção de cimento por região no ano de 2014.....	31
Figura 3 - Consumo de cimento e economia no Brasil de 1970 a 2015	32
Figura 4 - Venda de cimento acumulada em 12 meses no mercado interno brasileiro	33
Figura 5 - Identificação das zonas de um forno rotativo de via seca com pré-aquecedor.....	38
Figura 6 - Processo de fabricação de cimento	39
Figura 7 - Eficiência energética do setor cimenteiro no mundo.....	40
Figura 8 - Evolução da representatividade das principais fontes de energia usadas em cimenteiras do Brasil ao longo do tempo	41
Figura 9 - Percentual por poder calorífico (kcal/kg) dos combustíveis alternativos e tradicionais	43
Figura 10 - Evolução dos resíduos coprocessados em fornos de cimento em t.....	45
Figura 11 - Comparação PIB do Brasil e RSI coprocessados de 2010 a 2015.....	46
Figura 12 - Percentuais de combustíveis e matérias-primas alternativas utilizadas pela indústria brasileira em 2016	47
Figura 13 - Utilização de combustíveis alternativos por diferentes países.....	48
Figura 14 - Estimativa do uso de combustíveis alternativos no período de 2006 a 2050	48
Figura 15 - Percentual por poder calorífico (kcal/kg) de resíduos utilizados como combustível alternativo na indústria cimenteira em 2016.....	52
Figura 16 - Percentual (kcal/kg) de combustíveis de biomassa utilizada na indústria cimenteira em 2016	53
Figura 17 - Percentual em toneladas de matéria-prima alternativa utilizada pela indústria cimenteira brasileira em 2016.....	53
Figura 18 - Evolução do coprocessamento de pneus no Brasil	55
Figura 19 - Pontos de alimentação de resíduos para coprocessamento	56

Figura 20 - Exemplos de alimentação de combustíveis e matérias-primas alternativas	58
Figura 21 - Perfil de temperatura do material sólido e do gás com seus respectivos tempos de retenção que ocorrem no forno e no calcinador durante a produção de cimento	59
Figura 22 - Emissão específica (kg CO ₂ /t cimento) nos países produtores de cimento	64
Figura 23 - Localização das centrais de recebimento e destinação de RSI Classe I no RS	75
Figura 24 - Localização das unidades de blendagem no RS	77
Figura 25 - Amostras coletadas e enviadas para o laboratório da unidade de Farroupilha	78
Figura 26 - Armazenamento dos resíduos classe I em box pré-estabelecido	79
Figura 27 - Armazenamento temporário dos resíduos pastosos	79
Figura 28 - Box de Pré- <i>blend</i>	80
Figura 29 - <i>Blend</i> final com granulometria de 50 mm	81
Figura 30 - Processo de blendagem adotado na unidade de Farroupilha/RS	82
Figura 31 - Localização das unidades de coprocessamento e de blendagem no RS	83
Figura 32 - Localização das unidades de coprocessamento declaradas nas planilhas do SIGECORS em outros estados	84
Figura 33 - Evolução de resíduos destinados a atividade de coprocessamento pelas unidades de preparação de <i>blend</i> de resíduos industriais, expressos em toneladas.....	85
Figura 34 - Quantidade de resíduos coprocessados em fornos de cimento no RS no período de 2010 a 2017, expressos em toneladas.....	86
Figura 35 - Quantidade de resíduos destinados ao coprocessamento em fornos de cimento localizados em outros estados no período de 2010 a 2017, expressos em toneladas	86
Figura 36 - Comparação das quantidades anuais de resíduos destinados ao coprocessamento no RS e para outros estados no período de 2010 a 2017, expressos em toneladas.....	87
Figura 37 - Percentuais de resíduos expressos em toneladas destinados ao coprocessamento no estado do RS no período de 2010 a 2017	88
Figura 38 - Percentuais de resíduos expressos em toneladas destinados ao coprocessamento para fora do estado do RS no período de 2010 a 2017	89

Figura 39 - Percentuais de resíduos Classe I e Classe II destinados ao coprocessamento no período de 2010 a 2017	89
Figura 40 - Percentual dos maiores volumes recebidos em toneladas em uma das unidades de blendagem do RS.....	91
Figura 41 - Percentual dos combustíveis alternativos utilizados em 2017 na cimenteira de Candiota/RS.....	92
Figura 42 - Perfil dos combustíveis e matérias-primas alternativas coprocessadas no forno de clínquer em Candiota no ano de 2017	93
Figura 43 - Percentuais das maiores atividades geradoras de RSI Classe I no RS.....	93
Figura 44 - Percentuais das maiores atividades geradoras de RSI Classe II no RS	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Maiores produtores mundiais de cimento em 2017.....	30
Tabela 2 - Especificações mínimas na composição do <i>blend</i> de resíduos para serem utilizados como substituto energético	51
Tabela 3 - Exemplos de poder calorífico de diferentes resíduos usados como combustíveis..	52
Tabela 4 - Limites de emissão de acordo com a Resolução CONSEMA 02/00	67
Tabela 5 - Limites de emissão para coprocessamento em fornos de clínquer e produção de cimento no RS, segundo Diretriz Técnica nº 01/2018.....	76
Tabela 6 - Resíduos não passíveis de coprocessamento declarados nas planilhas do SIGECORS.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
ABETRE - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
CDR – Combustível Derivado de Resíduos
CE – Comunidade Européia
CEMBUREAU – European Cement Association
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFR – Código de Regulações Federais
CNI - Confederação Nacional da Indústria
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente
COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
DN - Deliberação Normativa
EIPPCB - European Integrated Pollution Prevention and Control
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EPI – Equipamento de Proteção Individual
EVQ - Estudo de Viabilidade de Queima
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Rossler
FIERGS – Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul
GEE - Gases do Efeito Estufa
HCL - Ácido Clorídrico
HF - Ácido Fluorídrico
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEA - International Energy Agency
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LO – Licença de Operação
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MP - Material Particulado
NBR - Norma Brasileira aprovada pela ABNT
PCI - Poder Calorífico Inferior

PERS - Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PIB – Produto Interno Bruto
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PTQ - Plano de Teste de Queima
RI – Resíduo Industrial
RS – Rio Grande do Sul
RSI – Resíduo Sólido Industrial
SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIGECORS - Sistema de Gerenciamento e Controle de Resíduos Sólidos Industriais.
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
SNVS- Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA- Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
tep - Tonelada equivalente de petróleo
URC – Unidades de Coqueamento Retardado
WBCSD - World Business Council for Sustainable Development

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	18
2.1 JUSTIFICATIVA ACADÊMICA	18
2.2 JUSTIFICATIVA INDUSTRIAL	18
2.3 JUSTIFICATIVA SOCIAL	19
3 OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVOS GERAIS	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	21
4.1.1 Classificação dos resíduos quanto à periculosidade	22
4.1.2 Gestão dos resíduos sólidos industriais perigosos.....	23
4.2 A INDÚSTRIA CIMENTEIRA E A CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE.....	28
4.2.1 Breve história do cimento	29
4.2.2 A Produção e consumo de cimento no Brasil e no Mundo	29
4.2.3 O processo produtivo do cimento.....	33
4.2.4 Descrição do processo produtivo.....	34
4.2.5 Análise energética e combustíveis utilizados no setor cimenteiro.....	39
4.3 COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS	43
4.3.1 Resíduos passíveis de coprocessamento.....	49
4.3.2 Pré-tratamento e/ou Blendagem de resíduos	50
4.3.3 Coprocessamento de Pneus.....	54
4.3.4 Pontos de alimentação de resíduos no sistema forno de clínquer	56
4.4 ASPECTOS AMBIENTAIS.....	61
4.4.1. Poluentes emitidos	61
<i>4.4.1.1. Óxidos de Nitrogênio (NOx).....</i>	<i>61</i>
<i>4.4.1.2. Óxidos de Enxofre (SOx)</i>	<i>62</i>
<i>4.4.1.3. Material Particulado (MP).....</i>	<i>62</i>

4.4.1.4. Dióxido de Carbono (CO ₂).....	63
4.4.1.5. Metais Pesados	65
4.4.1.6. Gases Ácidos	65
4.4.1.7. Dioxinas e Furanos	66
4.4.2 Monitoramento ambiental e limites de emissões atmosféricas no RS	66
5 METODOLOGIA.....	71
5.1 COLETA DOS DADOS.....	71
5.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	72
6 RESULTADOS	75
6.1 DESTINOS PARA COPROCESSAMENTO NO ESTADO DO RS (GRUPO I)	75
6.1.1 Unidades de Blendagem localizadas no RS.....	76
6.1.1.1 Processo de preparação do blend	77
6.1.2 Unidades de Coprocessamento localizadas no RS.....	82
6.2 DESTINOS PARA COPROCESSAMENTO PARA FORA DO RS (GRUPO II)	84
6.3 QUANTIDADE DE RESÍDUOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO NO PERÍODO DE 2010 A 2017.....	85
6.4 COMPOSIÇÕES (TIPOLOGIA) DOS RESÍDUOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO NO PERÍODO DE 2010 A 2017	88
6.5 SUBSTITUTOS DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS, MATÉRIAS-PRIMAS E BIOMASSAS COPROCESSADAS NO FORNO DE CLÍNQUER DE CANDIOTA/RS EM 2017.....	92
6.6 POTENCIAIS GERADORES DE RESÍDUOS PASSÍVEIS DE COPROCESSAMENTO NO ESTADO DO RS.....	93
7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	95
7.1 MUNICÍPIOS DE DESTINO E LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES DE BLENDAGEM E DE COPROCESSAMENTO	95
7.2 QUANTIDADE DE RESÍDUOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO.....	96
7.3 COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO NO PERÍODO DE 2010 A 2017.....	98
7.4 POTENCIAIS GERADORES DOS RESÍDUOS PASSÍVEIS DE COPROCESSAMENTO	102

7.5 GERENCIAMENTO DAS UNIDADES DE BLENDAGEM.....	104
7.6 VANTAGENS DO COPROCESSAMENTO NOS ASPECTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS.....	107
7.7 DIFICULDADES NA GESTÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS E POTENCIALIDADES DO COPROCESSAMENTO.....	112
8 SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS	115
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXO I – PRODUTO DO MESTRADO	126
ANEXO II – APRESENTAÇÃO DADOS CISGA.....	127
ANEXO II – APRESENTAÇÃO DADOS CISGA.....	128
ANEXO III – FOTOS DA APRESENTAÇÃO.....	129
APÊNDICE – INFORMATIVO SOBRE COPROCESSAMENTO	130

1 INTRODUÇÃO

O atual modelo de produção industrial, aliado à expansão demográfica acarreta uma grande geração de resíduos e escassez de recursos naturais. A necessidade de gerenciar, reduzir e destinar adequadamente os resíduos atendendo as legislações e normas ambientais vigentes, dentro de uma perspectiva social, econômica e sustentável é um dos maiores desafios da sociedade contemporânea, pois seu gerenciamento inadequado pode resultar em riscos à saúde pública e à qualidade ambiental.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE), o Brasil possui um passivo ambiental de resíduos sólidos industriais (RSI) de 58 milhões de toneladas, sendo necessários investimentos de R\$ 1,67 bilhões/ano para a remediação e recuperação de áreas impactadas ao longo de 10 anos. Além disso, o governo gasta cerca de R\$ 1.5 bilhões/ano na saúde pública para tratar doenças relacionadas ao tratamento inadequado de resíduos (ABETRE, 2016).

Após a regulamentação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), os setores industriais passaram a ter maior responsabilidade ambiental em relação ao gerenciamento dos resíduos gerados, priorizando a não geração e a adoção de práticas que assegurem que os resíduos sejam reintegrados ao ciclo produtivo (BRASIL, 2010). Em paralelo, foram implementadas legislações mais severas no Rio Grande do Sul (RS), como a Portaria nº 16/2010 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), que dispõe sobre o controle da disposição final de resíduos Classe I com características de inflamabilidade no solo, classificados como perigosos pela NBR 10004/2004, coibindo a destinação final desses resíduos em aterros industriais classe I e centrais de recebimento e destinação de resíduos classe I, estimulando a busca por outras destinações ambientalmente adequadas fomentadas pela PNRS (FEPAM, 2010).

Dentro deste contexto, a destinação final dos resíduos industriais não passíveis de reutilização e reciclagem constitui um problema tanto em âmbito legal, quanto ambiental, ocasionando preocupações cada vez maiores nas empresas geradoras, em função da pressão exercida pelos órgãos de controle (NETO; BARROS, 2011). No atual cenário ambiental, tecnologias sustentáveis para destinação desses resíduos têm ganhado força.

Dentre as alternativas descritas na Portaria FEPAM nº 16/2010, o coprocessamento em fornos da indústria cimenteira, técnica amplamente utilizada na Europa, Estados Unidos e

Japão, tem se expandido por demonstrar ser a destinação ambiental e socialmente mais adequada para os resíduos perigosos provenientes de diversos processos industriais (ROCHA; LINS; SANTO, 2011; SELLITTO et al., 2013). O coprocessamento pode ser definido como tecnologia de queima de resíduos (como pneus, óleos usados, plásticos, tintas etc.) e de biomassa (moinha de carvão vegetal, casca de arroz, bagaço de cana, etc.) em fornos de cimento, em substituição parcial de combustíveis tradicionais não renováveis, como o coque de petróleo, o óleo combustível e o carvão mineral, e também de matérias-primas convencionais (CRUZ; HUPFFER; JAHNO, 2016).

A crise energética, no final da década de 70, impulsionou a busca pela eficiência energética nos processos produtivos do cimento. Dados do *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) indicam que para produzir uma tonelada de cimento, é necessário o equivalente a 60 a 130 kg de combustível e 110 kWh de energia elétrica, sendo 40% dessa energia elétrica usada nas operações de moagem, justificando a preocupação do segmento cimenteiro com a busca por insumos energéticos alternativos (MADLOOL et al., 2013; SOARES et al., 2015).

Para o aproveitamento energético através do coprocessamento, os resíduos são primeiramente enviados para centrais de blendagens para a preparação dos *blends*, que são misturas de vários resíduos com objetivo de obter alto poder calorífico. Nesta etapa são analisados padrões químicos de controle como pH, composição percentual de cloro, umidade e poder calorífero. Após esse processo ocorre o envio para as cimenteiras, onde serão utilizados em percentuais de substituição de combustíveis fósseis. Os fornos utilizados para a fabricação de cimento possuem condições favoráveis para a destruição total dos resíduos, como temperaturas elevadas e longos ciclos produtivos, promovendo a incorporação das cinzas geradas do processo ao cimento, não havendo geração de partículas (BARROS, 2014).

O coprocessamento de resíduos vem sendo cada vez mais utilizado, tanto por razões ambientais quanto energéticas (ROCHA; LINS; SANTO, 2011). De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2017), em 2016 os resíduos coprocessados no país representaram a eliminação de um passivo ambiental de 940 mil de toneladas. Desse total, os combustíveis alternativos representaram 85% e as matérias-primas alternativas 15%, em toneladas, correspondendo a um índice de substituição térmica de 11,3%. Dos substitutos de combustíveis destacam-se os pneus inservíveis com 40% e o *blend* de resíduos apresentando 39 % do total em toneladas e os combustíveis oriundos de biomassa representam 4% da matriz de combustíveis alternativos coprocessados.

Ao considerar a dimensão da crise ambiental, a técnica de coprocessamento estimula a mudança do processo linear de utilização de recursos naturais de processamento e descarte para uma lógica circular, na qual os materiais são constantemente reciclados e reutilizados. Esse processo contribui para a preservação de recursos naturais, redução de custos do processo e das emissões de CO₂, com eliminação definitiva de grandes volumes de resíduos e sem geração de novos passivos ambientais, evitando focos de doenças, poluição e exploração do solo (FOSTER; ROBERTO; TOSHIRO, 2016). No entanto, o coprocessamento de resíduos em fornos de cimento ainda demanda muitos estudos, visando elucidar para a sociedade os limites e riscos a ele associados, devido ao alto potencial poluidor da atividade.

2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

2.1 JUSTIFICATIVA ACADÊMICA

A presente dissertação careceu de uma profunda revisão da literatura, uma vez que a técnica de coprocessamento de resíduos industriais se encontra pouco documentada. Desta forma, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de se realizar um diagnóstico da técnica de coprocessamento no estado do Rio Grande do Sul, fomentada pela PNRS e Portaria FEPAM Nº 016/2010, divulgando dados e informações importantes, até então ausentes ou pouco divulgadas na bibliografia, contribuindo para o desenvolvimento do conhecimento acadêmico nessa área servindo de base para futuras pesquisas e potencializando sua utilização embora ainda existam muitos questionamentos quanto aos reais impactos ambientais gerados.

2.2 JUSTIFICATIVA INDUSTRIAL

Um dos grandes desafios do setor industrial é manter o tripé da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) interligado aos seus conceitos e práticas. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), uma indústria competitiva, que busca a sustentabilidade, deve usar a gestão de seus resíduos como forma de prever problemas, demonstrar sua responsabilidade ambiental e como instrumento de inovação para produtos e processos. A alternativa de se reutilizar resíduos como matéria-prima para outras indústrias proporciona às empresas ganhos de competitividade pela economia no consumo de energia e ganhos ambientais (CNI, 2017).

Desta forma, essa pesquisa proporcionará às indústrias geradoras um maior conhecimento da técnica de coprocessamento contribuindo para a melhoria da gestão dos resíduos gerados e estimulando a transição para a economia circular. Com a análise dos resíduos passíveis de coprocessamento e a identificação das unidades de blendagem, a indústria geradora terá condições de gerenciar melhor seus resíduos, garantindo sua valorização energética em outro processo industrial e contribuindo para a sustentabilidade e redução de impactos ambientais.

Para as empresas prestadoras dos serviços de blendagem, a pesquisa fornecerá um panorama geral da técnica, evidenciando a potencialidade de crescimento do coprocessamento como alternativa eficiente para a destinação final e valorização dos resíduos sólidos industriais com características de inflamabilidade no estado do Rio Grande do Sul, além da

relevância dos controles ambientais desde a seleção e análise dos resíduos, preparação dos *blends* até o envio as cimenteiras.

Para a indústria cimenteira a pesquisa poderá contribuir para a obtenção de fontes de energia confiáveis e seguras, sem causar danos ao ambiente e a sociedade, uma vez que a indústria geradora possui maior conhecimento dos resíduos passíveis de coprocessamento.

2.3 JUSTIFICATIVA SOCIAL

A geração de resíduos é inerente aos processos produtivos e a destinação final ambientalmente segura representa um dos maiores desafios para a sociedade contemporânea, tendo em vista que seu gerenciamento inadequado pode resultar em riscos à saúde pública e à qualidade ambiental, requerendo inovações tecnológicas e soluções definitivas.

Esta pesquisa traz informações relevantes acerca da aplicação da técnica de coprocessamento, já consolidada no estado do Rio Grande do Sul, como uma alternativa nobre de destinação final adequada de resíduos industriais e passivos ambientais. O panorama apresentará à sociedade as vantagens de sua utilização, como a destinação adequada de resíduos industriais perigosos potencialmente inflamáveis, resíduos que não podem ser reciclados, reutilizados ou reprocessados e resíduos com baixo valor econômico que se tornariam potenciais passivos ambientais, além da contribuição para a melhoria da saúde pública ao retirar do ambiente os pneus descartados, evitando a procriação de vetores de doenças e poluição ambiental.

Além disso, a pesquisa aborda a importância dos rígidos controles ambientais na preparação dos *blends* de resíduos industriais e no processo produtivo do cimento que são fundamentais para assegurar que a técnica de coprocessamento não ofereça riscos para as comunidades vizinhas às fábricas de cimento.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar o panorama do coprocessamento dos resíduos industriais com características de inflamabilidade no estado do Rio Grande do Sul no período de 2010 a 2017, visando os benefícios desta alternativa tecnológica para o ambiente e sociedade.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as unidades de blendagem e coprocessamento no estado do Rio Grande do Sul.
- Quantificar os resíduos industriais coprocessados no período de 2010 a 2017, estimando a eliminação do passivo ambiental no cenário estadual com o emprego desta tecnologia.
- Analisar os resíduos coprocessados, identificando os setores industriais representativos no estado com potencial de geração de resíduos com características de inflamabilidade.
- Avaliar os benefícios desta tecnologia para o ambiente e sociedade em comparação às demais disponíveis para destinação ambientalmente adequada para resíduos com características de inflamabilidade, descritas na Portaria Fepam/RS nº 16/2010.
- Identificar as dificuldades e potencialidades associadas à técnica de coprocessamento na gestão dos resíduos sólidos industriais.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A PNRS implementada através da Lei nº 12.305/10, define resíduos sólidos industriais como aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais (BRASIL, 2010).

A norma ABNT NBR 10004 (2004, p.68) define de forma abrangente resíduo sólido como:

[...] Todo resíduo nos estados sólido e semissólido resultante de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

As legislações internacionais como a Diretiva 2008/98 (art. 3º, inciso I) define resíduos como quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer (EC, 2016).

Nos Estados Unidos, de acordo com o Código de Regulações Federais - CFR (*Code of Federal Regulations*), resíduo sólido também significa qualquer lixo, resto, lodo de estações de tratamento, podendo ser sólido, líquido, semissólido ou gasoso de origem industrial, comercial, da mineração ou de atividades agrícolas. O CFR estabelece critérios para os materiais serem enquadrados como resíduos ou não resíduos (rejeitos) (UNITED STATES, 2018).

Assim como o CFR, a PNRS determina que os resíduos sólidos não podem ser considerados rejeitos até que se esgotem todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis e não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

No entanto, segundo Cavalli (2015), os critérios que distinguem resíduos de rejeitos podem variar em função da localização geográfica e ausência de opções de destinações próximas, além dos custos de logística, riscos ambientais no transporte e tecnologia, representando obstáculos para a aplicação da PNRS.

4.1.1 Classificação dos resíduos quanto à periculosidade

A classificação dos resíduos sólidos é fundamental para seu gerenciamento, pois a partir da definição de suas características físicas, químicas, biológicas e de periculosidade, normalmente associadas à sua origem, é possível definir os critérios relacionados à segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte e destinação final. Conforme a ABNT NBR 10.004 (2004), a classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

De acordo com o art. 13 da Lei 12.305 (BRASIL, 2010), os resíduos podem ser considerados perigosos, de acordo com:

[...] suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica (BRASIL, 2010).

A periculosidade dos resíduos é definida pela NBR 10.004 (ABNT, 2004, p.68) como:

A característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas pode representar: risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada (ABNT, 2004).

No que se refere à periculosidade, NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos da seguinte forma:

Resíduos classe I – Perigosos: são os resíduos que apresentam periculosidade ou características de inflamabilidade, reatividade, corrosividade, toxicidade ou patogenicidade, ou constem nos anexos A ou B da referida norma.

Resíduos classe II A - Não inertes: Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes. Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004d), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10.006 (ABNT, 2004c), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a

concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A diferenciação destes resíduos leva em consideração as seguintes normas: NBR 10005 (ABNT, 2004b), NBR 10006 (ABNT, 2004c) e NBR 10007 (ABNT, 2004d), que tratam sobre: procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos e amostragem de resíduos, respectivamente.

De acordo com suas características, resíduos perigosos necessitam de um controle mais rigoroso em todas as etapas do gerenciamento, desde a origem até a destinação/disposição final, de forma a não representar um risco para o ambiente e à saúde humana (CAVALLI, 2015).

As características de inflamabilidade dos resíduos perigosos estão descritas na NBR 10.004 (ABNT, 2004), podendo apresentar qualquer uma delas para ser considerado inflamável:

a) ser líquida e ter ponto de fulgor inferior a 60°C, determinado conforme ABNT NBR 14598 ou equivalente, excetuando-se as soluções aquosas com menos de 24% de álcool em volume;

b) não ser líquida e ser capaz de, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 0,1 MPa (1 atm), produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas e, quando inflamada, queimar vigorosa e persistentemente, dificultando a extinção do fogo;

c) ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio e, como resultado, estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material;

d) ser um gás comprimido inflamável, conforme a Legislação Federal sobre transporte de produtos perigosos (Portaria nº 204/1997 do Ministério dos Transportes).

4.1.2 Gestão dos resíduos sólidos industriais perigosos

As atividades industriais geram diferentes tipos de resíduos, com características diversas, tais como metalúrgico, mecânico, químico, petroquímico, celulose e papel, alimentício, mineração, entre outros. Entre os resíduos industriais inclui-se grande quantidade de material perigoso (em torno de 40%), que necessita de tratamento especial devido ao seu alto potencial de impacto ambiental e à saúde (TOCCHETTO, 2009).

Um estudo encomendado pela ABETRE divulgou que o Brasil produz anualmente 33 milhões de toneladas de resíduos industriais, dos quais 25 milhões não passam por tratamento adequado, não permitindo a rastreabilidade dos mesmos (ABETRE, 2016).

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2012), os custos de tratamento e disposição, além da falta de conhecimento técnico no assunto são obstáculos para muitas empresas de pequeno e médio porte. Além disso, outro entrave é a distância das unidades de tratamento, que, em geral, estão localizadas nas proximidades de grandes centros e polos industriais.

No estado do RS, o estudo realizado pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos - PERS-RS (RIO GRANDE DO SUL, 2014b), considerando o banco de dados da FEPAM, identificou as áreas degradadas devido à disposição final inadequada de RSI no estado, contabilizando 28 áreas contaminadas, 84 áreas com suspeita de contaminação e 89 áreas com potencial de contaminação.

Neste sentido, a PNRS (BRASIL, 2010) exige que os geradores de resíduos elaborem seus planos de gerenciamento, padronizando os procedimentos de manejo nos empreendimentos e se comprometam a destinar adequadamente seus resíduos, estabelecendo exigências específicas relativas ao plano de gerenciamento de resíduos perigosos. A PNRS reúne princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes e metas que deverão ser adotados pelos governos nas esferas federal, estadual e municipal, bem como pelas empresas com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Quanto aos resíduos perigosos, as indústrias devem elaborar seus planos de gerenciamento de resíduos perigosos e submetê-los ao órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), e posteriormente exigências específicas relativas ao plano de gerenciamento de resíduos perigosos serão estabelecidas por regulamento (BRASIL, 2010).

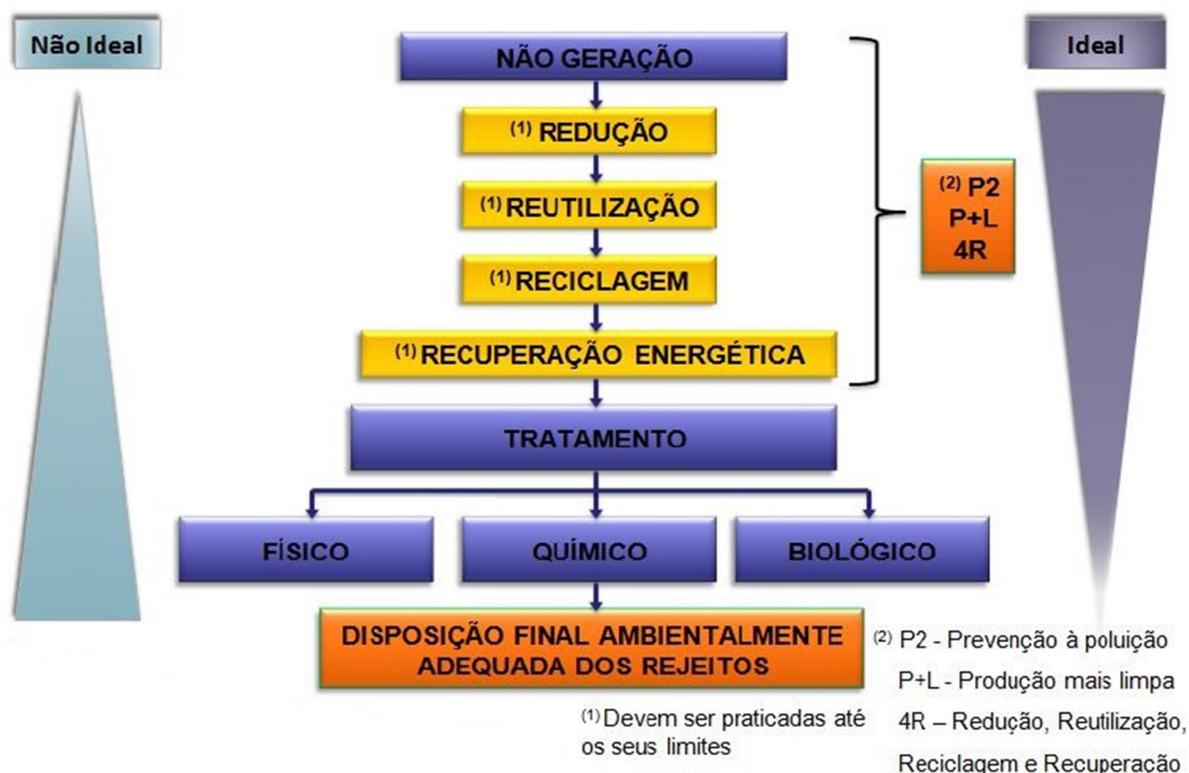
O artigo 9º da PNRS (BRASIL, 2010) destaca a ordem de prioridade que deverá ser observada na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Na hierarquia dos resíduos estabelecida pela PNRS, o conceito de não geração relaciona-se com o aumento da eficiência da cadeia produtiva e de serviços utilizando tecnologias adequadas, que além de positiva para o meio ambiente pode contribuir para geração de lucro (FIERGS, 2014). Essa mudança em toda cadeia produtiva é um dos pontos chaves da PNRS, tendo em vista a busca de um novo paradigma, o da sustentabilidade ambiental. A responsabilização das indústrias envolve desde o processo de produção de bens

e serviços até o pós-consumo, o que deverá levar à revisão de processos produtivos com vistas à redução da geração de resíduos (MORAES, 2016).

A Figura 1, elaborada por Schalch (2013), apresenta a estratégia adotada para a gestão integrada de resíduos sólidos.

Figura 1 - Estratégia de gestão integrada de resíduos sólidos



Fonte: Schalch (2013).

De acordo com o Relatório da Federação das Indústrias do Rio Grande Do Sul - FIERGS (2014), muito do resíduo industrial contaminado produzido poderia ser evitado com mudanças no processo de produção e conscientização dos trabalhadores de todos os níveis das empresas. Esse processo de mudança de atitude pode ser alcançado através da Produção mais Limpa (P+L), destacado na Figura 1, desenvolvido pela *United Nations Environment Programme* em 1996, que consiste na aplicação contínua de estratégias de prevenção ambiental nos processos de produção visando a minimização de riscos para os seres humanos e ao meio ambiente. O processo de P+L inclui a conservação de matérias-primas e energia, a eliminação e ou redução de materiais tóxicos, de emissões de gases e de resíduos (UNEP, 1996).

De acordo com a PNRS, a reutilização é o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e

os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do SISNAMA e se couber, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema de Atenção à Saúde Agropecuária (SUASA) (BRASIL, 2010).

A reciclagem é definida como o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do SISNAMA e se couber, do SNVS e do SUASA (BRASIL, 2010).

Conforme Freires e Pinheiro (2013), a recuperação energética também conhecida por reciclagem energética, consiste na obtenção de energia através do processo de combustão controlada de materiais na presença de oxigênio. Neste tipo de recuperação, o aproveitamento energético é uma opção para resíduos potencialmente inflamáveis que possuem reciclabilidade limitada ou nenhuma, ou ainda para resíduos cuja receita, gerada pela venda, é baixa ou até mesmo negativa.

Malard (2016) define como tratamento de resíduos sólidos o conjunto de processos e procedimentos que alteram ou não as características físico-químicas dos resíduos, promovendo sua descaracterização de forma a tornar a disposição mais viável e conseqüentemente minimizando seus riscos. A escolha da melhor tecnologia disponível deve levar em consideração a caracterização dos resíduos, a definição da forma de segregação, coleta e transporte dos resíduos, conforme legislações e normas vigentes e a determinação das fontes de energia para operação do sistema.

O tratamento térmico de resíduos inclui a incineração (combustão em presença de oxigênio), a gaseificação (combustão parcial com deficiência de oxigênio) e a pirólise (combustão em baixa concentração de oxigênio). Estes tratamentos têm como objetivos a destruição dos componentes orgânicos e a redução do volume de resíduos a serem encaminhados para a disposição final. A técnica de coprocessamento envolve a incorporação de resíduos no processo de fabricação de clínquer (matéria-prima para fabricação do cimento), resultando na destruição térmica eficiente e segura, sob o ponto de vista operacional e ambiental (TOCCHETTO, 2009).

O tratamento térmico de resíduos a altas temperaturas via coprocessamento é um dos tratamentos mais adotados para os resíduos industriais, sendo utilizado para uma grande variedade de resíduos perigosos e não perigosos. Trata-se de um processo complexo, indicado para o tratamento de resíduos que não podem ser reciclados ou reutilizados, permitindo sua

valorização energética como combustíveis alternativos, ou como substitutos de matéria-prima (MALARD, 2016).

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, são considerados destinações finais ambientalmente adequadas pela PNRS, observadas as normas operacionais específicas de modo evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Se todas as possibilidades de destinação anteriores forem esgotadas, o RSI é classificado como rejeito e segue para disposição final em aterro industrial. De acordo com a PNRS (BRASIL, 2010), disposição final é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

No entanto, no estado do Rio Grande do Sul, a Portaria FEPAM nº 016/2010, coíbe a disposição de resíduos classe I com características de inflamabilidade no solo, em aterros de resíduos classe I e centrais de recebimento e destinação de resíduos classe I, como forma de redução dos riscos de acidentes por substâncias inflamáveis e melhoria na operação do gerenciamento nestes empreendimentos (FEPAM, 2010).

Para efeito desta Portaria, o art. 2º (FEPAM, 2010), descreve os resíduos classificados classe I com características de inflamabilidade, os seguintes resíduos:

Borras Oleosas;

Borras de processos petroquímicos;

Borras de fundo de tanques de combustíveis e de produtos inflamáveis;

Elementos filtrantes de filtros de combustíveis e lubrificantes;

Solventes e borras de solventes;

Borras de tintas a base de solventes;

Ceras contendo solventes;

Panos, estopas, serragem, equipamento de proteção individual (EPIs), elementos filtrantes e absorventes contaminados com óleos lubrificantes, solventes ou combustíveis (álcool, gasolina, óleo diesel, etc);

Lodo de caixa separadora de óleo com mais de 5% de hidrocarbonetos derivados de petróleo ou mais 70% de umidade;

Solo contaminado com combustíveis ou com qualquer um dos componentes acima identificados.

A Portaria nº 016/2010 (FEPAM, 2010) adverte ainda que as centrais de recebimento e destinação de resíduos classe I estabelecidas no Estado, somente poderão receber os resíduos com características de inflamabilidade, nas seguintes situações:

a) quando possuir sistema licenciado de pré-tratamento ou mistura, de forma controlada de resíduos de diversas origens (“blending”), com vistas à utilização em coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer ou sistemas de tratamento térmico (incineração);

b) quando possuir unidade de segregação e armazenagem temporária licenciada para estes resíduos, para posterior envio dos mesmos a empresas receptoras licenciadas.

c) quando decorrentes de poluição acidental, com autorização do órgão ambiental competente.

Assim, as destinações finais desses resíduos, considerando a existência de algumas e a viabilidade técnica de outras, são estabelecidas no art. 5º da Portaria nº 016/2010 como:

I - reprocessamento;

II – recuperação;

III – reciclagem;

IV – tratamento biológico;

V - coprocessamento em fornos de clínquer;

VI - sistemas de tratamento térmico (incineração).

Dentre as alternativas de destinação final dos resíduos com características de inflamabilidade, a técnica de coprocessamento é a opção mais utilizada por empresas que querem evitar a geração de passivos ambientais, contribuindo positivamente com o fim da responsabilidade do produtor/gerador e encerrando o seu vínculo de responsabilidade através da destruição do resíduo (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

4.2 A INDÚSTRIA CIMENTEIRA E A CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE

A indústria do cimento coloca seus fornos à disposição de outros setores para a eliminação de resíduos industriais, através do processo de coprocessamento, proporcionando uma alternativa amplamente difundida e reconhecidamente adequada e segura para a destruição térmica de resíduos industriais e passivos ambientais, com valorização dos resíduos

como substitutos de combustíveis tradicionais fósseis através do processo de recuperação energética, ou como fonte alternativa de matéria-prima, constituindo um dos pilares da sustentabilidade na indústria (ABCP, 2017).

Como a atividade de coprocessamento é desenvolvida em fábricas de cimento, se faz necessário uma descrição geral do processo produtivo do cimento dentre outros aspectos, para que se entenda a tecnologia do coprocessamento.

4.2.1 Breve história do cimento

De acordo com a ABCP (2018), o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. O cimento é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e das argamassas, que é hoje o segundo material mais utilizado pelo homem, depois do elemento água (SNIC, 2018).

A palavra cimento é originada do latim *caementu*, que na antiga Roma designava uma espécie de pedra natural de rochedos não esquadrejada (quebrada). A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos, no entanto, o grande passo para seu desenvolvimento ocorreu no ano de 1756 quando o inglês John Smeaton conseguiu obter um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin patenteou o processo de fabricação de um ligante que resultava da mistura, calcinada em proporções certas e definidas, de calcário e argila. Essa mistura transformada num pó fino apresentava propriedades ligantes, que após a hidratação e secagem tornava-se tão dura quanto as pedras utilizadas nas construções e por apresentar cor e características semelhantes a uma pedra abundante na Ilha de Portland, foi denominado “cimento Portland”, conhecido mundialmente até hoje. A partir daí, seu uso e sua comercialização cresceram de forma gradativa em todo o mundo. No Brasil, a Companhia Brasileira de Cimento Portland, instalada no município de Perus/SP em 1924, é considerada o verdadeiro marco da atividade cimenteira no país (ABCP, 2018).

4.2.2 A Produção e consumo de cimento no Brasil e no Mundo

A produção global de cimento totalizou 4,1 bilhões de toneladas em 2017. No ranking mundial, o Brasil se encontra no 12º lugar, com participação de 1,3%, conforme tabela 1. A China segue como líder, representando quase 60% de todo o mercado mundial e

estabelecendo a amplitude da queda e o nível de crescimento do mercado cimenteiro mundial (SNIC, 2018).

Tabela 1 - Maiores produtores mundiais de cimento em 2017

Países	Produção*(10³ t)
China	2.400.000
Índia	270.000
Estados Unidos	83.300
Vietnam	78.000
Turquia	77.000
Indonésia	66.000
Arábia Saudita	63.000
Coréia do Sul	59.000
Rússia	58.000
Egito	58.000
Irã	56.000
Brasil	54.200
Japão	53.000
Outros	721.500
Total/Média Mundial	4.100.000

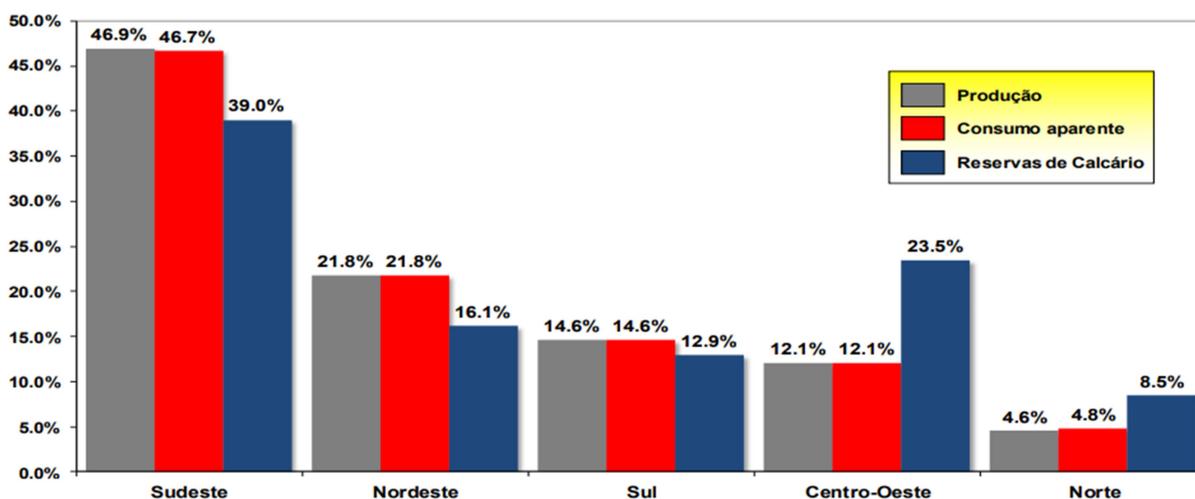
Fonte: Elaborado pelo DTTM/SGM/MME a partir do *U.S.G.- Mineral Commodity Sumaries / SNIC(2018)*

(*) Dados preliminares

O parque industrial cimenteiro no Brasil é formado por 100 unidades de fabricação, entre as quais 64 fábricas e 36 unidades de moagem, pertencentes a 24 grupos nacionais e estrangeiros com capacidade instalada ultrapassando os 100 milhões de toneladas por ano (SNIC, 2018). As plantas industriais estão distribuídas por todas as regiões do país, com destaque para a região sudeste, considerada maior produtora do país, com participação da ordem de 46% do total da produção nacional, seguida das regiões nordeste, sul, centro-oeste e norte. O nível de utilização de capacidade instalada da indústria cimenteira brasileira, em 2017, foi de 54%, com produção de 54 milhões de toneladas, 6,3% inferior a de 2016 (MNE, 2018).

A figura 2 apresenta a produção, consumo aparente e reservas de calcário por região no ano de 2014.

Figura 2 - Produção de cimento por região no ano de 2014



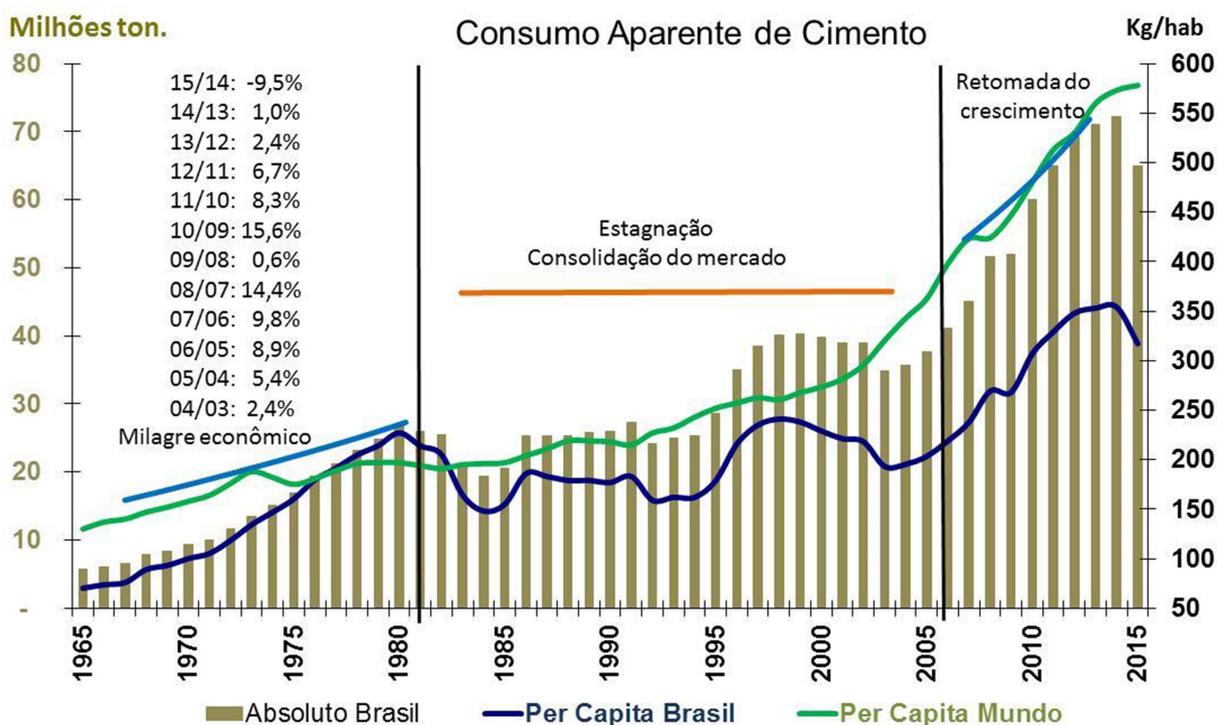
Fonte: SNIC, DEPEC/Bradesco (2017).

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC (2018), o estado de Minas Gerais é o maior produtor de cimento no Brasil, apresentando abundância e excelente qualidade do seu calcário, abastecendo diversos estados do país e o estado de São Paulo é o maior consumidor, mas por seu calcário não ser tão puro como o de Minas Gerais, produz cerca de 60% de suas necessidades. O estado do RS aparece na 10ª posição na ordem de produção e em 6º lugar no consumo.

O mercado de cimento é regionalizado e distribuído por todo o território nacional, apresentando preços diferenciados nas regiões mais distantes dos principais centros produtores, devido ao custo de transporte. O transporte mais utilizado para distribuição do cimento nacional é o rodoviário, responsável por 94%, o ferroviário, 3%, e o hidroviário, 3%, este último geralmente utilizado na região Norte (MNE, 2018).

Segundo a ABCP (2017), para se analisar a evolução da demanda de cimento é preciso analisar a evolução do desempenho da construção civil e do comportamento econômico do país, em seus diversos ciclos. O consumo brasileiro de cimento nas últimas cinco décadas, bem como as questões macroeconômicas que explicam a evolução desse consumo, pode ser observado na figura 3.

Figura 3 - Consumo de cimento e economia no Brasil de 1970 a 2015

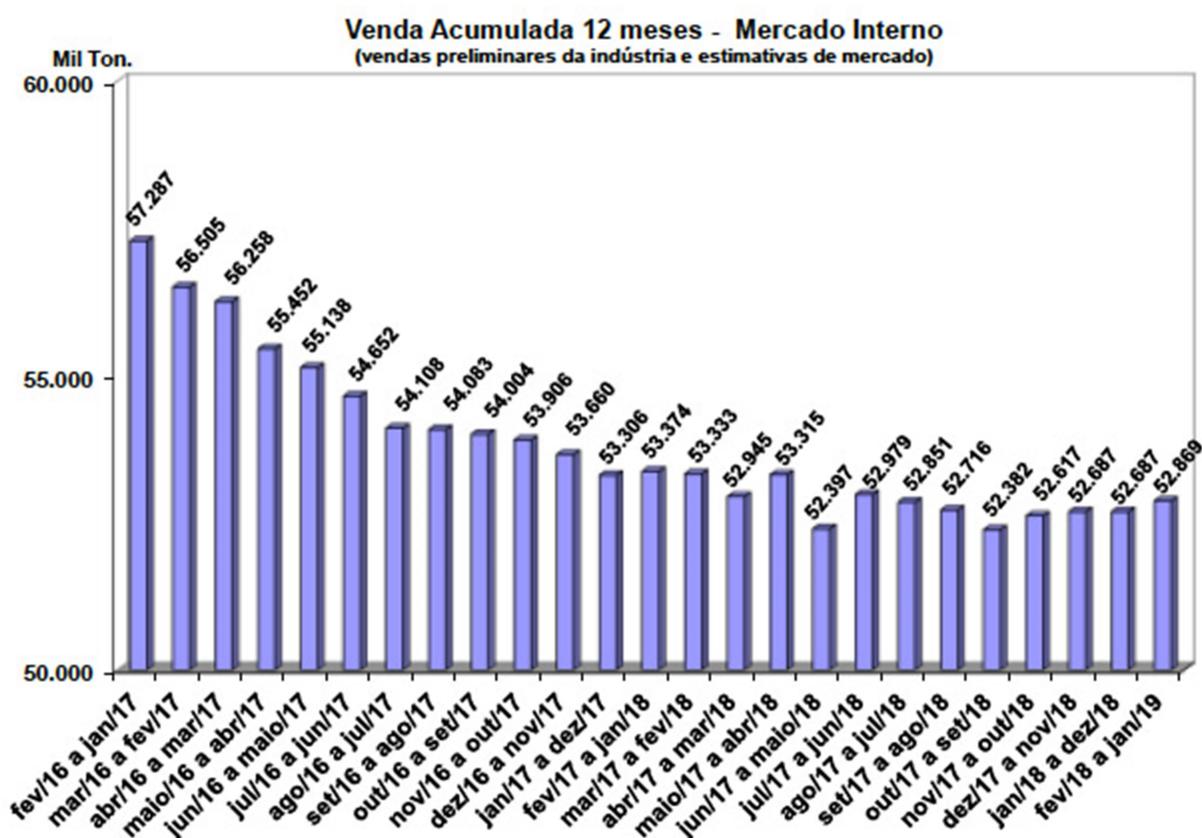


Fonte: SNIC (2016).

Conforme apresentado na figura 3, a produção brasileira sofreu grandes variações de consumo e consequentemente de produção no decorrer dos anos, com grandes saltos na década de 70, conhecida como o milagre econômico, quando vinte e duas novas fábricas de cimento foram instaladas no país, e a partir de 2004 com o crescimento da economia brasileira. Após o ano 2000, houve uma queda devido à uma crise que afetou o setor de construção civil. A partir do ano 2004, com o marco regulatório da construção civil, o incentivo à construção imobiliária, entre outros fatores, a atividade da construção civil apresentou um forte crescimento e consequentemente a indústria de cimento também. Esse crescimento foi brevemente interrompido com a crise mundial de 2008, entretanto nos anos seguintes a produção no país bateu vários recordes, atingindo mais de 70 milhões de toneladas de cimento nos anos de 2013 e 2014, acompanhando o crescimento da indústria de construção civil. No entanto, em 2015 o consumo aparente de cimento apresentou queda de 9% em relação a 2014, consequência da crise econômica que gerou redução de emprego, falta de crédito e desaceleração das atividades do setor de construção, com queda no ano subsequente (ABCP, 2017).

Segundo dados preliminares levantados pelo SNIC (2018), as vendas acumuladas em 12 meses, entre janeiro a dezembro de 2018, totalizaram 52,7 milhões de toneladas, representando queda de 1,2% frente ao mesmo período de 2017. O consumo aparente de cimento (vendas no mercado interno + importações) totalizou 52,9 milhões de toneladas em 2018, representando queda de 1,5% em relação ao ano de 2017. A greve dos caminhoneiros, a lenta recuperação econômica e o ambiente eleitoral contribuíram para o quarto ano consecutivo de queda. No entanto, alguns indicadores da construção civil já apresentam melhoras trazendo otimismo ao mercado, com perspectiva de crescimento no consumo de cimento em 2019, como pode ser observado na figura 4 (SNIC, 2018).

Figura 4 - Venda de cimento acumulada em 12 meses no mercado interno brasileiro



Fonte: SNIC (2019).

4.2.3 O processo produtivo do cimento

De acordo com SNIC (2018), o Cimento Portland é o produto de uma atividade integrada de exploração e beneficiamento de substâncias minerais (calcário e argila), sua

transformação química em clínquer e posterior moagem, englobando as seguintes etapas sequenciais:

1. Extração da matéria-prima
2. Britagem
3. Moagem da mistura crua
4. Homogeneização da mistura crua
5. Calcinação (clínquer)
6. Moagem do clínquer
7. Despacho do cimento.

As matérias primas básicas para a fabricação do cimento são constituídas basicamente pelo clínquer e adições de gesso e a escória de alto forno, em quantidades que dependem do tipo de aplicação e características desejadas para o cimento. O cimento Portland é formado por aproximadamente 97% de clínquer e 3% de gesso (PAULA, 2009).

Para a fabricação do clínquer as matérias-primas essenciais são calcário e argila em uma proporção de 75%-80% e 20%-25%, respectivamente. Além disso, eventuais aditivos corretivos são utilizados, como minério de ferro, areia e bauxita (CNI, 2017). O calcário é uma rocha sedimentar que possui pelo menos 30% de carbonato de cálcio (CaCO_3) em sua composição e pode conter várias impurezas dependendo da sua origem geológica, sendo as principais as sílicas, argilas, fosfatos, carbonato de magnésio, gipso, glauconita, fluorita, óxidos de ferro e magnésio, sulfetos, siderita, sulfato de ferro dolomita e matéria orgânica (BELATO, 2013).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018), para cada tonelada de cimento, geralmente, é necessário o emprego de 1,4 t de calcário, 100-300 kg de argila e 30-40 kg de gipsita. As escórias siderúrgicas de alto-forno vêm sendo empregado nos últimos anos para dar maior qualidade ao cimento, em termos de resistência e impermeabilidade, assim como outros resíduos industriais, substituindo parcialmente as matérias-primas minerais usadas como aditivos.

4.2.4 Descrição do processo produtivo

A fabricação do cimento pode ocorrer por meio de dois processos: via seca ou via úmida, em função do modo de preparação das matérias-primas calcário e argila antes de entrarem no forno rotativo. No processo via úmida, o calcário britado e a argila destorroada são moídos com água em um moinho de bolas, resultando em uma pasta com teor de água

entre 30 e 40%. Essa pasta é armazenada em grandes tanques, onde são corrigidos os teores de sílica, alumina e ferro, sendo posteriormente bombeada para sua alimentação no forno rotativo. A primeira parte do processo é a secagem da pasta, que ocorre na zona de correntes e em seguida inicia-se a descarbonatação e a clínquerização (MALARD, 2016). Segundo Ramos (2015), nesse processo é necessário fornecer energia em excesso ao forno para promover primeiramente a evaporação da água contida na matéria-prima e a energia térmica consumida para a secagem, aquecimento e calcinação das matérias-primas na fabricação de cimento é de aproximadamente 90% do consumo total das plantas de fabricação de cimento (MARINGOLO, 2001).

No Brasil, os fornos via seca com pré-aquecedores e pré-calcinadores são responsáveis por cerca de 99% da produção de cimento, apresentando vantagens como, maior eficiência energética, economia de combustíveis, menor emissão de poluentes e de CO₂ (CNI, 2017).

O processo produtivo via seca inicia na extração do calcário na mina, onde a rocha de calcário é desmontada com explosivos e transportada até um britador primário e depois secundário, onde ocorre à redução dos blocos para a granulometria desejada, geralmente menor que 60 mm de diâmetro (SEQUEIRA 2014). Segundo Malard (2016), essa etapa é importante, pois quanto menor a dimensão da partícula, maior a área de superfície de contato, favorecendo as reações dentro do forno rotativo. Além disso, a maior parte das impurezas presentes no calcário que dependem da origem geológica, como as sílicas, argilas, fosfatos, carbonato de magnésio, gipso, glauconita, fluorita, óxidos de ferro e magnésio, sulfetos, siderita, sulfato de ferro dolomita e matéria orgânica é eliminada nessa etapa (BELATO, 2013).

A argila é somente destorroada, usualmente em um destorroador de facas. Após esse processo, as duas matérias-primas são conduzidas para a pré-homogeneização, e em seguida encaminhadas para o moinho de cru, onde ocorre a moagem no moinho de bolas ou de rolos até resultar em um material fino de 0,05mm e de concentrações homogêneas, denominado farinha crua (MALARD, 2016).

Após o moinho é instalado um filtro de mangas para evitar que haja emissão de pó para a atmosfera. Durante a filtragem, os particulados são acumulados na superfície das mangas filtrantes e retirados por uma corrente de ar comprimido. O fluxo de ar limpo segue para a câmara de gás limpo e então, poderá ser descartado na atmosfera (CEMBUREAU, 2018).

A transformação físico-química da farinha crua em clínquer passa por quatro estágios: pré-aquecimento, calcinação, clínquerização e resfriamento (CNI, 2017). De acordo com

Malard (2016), a farinha homogeneizada é transportada para a torre de ciclones onde é pré-aquecida para remoção da umidade restante da farinha antes de entrar no forno rotativo. Uma torre de ciclones pode conter até seis estágios dependendo do teor de umidade presente na matéria-prima e dos requisitos de recuperação de calor, proporcionando aumento da recuperação de calor e a cada estágio extra (CEMBUREAU, 2018).

Conforme Sequeira (2014), a farinha é introduzida no topo de uma série de ciclones, alcançando os ciclones inferiores em etapas e com variações de temperaturas, em contracorrente com os fluxos de gases quentes de exaustão do forno de clínquerização, ocorrendo troca de calor entre as partículas sólidas e o gás quente, aumentando a eficiência das reações e economizando combustível. Segundo o autor, ocorre o seguinte perfil de temperaturas dos sólidos antes da entrada no forno rotativo:

1. Saída do 5º nível de ciclones: entre 360 °C e 420 °C;
2. Saída do 4º nível de ciclones: entre 460 °C e 560 °C;
3. Saída do 3º nível de ciclones: entre 560 °C e 600 °C;
4. Saída do 2º nível de ciclones: entre 700 °C e 750 °C;
5. Pré-calcinador: entre 1050°C e 1200°C;
6. Saída do 1º nível de ciclones: entre 950 °C e 1050 °C.

Primeiramente, ocorre a evaporação da água presente na farinha em uma temperatura de 100°C. No final do pré-aquecimento, a farinha entra no pré-calcinador, uma câmara de combustão onde o material permanece em uma temperatura em torno de 800°C, ocorrendo cerca de 90% da reação de calcinação, que consiste na decomposição do calcário em óxido de cálcio (BELATTO, 2013). Segundo Nilsen (2012), essa reação consome cerca de 60% da energia requerida no processo de fabricação do cimento Portland, que em condições normais de temperatura e pressão (25°C e 1 atm) é de 1782 kJ/kg CaCO₃. Além disso, a decomposição química do calcário gera 60 % das emissões do processo de fabricação do cimento e o restante é gerado na combustão dos combustíveis utilizados (CEMBUREAU, 2018).

O forno rotativo de clínquer consiste em um tubo cilíndrico de aço com certa inclinação (2,5 a 4,5%), revestido com tijolos refratários especiais que protegem a chapa de aço das elevadas temperaturas no interior do forno. A razão comprimento/diâmetro varia em torno de 10:1 e 38:1. À medida que o forno gira lentamente a cerca de 3 a 5 rotações por minuto, o material desliza e desce através de zonas progressivamente mais quentes em direção à chama para que ocorram os processos de conversão térmica (BELATTO, 2013).

De acordo com Sequeira (2014) a farinha percorre as seguintes zonas ao longo da extensão do forno:

Zona de descarbonatação: entre 1050 °C e 1200 °C:

Zona de transição: entre 1200 °C e 1300 °C;

Zona de fusão: entre 1350°C e 1400 °C;

Zona de clínquerização: entre 1400 °C e 1450 °C;

Zona de resfriamento: em torno de 1300 °C.

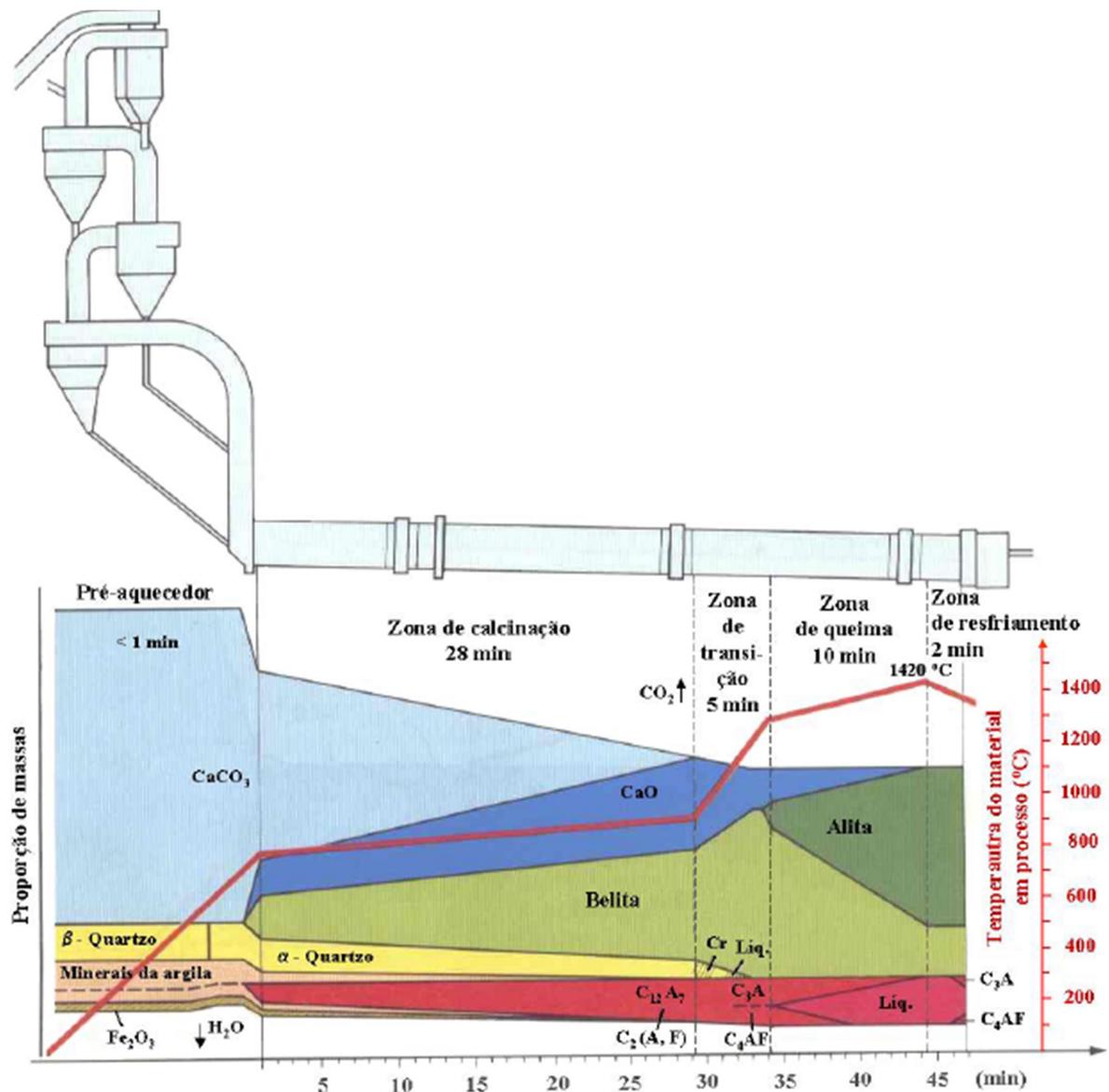
Na zona de descarbonatação do forno, ocorre a conversão final do carbonato de cálcio, presente no calcário, em óxido de cálcio, iniciada no pré-calcinador. Na zona de transição inicia-se a formação da fase líquida. Nas zonas de fusão e de alta temperatura, parte do material no interior do forno encontra-se no estado líquido, ocorrendo a clínquerização da matéria prima. Nestas duas zonas do forno ocorre a incidência direta da chama do maçarico principal com temperaturas entre 1700°C e 2000 °C sobre a matéria prima. Na zona de resfriamento, o material perde temperatura e se aglomera devido à solidificação da fase líquida, formando pequenas esferas de clínquer de no máximo 40 mm de diâmetro (SEQUEIRA 2014).

Os combustíveis como carvão, coque de petróleo, gás natural e combustíveis alternativos são queimados diretamente no forno rotativo para alimentar a chama, que pode chegar a até 2000 C e as cinzas geradas são absorvidas no material a ser processado. As altas temperaturas permitem que os materiais se tornem parcialmente fundidos, pois o calor intenso causa as mudanças químicas e físicas que transformam a matéria-prima bruta em clínquer (WBCSD, 2018). Desta forma, a clínquerização se dá a uma temperatura na ordem de 1460 °C e consiste de uma série de reações que transformam a farinha crua em alita C_3S , belita C_2S , aluminato tricálcico C_3A e o ferro-aluminato tetracálcico C_4AF , principais constituintes do clínquer (PAULA, 2009).

O clínquer sai do forno rotativo com temperatura em torno de 1.100°C e entra no resfriador onde ocorre o término da reação química. No resfriador, o clínquer é resfriado bruscamente para aproximadamente 90 °C, ocorrendo nesta fase a estabilidade, a decomposição dos cristais de alita, a formação da belita secundária, o conteúdo de cal livre secundária e a formação do aluminato cálcico, sendo que estes dois últimos componentes condicionam os fenômenos de expansão no cimento (PAULA, 2009). Segundo Belatto (2013), esse processo de produção de clínquer que inclui a etapa do forno e do resfriador é chamado de clínquerização.

A figura 5 apresenta o processo que ocorre no forno rotativo, com a identificação das zonas e suas respectivas temperaturas e tempos de residência da farinha dentro do forno.

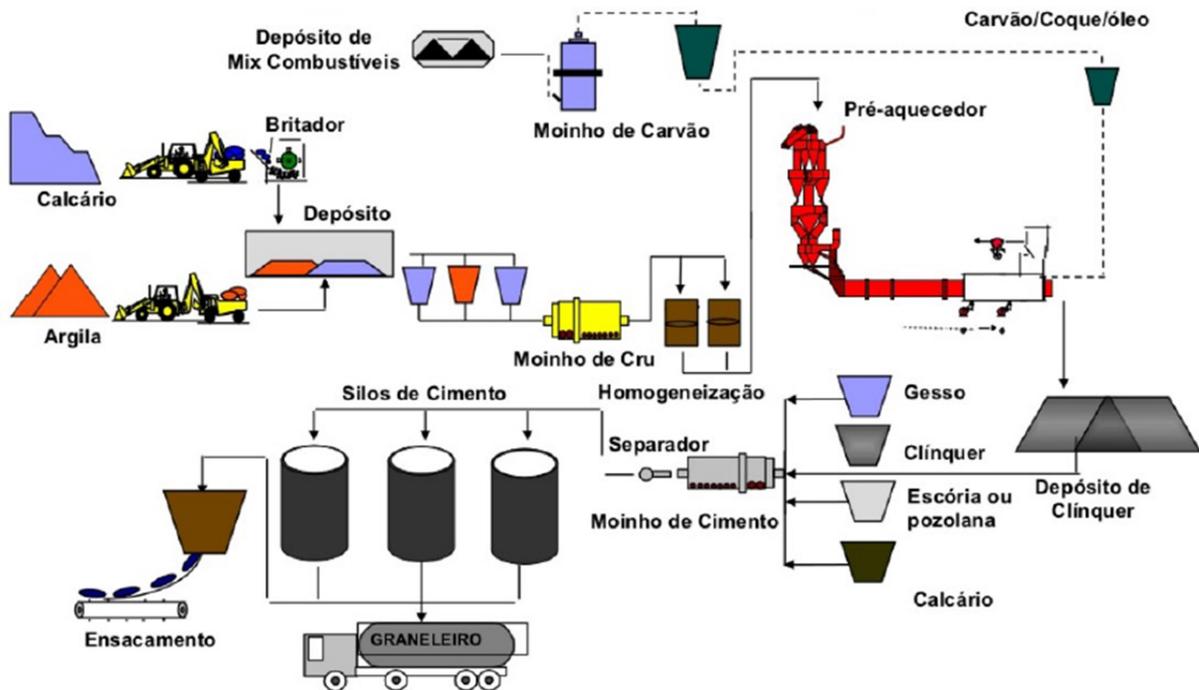
Figura 5 - Identificação das zonas de um forno rotativo de via seca com pré-aquecedor



Fonte: DUARTE (1999) apud PAULA (2009).

Após o resfriamento, o clínquer, caracterizado como material cinza, granular e sinterizado é moído finamente em moinhos de bolas ou rolos e durante essa moagem é feita a adição de cerca de 4-5% de gesso para controlar o endurecimento do cimento final (CEMBUREAU, 2018). A quantidade dos aditivos, como gesso, a escória e o calcário no clínquer diferencia os tipos de cimento Portland produzidos, sendo que o gesso é o único aditivo que está sempre presente na mistura (BERNARDO, 2009). O produto é ensacado ou armazenado em silos e em seguida despachado em caminhões ou vagões graneleiros (SANTI, 2003). O processo produtivo do cimento é ilustrado na figura 6.

Figura 6 - Processo de fabricação de cimento



Fonte: RAMOS (2015).

4.2.5 Análise energética e combustíveis utilizados no setor cimenteiro

O consumo energético em uma indústria cimenteira depende do processo utilizado (via úmida ou seca, composição da torre de ciclones, processo de moagem, etc.), a composição química, mineralógica e a umidade das matérias-primas utilizadas, a capacidade de produção, as propriedades dos combustíveis e as condições de operação do forno rotativo (MALARD, 2016).

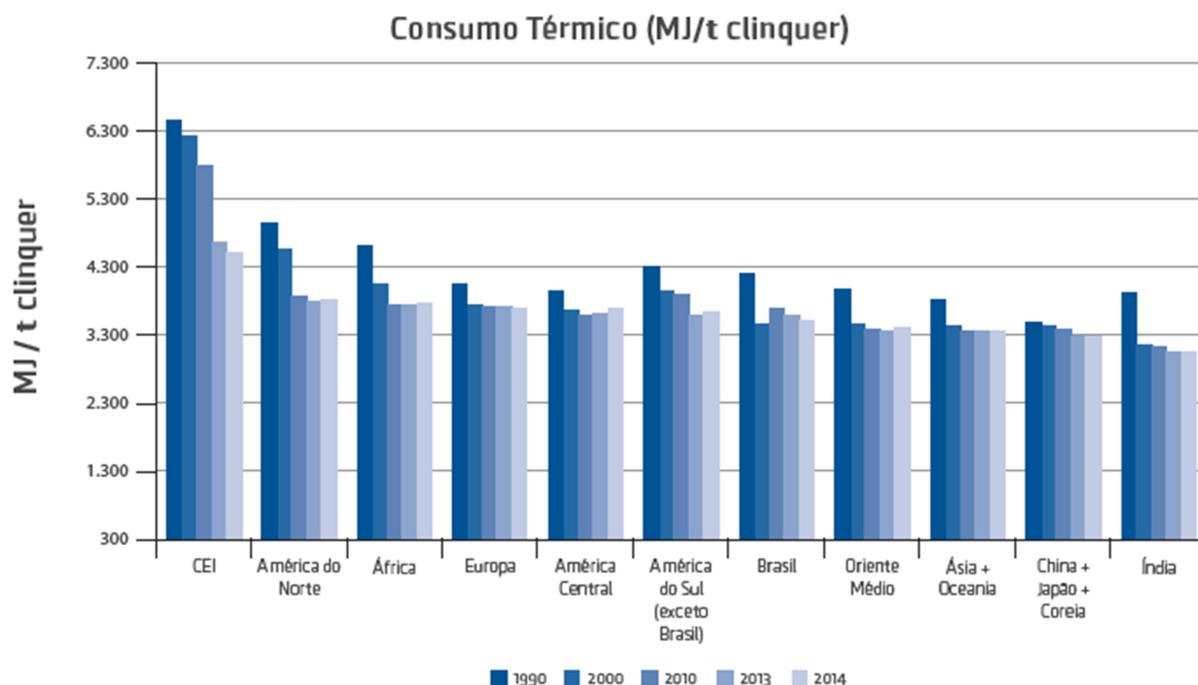
Os processos a seco, com pré-aquecedor com multi estágios e pré-calcinador, consomem de 2.900 MJ a 3.300 MJ por tonelada de clínquer produzido, configurando uma boa eficiência energética. Já os processos a úmido, bem menos eficientes termicamente, consomem acima de 5.000 MJ/t de clínquer (EUROPEAN UNION, 2013).

Segundo a Confederação Nacional da Indústria - CNI (2017), no Brasil, praticamente todo o cimento é produzido por via seca, garantindo a diminuição do uso de combustíveis em até 50% em relação a outros processos. A indústria de cimento brasileira vem investindo na modernização de suas instalações desde a década de 1970, buscando melhorar a eficiência energética do processo, diminuir o consumo de combustíveis e reduzir as emissões e hoje

possui um parque industrial moderno e eficiente, com instalações que operam com baixo consumo energético.

A eficiência energética do setor fica evidenciada na figura 7, que mostra o consumo térmico do Brasil bem abaixo da Europa ou América do Norte.

Figura 7 - Eficiência energética do setor cimenteiro no mundo



Fonte: CSI (2016).

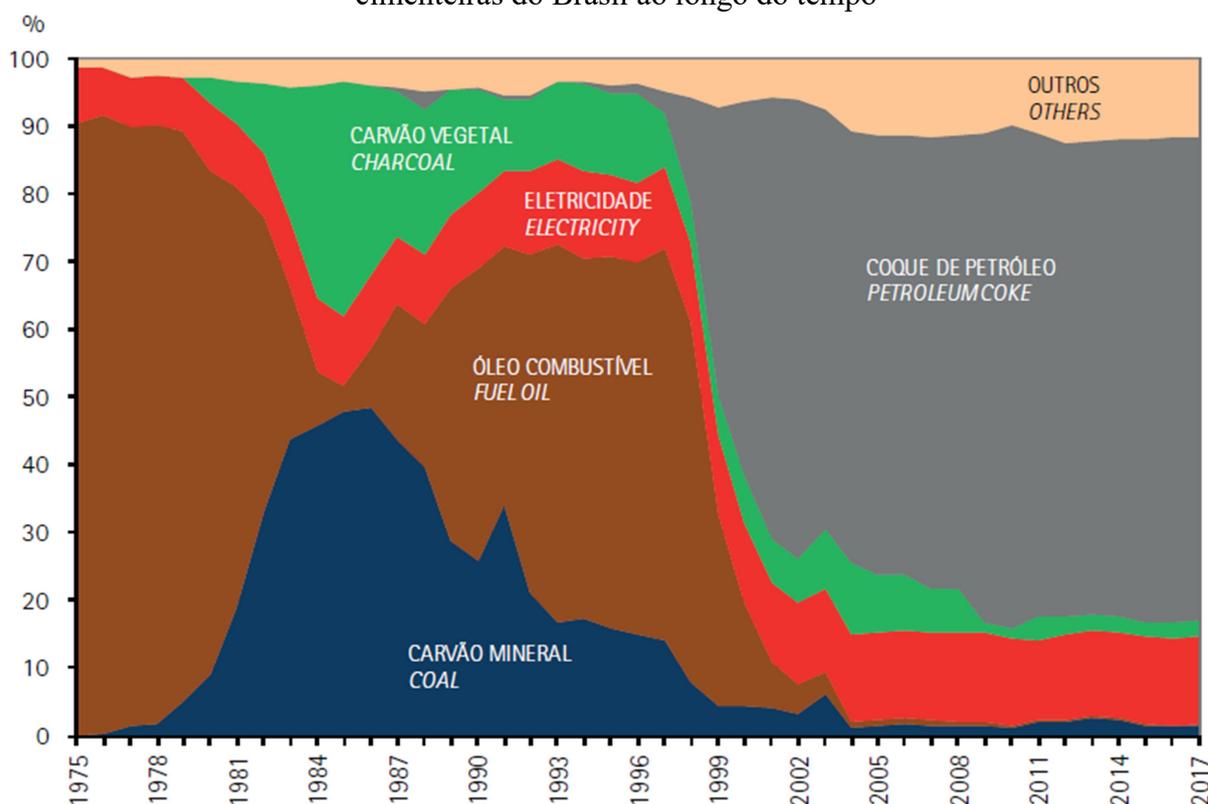
Em 2017, o consumo industrial de energia no Brasil totalizou 85,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) na matriz energética, um crescimento de 2,6%, o melhor resultado dos últimos cinco anos. Já o consumo total de energia no setor cimenteiro foi de 3,94 milhões de tep, apresentando redução em relação aos anos anteriores (EPE, 2018).

No processo de fabricação do cimento, a energia térmica gerada pelo combustível, utilizado para secagem, aquecimento e calcinação das matérias-primas, constitui 90% do total de energia consumida. O consumo de energia elétrica responde pelos outros 10% do total. A maior parte da eletricidade é usada no processo de moagem do clínquer (40%) e das matérias-primas (25%) e na operação do forno e do resfriador (20%) (MARINGOLO, 2001). Em 2017, o consumo de eletricidade representou 13% do consumo total de energia do setor (EPE, 2018).

Entre as fontes de energia utilizadas pelo setor de cimento destacam-se o coque de petróleo, a moinha de carvão vegetal, o carvão mineral, o óleo combustível, a eletricidade e os

combustíveis alternativos, como pode ser observado na figura 8, que demonstra a representatividade das principais fontes de energia utilizadas na indústria do cimento ao longo dos anos.

Figura 8 - Evolução da representatividade das principais fontes de energia usadas em cimenteiras do Brasil ao longo do tempo



Fonte: EPE (2018).

Coque de Petróleo: O coque de petróleo é a fonte de energia mais utilizada na indústria cimenteira, sendo o principal combustível utilizado no forno rotativo de clínquer. Seu consumo nas fábricas de cimento nacionais em 2017 representou 71,3 % do total de energia consumida, como se pode observar na figura 8 (EPE, 2018). No Brasil, o consumo de energia proveniente de todas as fontes energéticas da indústria de cimento representa uma pequena porcentagem do consumo industrial.

O coque de petróleo é um material granular negro e brilhante, obtido pelo processo de craqueamento de óleos residuais pesados em unidades de conversão de resíduos denominadas Unidades de Coqueamento Retardado (UCR) (PETROBRÁS, 2018). Seu principal constituinte é o carbono (90 a 95%), apresentando também um alto teor de enxofre, cerca de 5%. As características do coque de petróleo que fazem dele o combustível mais utilizado pela

indústria do cimento é o elevado poder calorífico associado com o baixo custo de aquisição (BELATTO, 2013).

Óleo Combustível: o óleo combustível já foi a principal fonte energética, mas a partir da década de 80 começou a sofrer grande queda, sendo pouco utilizado nos dias de hoje. Em 2017, o consumo de óleo combustível no setor cimenteiro brasileiro representou 0,1% (EPE, 2018). É utilizado quando se tem maior exigência para a qualidade do combustível, como em motores de combustão interna (MALARD, 2016).

Carvão Vegetal: o carvão vegetal foi muito utilizado pela indústria cimenteira na década de 80 e início da década de 90. O carvão vegetal é uma biomassa produzida através do processo de carbonização da lenha em fornos de alvenaria, que atingem uma temperatura média de 500°C. Segundo Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018), em 2017 foram consumidos cerca de 94 milhões de tep, representando 2,4 % do consumo total de energia da indústria do cimento. Atualmente o setor cimenteiro consome quantidades significativas do resíduo originado nas etapas de descarga, manuseio e peneiramento do carvão vegetal nas siderúrgicas conhecido como moinha de carvão (MALARD, 2016).

Carvão Mineral: O consumo de carvão mineral também reduziu no decorrer dos anos. O carvão mineral é um combustível fóssil proveniente de depósitos encontrados na superfície ou em grandes profundidades.

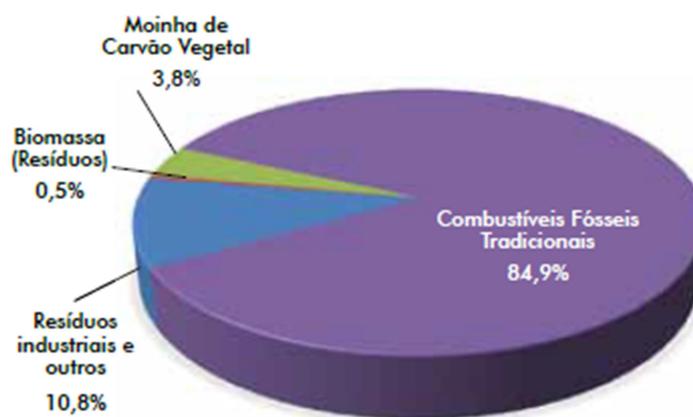
Apesar do baixo teor de enxofre na sua composição e baixo custo, o carvão brasileiro não é utilizado em grande escala pela indústria do cimento como combustível, devido ao seu alto teor de cinzas durante a queima. Desta forma, apesar do custo mais elevado, o carvão de origem colombiana se destaca no consumo como combustível na indústria cimenteira nacional, por ser considerado de alta qualidade, possuindo uma baixa taxa de enxofre em sua composição e uma baixa formação de cinzas (MALARD, 2016). Em 2017, o consumo de carvão mineral correspondeu a 1,6 % do total de energia consumida pelo setor cimenteiro (EPE, 2018).

Combustíveis alternativos: o setor vem trabalhando na crescente substituição de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos, como resíduos ou biomassas, alcançando atualmente uma taxa de substituição de cerca de 20% (CNI, 2017). De acordo com EPE (2018), em 2017, os combustíveis alternativos (“outros”) representaram 11,6 % do consumo total de energia no setor cimenteiro.

De acordo com a ABCP (2017), em 2016, os combustíveis fósseis representaram 84,9% do poder calorífico utilizado para a produção do clínquer pela indústria brasileira do cimento, sendo o restante constituído de resíduos industriais, biomassa e moinha de carvão

vegetal, correspondendo ao percentual de substituição térmica de 15,1%, conforme pode ser observado na figura 9.

Figura 9 - Percentual por poder calorífico (kcal/kg) dos combustíveis alternativos e tradicionais



Fonte: ABCP (2017).

4.3 COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS

O coprocessamento pode ser definido como a técnica de utilização de resíduos industriais a partir do processamento desses como substituto parcial de matéria-prima ou de combustível em fornos de produção de clínquer, na fabricação de cimento (CONSEMA, 2002).

As primeiras experiências com a queima de resíduos em fornos de produção de clínquer portland foram realizadas com sucesso na década de 70. De 1974 a 1976, a fábrica de cimento Saint Lawrence, no Canadá, fez testes para avaliar a eficiência de destruição de resíduos clorados em fornos via úmida. Na Europa, a França realizou os primeiros testes em 1978, na Ciment Français (Desvres), e no mesmo ano registraram-se experimentos também com resíduos clorados na Suécia, na fábrica Stora-Vika. Em 1979, o grupo Lafarge iniciou as atividades de coprocessamento nos Estados Unidos, na fábrica de Paulding, Ohio (MARINGOLO, 2001). Atualmente, os níveis de coprocessamento no panorama mundial apresentam grandes avanços em relação ao início na década de 70, o combustível alternativo já representa cerca de 35% do consumo total de energéticos na União Europeia (CEMBUREAU, 2018).

No Brasil, a utilização de combustíveis alternativos foi impulsionada no final dos anos 70 e início dos 80, como reflexo da crise mundial do petróleo, cujos derivados vinham sofrendo sucessivos e fortes aumentos de preço. Na época, o Governo Federal convocou os segmentos produtivos do país, a assumir um compromisso no sentido de reduzir o consumo energético e promover a substituição desses derivados, resultando na lavratura do “Protocolo do Cimento”, em setembro de 1979, com vigência de 5 anos (BARRETO e MARCIANO, 1985). A fim de diminuir o consumo de combustíveis fósseis consumidos nesse processo, a indústria do cimento adotou a atividade de coprocessamento.

A atividade de coprocessamento passou a ser regulamentada no país pela Resolução CONAMA Nº 264, de 26 de agosto de 1999, que define procedimentos, critérios e aspectos técnicos de licenciamento ambiental para atividades de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer (CONAMA, 1999), além de alguns estados que possuem regulamentações próprias. No Rio Grande do Sul há a Resolução 02/2000 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), que dispõe sobre o licenciamento ambiental para o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Minas Gerais conta com a Deliberação Normativa COPAM nº 154/2010 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) que também trata do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. São Paulo possui a Norma Técnica P4. 263 da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB), que traz os procedimentos para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer. O Estado do Paraná detém duas normatizações próprias: a Resolução 054/06 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), que define critérios para o controle da qualidade do ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental; e a 076/09 do Conselho Estadual do Meio Ambiente, que estabelece critérios a serem atendidos em atividades de coprocessamento de resíduos, para fins de substituição de matéria-prima ou combustível.

No RS, segundo a Resolução CONSEMA 02/00, o coprocessamento de resíduos através do processo de queima em fornos para produção de clínquer, não deve comprometer a qualidade ambiental na área de influência, evitando danos e riscos à saúde. São considerados, para fins de coprocessamento em fornos de produção de clínquer, resíduos passíveis de serem utilizados como substituto de matéria-prima ou de combustível, desde que as condições do processo, assegurem as exigências técnicas e parâmetros fixados pela FEPAM, comprovados a partir dos resultados práticos do plano do teste de queima proposto e observem as restrições a serem fixadas no processo específico de licenciamento.

Desta forma, para o licenciamento ambiental do coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer no Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a Resolução CONSEMA 02/2000, são necessários:

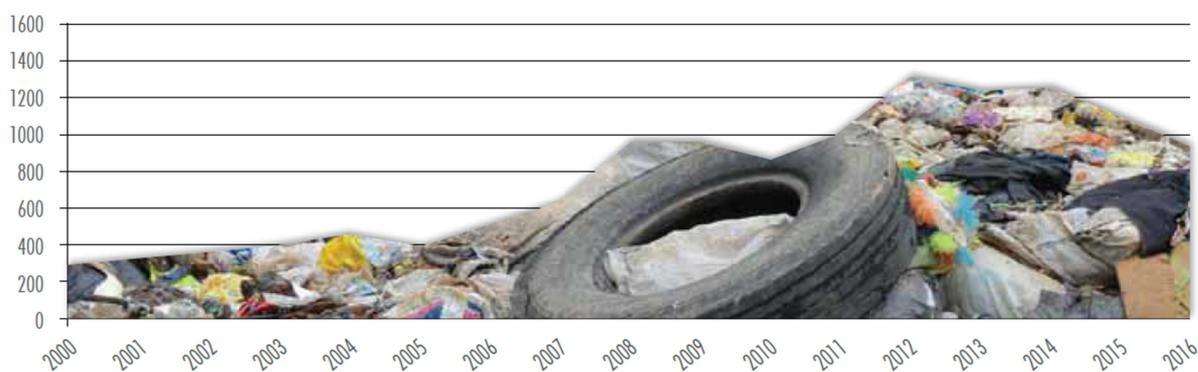
- a) Estudo de viabilidade de queima (EVQ);
- b) Proposta de coprocessamento/plano de teste em branco;
- c) Teste em branco/relatório de teste em branco;
- d) Plano de teste de queima (PTQ)/ teste/ relatório do teste de queima;
- e) Análise de risco;
- f) Planos complementares.

O armazenamento temporário de resíduos nas fábricas de cimento, para o seu posterior coprocessamento, deve ser realizado conforme as NBR 11174 1 e NBR 12235, que estabelecem o armazenamento de resíduos classe IIA (não inertes) e classe IIB (inertes) e o armazenamento de resíduos classe I (perigosos).

De acordo com ABCP (2017), em 2016, das plantas integradas que possuem fornos rotativos para a produção de clínquer no país, 36 são plantas com um ou mais fornos licenciados para o coprocessamento de resíduos, o que representa quase 70% da capacidade instalada de produção.

Conforme figura 10, a utilização de combustíveis e matérias-primas alternativos na indústria cimenteira no Brasil aumentou 500 % entre o ano 2000 e 2016. Em 2016, foram coprocessados cerca de 940 mil toneladas de resíduos, apresentando declínio em relação aos anos seguidamente anteriores (ABCP, 2017).

Figura 10 - Evolução dos resíduos coprocessados em fornos de cimento em t

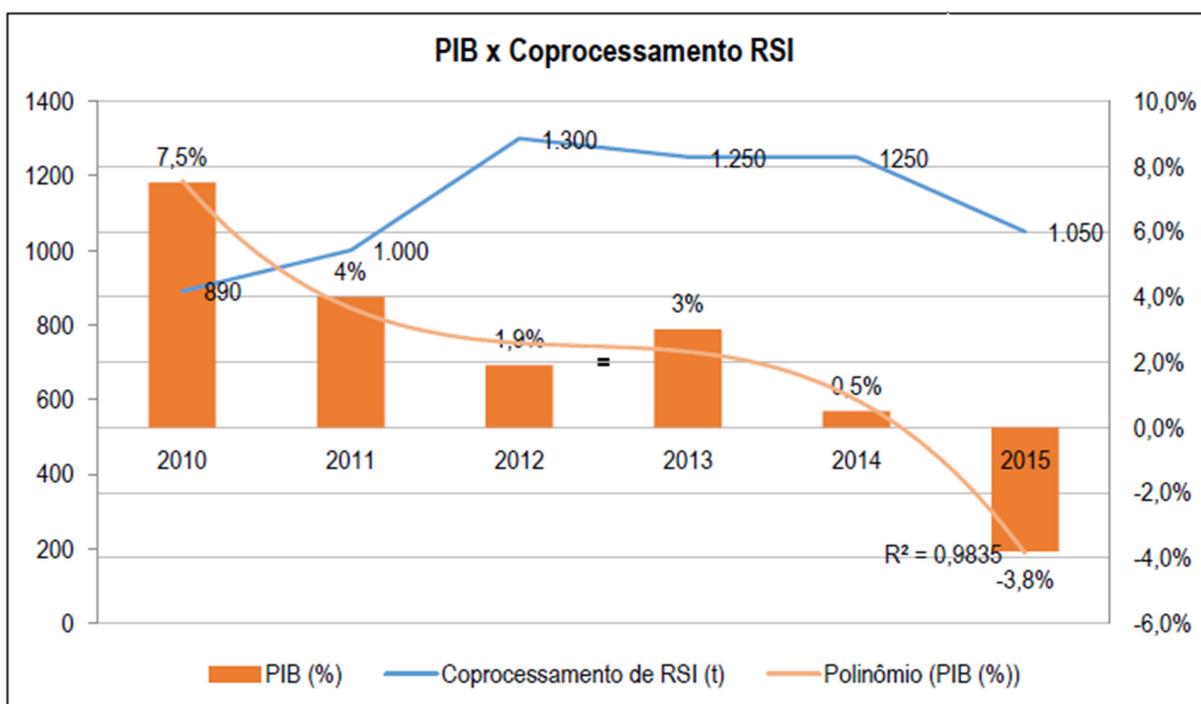


Fonte: ABCP (2017).

Este declínio pode ter sido influenciado principalmente pela crise econômica que conteve o crescimento, reduzindo significativamente o produto interno bruto (PIB), conforme

pode ser observado na figura 11, que apresenta uma comparação entre os percentuais de variações do PIB do Brasil de 2010 a 2015 e a quantidade em toneladas de RSI enviados para coprocessamento. A linha de tendência obtida através do percentual de variação do PIB dos últimos anos demonstra que nos anos de 2013, 2014 e 2015 o envio de RSI para coprocessamento teve o mesmo comportamento que a economia, decaindo principalmente no ano de 2015, bem como o PIB (MANTOVANI et al, 2018).

Figura 11 - Comparação PIB do Brasil e RSI coprocessados de 2010 a 2015



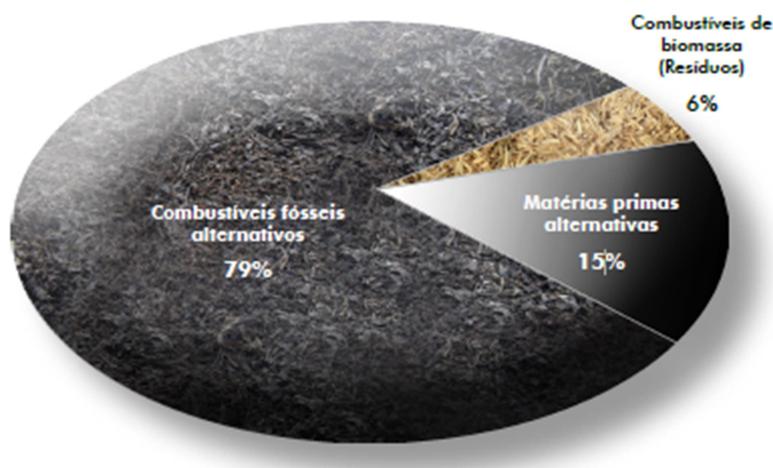
Fonte: Adaptado do FEE (Fundação de Estatística e Economia e ABCP (2016)).

No entanto, avaliando a relação da situação econômica do Brasil e o manejo dos resíduos industriais enviados para coprocessamento, os mesmos autores concluíram que a redução de RSI enviada para coprocessamento não foi tão significativa quanto ao impacto econômico observado para o mesmo período. Esse comportamento pode estar relacionado à preocupação das empresas que procuram um destino que evite passivos ambientais ou pelas exigências estabelecidas pelos órgãos ambientais e legislações pertinentes (MANTOVANI et al, 2018).

Em 2016, do total de resíduos coprocessados utilizados, os combustíveis alternativos representaram 85% e as matérias-primas alternativas 15%, em toneladas, correspondendo a

um índice de substituição térmica de 11,3%, como pode ser observado na figura 12 (ABCP, 2017).

Figura 12 - Percentuais de combustíveis e matérias-primas alternativas utilizadas pela indústria brasileira em 2016



Fonte: ABCP (2017)

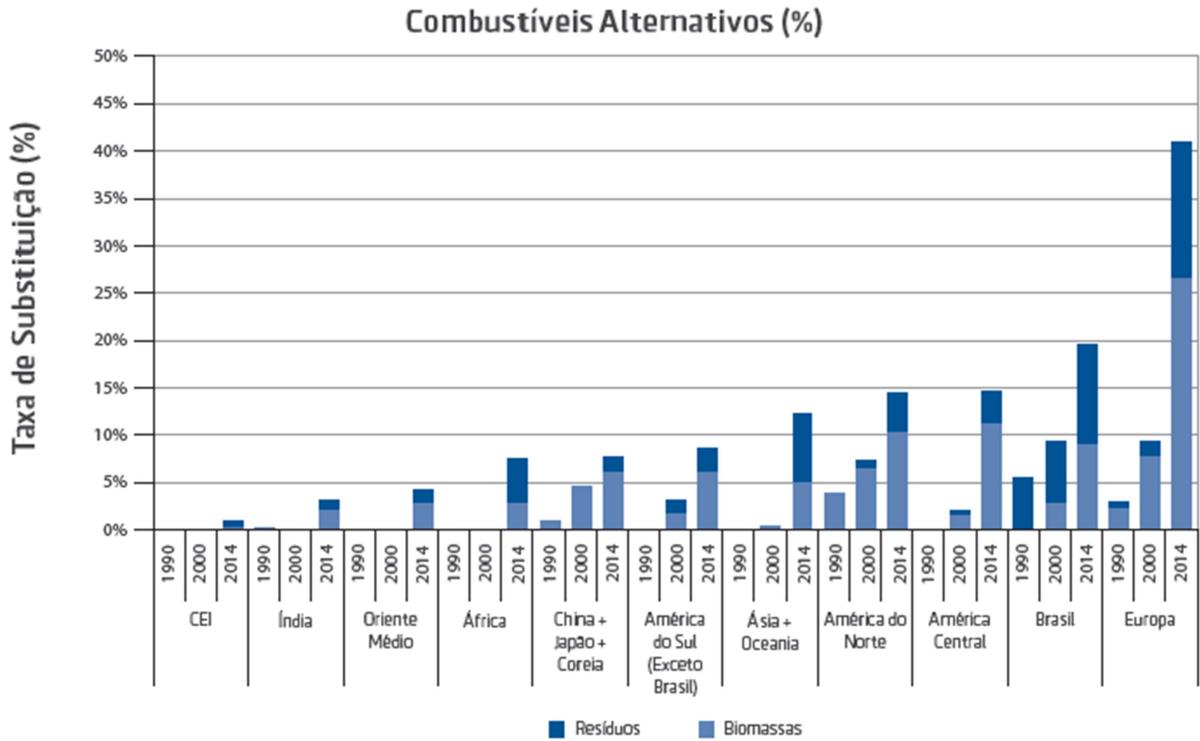
Atualmente, a prática de utilização de resíduos como combustíveis se justifica principalmente pela redução dos custos de produção e pelas vantagens ambientais (MALARD, 2016). De acordo com Usón e colaboradores (2013), uma planta na Europa com produção anual de 1 milhão de toneladas e com taxa de substituição de 30% de combustíveis alternativos poderia economizar cerca de 2,4 milhões de euros. Com relação aos aspectos ambientais, a adoção da prática proporciona benefícios, tais como redução do consumo de combustíveis fósseis e da emissão de CO₂, principal gás do efeito estufa; aproveitamento de resíduos que poderiam ser destinados a aterros ou ter disposições finais inadequadas; aproveitamento do potencial energético dos resíduos; ausência de cinzas no processo de coprocessamento e consequentemente minimização dos impactos associados à sua disposição em aterros.

No Brasil, o coprocessamento mesmo apresentando aumento considerável a partir dos anos 2000, ainda se encontra abaixo de países desenvolvidos, representando aproximadamente 9% da matriz de combustíveis utilizados na indústria do cimento (SNIC, 2018).

A figura 13 demonstra a utilização de combustíveis alternativos por diversos países a partir da década de 90 e a figura 14 apresenta a estimativa do uso de combustíveis alternativos

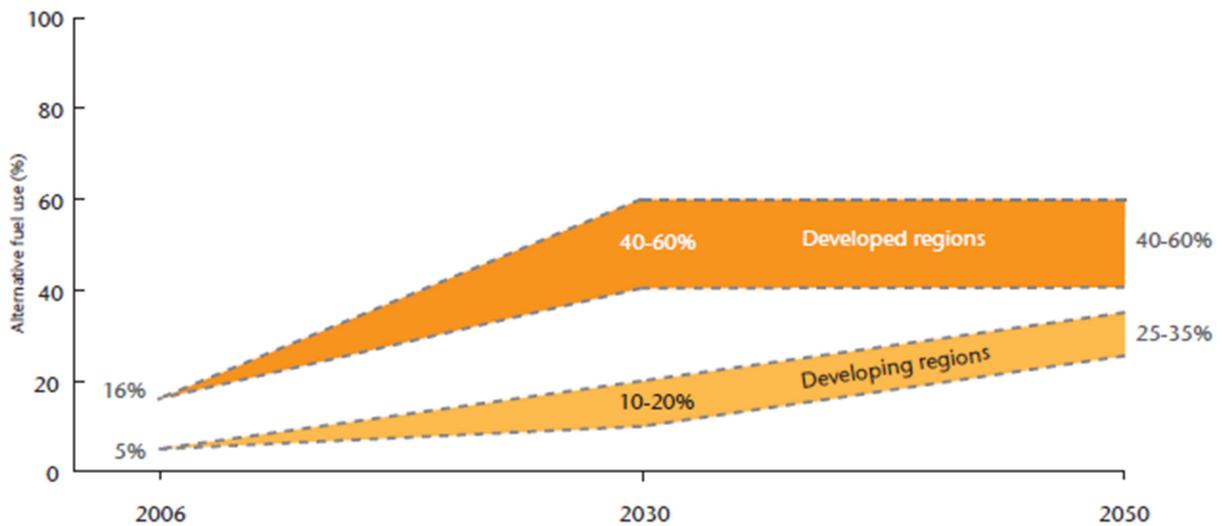
na indústria do cimento até o ano de 2050, comparando o percentual de crescimento nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento como o Brasil.

Figura 13 - Utilização de combustíveis alternativos por diferentes países



Fonte: CSI (2016).

Figura 14 - Estimativa do uso de combustíveis alternativos no período de 2006 a 2050



Fonte: WBCSD (2009).

Na figura 14, observa-se que os países em desenvolvimento apresentam um prognóstico de crescimento constante, enquanto os países desenvolvidos apresentam uma previsão de crescimento até sua estabilização em 2030. Essa utilização máxima irá depender, em cada região, da disponibilidade dos combustíveis alternativos e a competição por eles com outras indústrias (WBCSD, 2009).

4.3.1 Resíduos passíveis de coprocessamento

A atividade de coprocessamento permite a utilização de diversos tipos de resíduos em fornos de clínquer, variando de resíduos inertes a resíduos perigosos. Quanto ao estado físico, a atividade permite o uso de resíduos sólidos ou em estado líquido e pastoso (CONAMA, 1999). No entanto, nem todos os resíduos podem ser coprocessados. Resíduos domiciliares brutos, dos serviços de saúde, radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins tem sua utilização para coprocessamento proibida pela Resolução CONAMA nº 264/1999 e a Resolução CONSEMA 02/2000.

No RS, de acordo com a Resolução CONSEMA 02/2000, os resíduos passíveis de serem utilizados como substituto de matéria prima ou de combustível para fins de coprocessamento em fornos de produção de clínquer, devem apresentar as seguintes características:

Resíduo utilizado como substituto de matéria-prima: deve apresentar características químicas similares às matérias-primas normalmente empregadas na produção de clínquer, ou seja, deve ser composto, basicamente, por óxidos de cálcio, silício, alumínio e ferro, contemplando também, a presença de mineralizadores e/ou fundentes.

Resíduo utilizado como substituto de combustível: Para que um resíduo seja utilizado na geração de energia, substituindo os combustíveis regulares, como carvão mineral, gás natural, óleos combustíveis, briquetes de carvão, coque de petróleo, seu poder calorífico inferior deve ser maior que 2700 kcal/kg (11.300 kJ/kg), base seca, correspondente ao valor do combustível de menor poder calorífico normalmente utilizado como combustível alternativo (casca de arroz).

Os resíduos substitutos de combustíveis nos fornos de clínquer, conforme CONSEMA 02/200 são: borras oleosas, borras ácidas, borras de processos petroquímicos e fundo de tanques, borrachas não cloradas, pneus, carvão ativado usado como filtro, elementos filtrantes de filtros de combustíveis e lubrificantes, solventes, borras de tintas, ceras e resinas fenólicas e acrílicas.

Os resíduos podem ser encaminhados diretamente para coprocessamento no forno de produção de clínquer, como pneus inservíveis e os demais resíduos industriais por apresentarem propriedades físicas e químicas muito variadas podem ser enviados para uma unidade de pré-tratamento e/ou mistura (*blending*) para atender as especificações exigidas pelas cimenteiras (MALARD, 2016).

4.3.2 Pré-tratamento e/ou Blendagem de resíduos

O termo blendagem é uma adaptação da palavra “*blending*” do inglês, que significa misturar. Segundo Nascimento (2018), o processo de blendagem de resíduos para coprocessamento consiste na adequação físico-química dos resíduos, de maneira a atender às especificações definidas pela cimenteira. Estas especificações visam garantir que o “*blend*” ao ser alimentado no forno de clínquer para destruição térmica não afete a qualidade do cimento e nem as emissões atmosféricas. Malard (2016) enfatiza que a prioridade desse processo é a formação de combustíveis alternativos eficientes, que atendam o consumo de energia térmica de um forno rotativo, diminuindo o consumo de combustíveis fósseis na fabricação de cimento e contribuindo para a viabilidade de tratamento de resíduos perigosos que podem causar danos irreversíveis ao meio ambiente ou à saúde pública.

Para blendar resíduos é preciso conhecer a composição química de cada tipo ou grupo de resíduos e questões de compatibilidade química, para que se obtenha um *blend* com as características desejadas. Desta forma, Nascimento (2018), destaca algumas etapas importantes no processo de blendagem:

Caracterização: as características físico-químicas são obtidas através de laudos analíticos de caracterização, onde são avaliados parâmetros como poder calorífico, densidade, umidade, cinzas, cloro, enxofre, fluoretos, bifenilas policloradas, compostos orgânicos voláteis, óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_3 , TiO_2 , Mn_2O_3 , etc), metais (Ar, Be, Co, Ni, Te, Se, Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, V, Sn, Zn, Ca, Tl, Hg, etc) e outros específicos a depender do tipo de resíduo. Para cada um deles a cimenteira estabelece especificações mínimas e/ou máximas para recebimento do *blend*.

Trituração: resíduos sólidos normalmente precisam ser submetidos a um processo de diminuição do seu tamanho realizada através de trituradores industriais.

Classificação: a cimenteira determina a granulometria máxima para a utilização do *blend* de resíduos como combustível alternativo. Desta forma, utilizam-se peneiras para

classificação, onde o material com granulometria maior que a especificação seja reprocessado e separado dos demais que serão encaminhados para a etapa de mistura.

Mistura: após a trituração e/ou classificação os resíduos são misturados para formação do *blend*, seja para substituto de matéria-prima ou para substituto de combustível. Este processo consiste na homogeneização dos resíduos, deixando-os prontos para envio à fábrica de cimento.

De acordo com Malard (2016), a atividade de blendagem de resíduos deve ser realizada com os devidos controles ambientais, pois tem o potencial de geração de impactos ambientais relacionados a manipulação, trituração, preparação, mistura e o transporte de grandes quantidades de resíduos perigosos e de *blends*; a emissão de material particulado e principalmente de substâncias voláteis; a geração de efluentes líquidos; e ao descarte de resíduos impróprios para o coprocessamento.

Malard (2016) ainda ressalta que as características dos resíduos mais procuradas pelas empresas para seu uso no coprocessamento referem-se aos baixos teores de cloro e de metais pesados e a elevada disponibilidade energética. Para o *blend* de resíduos, fica reduzido o poder calorífico inferior em 40%, base seca, para cada componente da mistura atender individualmente, devendo o produto final da mistura apresentar poder calorífico inferior maior que 2700 kcal/kg (CONSEMA, 1999).

A Tabela 2 apresenta as especificações mínimas na composição do *blend* de resíduos industriais para coprocessamento em fornos de clínquer.

Tabela 2 - Especificações mínimas na composição do *blend* de resíduos para serem utilizados como substituto energético

Propriedade	Limite	Unidade
Poder calorífico	1.620 mín	kcal/kg
Cloro	< 0,5	%
Mercúrio	< 10	mg/kg
Chumbo	< 2.000	mg/kg
Cromo	< 3.000	mg/kg
Cd + Tl	< 100	mg/kg
As + Co + Ni + Te	< 3.000	mg/kg

Fonte: PROAMB (2017).

A Tabela 3 apresenta o poder calorífico de diferentes resíduos que podem ser utilizados como substitutos de combustíveis convencionais.

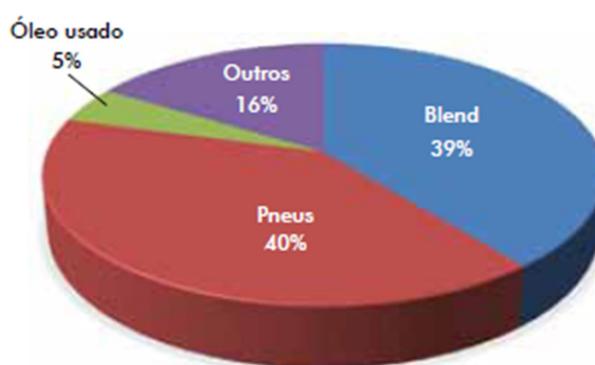
Tabela 3 - Exemplos de poder calorífico de diferentes resíduos usados como combustíveis

Resíduos combustíveis	Poder calorífico (MJ/kg)
Madeira	16
Papel	3-16
Plástico	17-40
Resíduos têxteis	>40
Pneus inservíveis	26
Lodo de ETE industrial	8-14
Lodo de ETE municipal	12-16
Resíduo de agricultura	12-16
Solventes e similares	20-36
Óleo e resíduo de óleo	25-36
RSU	5-21

Fonte: Adaptado de EUROPEAN UNION, 2013.

Em 2016, de acordo com ABCP (2017), dos resíduos utilizados como substitutos de combustíveis nos fornos de clínquer do país, destacam-se os pneus inservíveis e o *blend* de resíduos, conforme figura 15.

Figura 15 - Percentual por poder calorífico (kcal/kg) de resíduos utilizados como combustível alternativo na indústria cimenteira em 2016



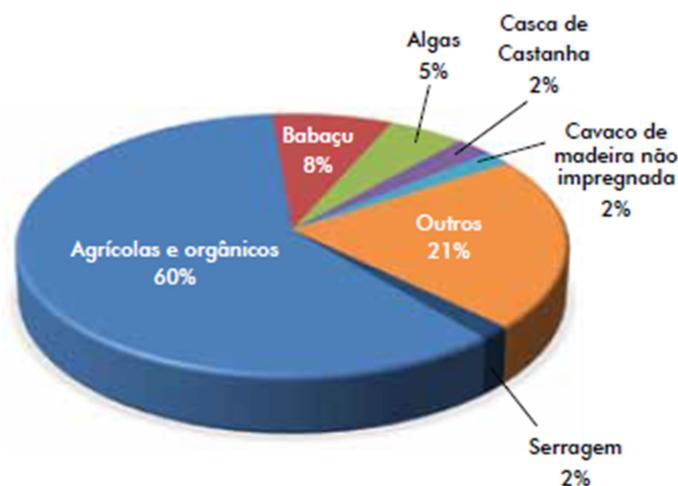
Fonte: ABCP (2017)

Devido à necessidade de redução de custos, a indústria cimenteira tem grande interesse na substituição dos combustíveis convencionais por alternativos que sejam comercializados a um menor custo e que atendam às especificações mínimas de qualidade para a produção (MEYTRE, 2016).

Os combustíveis oriundos de resíduos de biomassa representaram em 2016, 4% em poder calorífico (kcal/kg) dos resíduos com potencial energético dos combustíveis

alternativos utilizados no coprocessamento (ABCP, 2017). A figura 16 apresenta a porcentagem por poder calorífico em kcal/kg dos combustíveis de biomassa utilizada pela indústria cimenteira em 2016.

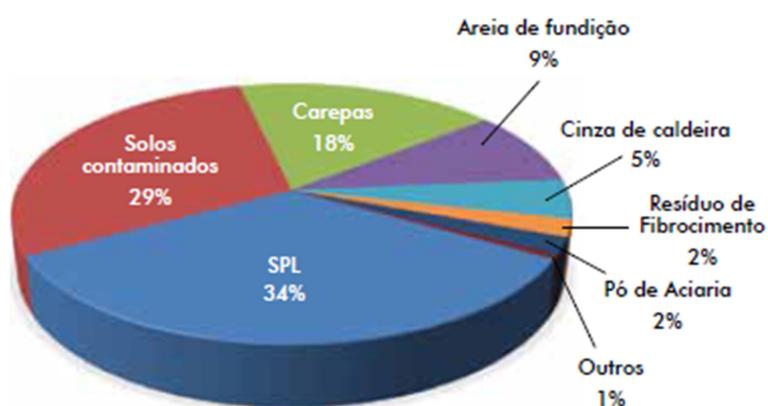
Figura 16 - Percentual (kcal/kg) de combustíveis de biomassa utilizada na indústria cimenteira em 2016



Fonte: ABCP (2017).

A figura 17 apresenta a porcentagem em toneladas de matéria-prima alternativa utilizada na indústria cimenteira brasileira em 2016.

Figura 17 - Percentual em toneladas de matéria-prima alternativa utilizada pela indústria cimenteira brasileira em 2016



Fonte: ABCP (2017).

A substituição das matérias-primas convencionais possui vários impactos ambientais positivos, como o aumento da vida útil das jazidas de argila e calcário. Além

disso, os resíduos industriais e passivos ambientais coprocessados teriam como destinação final os aterros industriais ou a incineração. Com o coprocessamento desses materiais haverá um aumento da vida útil dos aterros. Para as cimenteiras, o uso da matéria-prima secundária diminui o custo da produção, sendo assim vantajoso ambiental e economicamente (ABCP, 2017).

4.3.3 Coprocessamento de Pneus

O descarte inadequado de pneus gera sérios problemas ambientais, sociais e de saúde pública. Os pneus expostos a céu aberto podem levar até 150 anos para se degradar, além de estarem sujeitos a riscos de incêndio e propiciar o aparecimento de focos da dengue (CNI, 2017). Diante do contexto, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou, em 1999, a resolução 258/99, revogada em 2009, que obrigava os fabricantes e importadores a destinar adequadamente os pneus inservíveis, proibindo ainda a sua disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e queima a céu aberto.

Em 30 de setembro de 2009 foi aprovada a Resolução CONAMA nº 416 que revogou a Resolução CONAMA 258/99. Essa resolução dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, obrigando os fabricantes e os importadores de pneus novos a coletar e dar destinação aos pneus inservíveis existentes no território nacional (CONAMA, 2009).

Em 2010, a PNRS trouxe instrumentos inovadores para a gestão dos resíduos sólidos, em especial a logística reversa, contemplando a indústria de pneumáticos, as empresas fabricantes, importadoras, bem como os distribuidores e comerciantes, assumindo, em conjunto, de forma isolada ou compartilhada, a responsabilidade pela implementação das ações e procedimentos para a coleta e a restituição dos resíduos pós-consumo ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

No Brasil, a Reciclanip criada pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) que representa os fabricantes de pneus novos no país, é a responsável pelo projeto que consiste na instalação de pontos de coleta de pneus espalhados pelo país, na gestão da logística de retirada desses pneus inservíveis do ponto de coleta e destinação ambientalmente adequada em empresas licenciadas pelos órgãos ambientais competentes e homologada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Os pontos de coleta de pneus ou EcoPontos são locais disponibilizados e administrados pelas Prefeituras

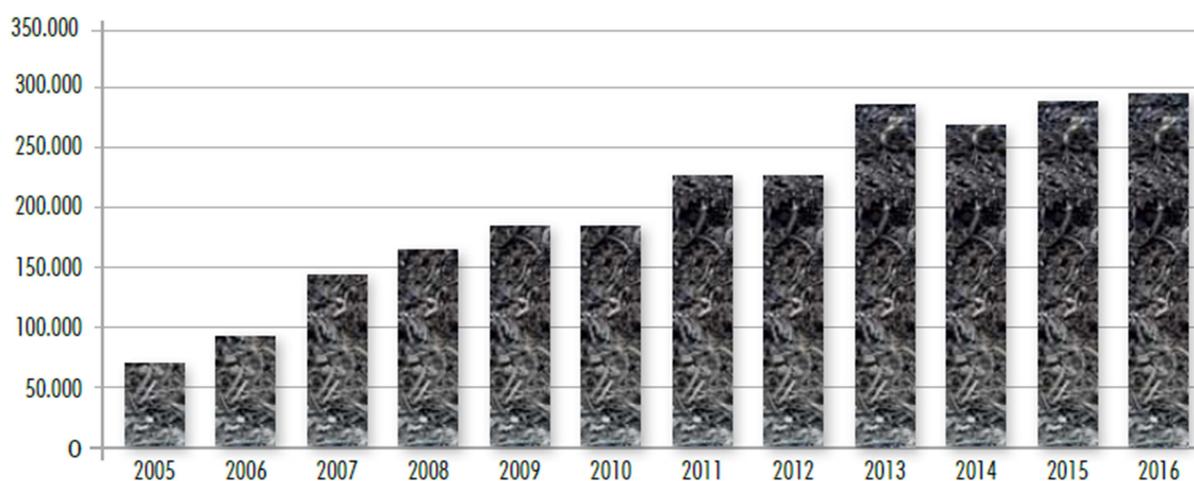
Municipais que recebem e armazenam os pneus recolhidos pelo serviço municipal de limpeza pública ou aqueles descartados voluntariamente por borracheiros, recapadores e pelos cidadãos. Em 2018, o programa contabilizou 1.053 pontos de coleta em todo o Brasil, destes, 101 pontos estão localizados em municípios do Rio Grande do Sul (RECICLANIP, 2018).

De acordo com o Relatório IBAMA de Pneumáticos 2018 (IBAMA, 2018), os fabricantes nacionais de pneus destinaram de forma ambientalmente correta, cerca de 458 toneladas de pneus inservíveis em 2017. Os pneus inservíveis coletados têm o aço retirado e encaminhado para a indústria siderúrgica e a borracha triturada é utilizada na pavimentação de vias, na fabricação de artefatos, em quadras esportivas, em sinalizadores de trânsito e na indústria cimenteira. Do total de pneus inservíveis coletados e destinados pela Reciclanip, cerca de 70 % são utilizados como combustível alternativo em fornos de cimento, em substituição ao coque de petróleo (RECICLANIP, 2018).

Dentre as alternativas de destinação ambientalmente correta dos pneus inservíveis, o coprocessamento em fornos de cimento possibilita o descarte de grande volume de pneus inservíveis, tanto inteiros quanto picados. Um único forno, com capacidade de produção diária de duas mil toneladas de clínquer, pode consumir até quarenta mil pneus por dia (ABCP, 2017).

Conforme ABCP (2017) foram coprocessadas nos fornos de cimento 297 mil toneladas de pneus em 2016, o equivalente a aproximadamente 59,4 milhões de unidades de pneus de carros de passeio (ABCP, 2017). A figura 18 demonstra a evolução do coprocessamento de pneus no Brasil entre os anos de 2005 e 2016.

Figura 18 - Evolução do coprocessamento de pneus no Brasil



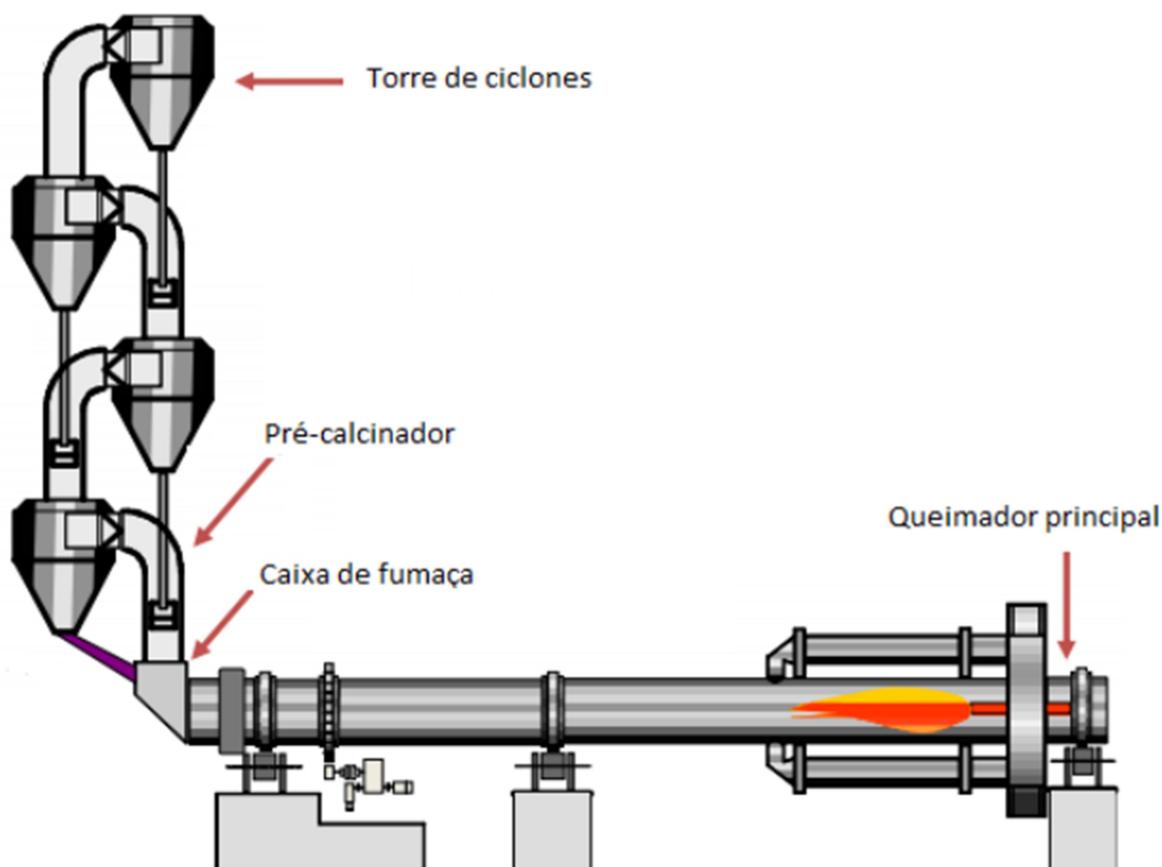
Fonte: ABCP (2017).

Os pneus inservíveis são os resíduos mais utilizados como combustível alternativo apresentando conteúdo energético maior que o carvão. Quando queimados em ambiente controlado, não há aumento nas emissões atmosféricas, podendo em alguns casos haver até redução (CNI, 2017). No entanto, tendo em vista sua composição química, a substituição térmica de combustíveis tradicionais por pneus não deve ultrapassar valores entre 20-30%, caso contrário poderá haver alterações negativas nas características físico-químicas do cimento (SILVA *et al.*, 2014).

4.3.4 Pontos de alimentação de resíduos no sistema forno de clínquer

Do ponto de vista tecnológico, o coprocessamento consiste na alimentação ou injeção dos resíduos no sistema-forno de clínquer, em diferentes pontos, como pode ser observado na figura 19. De acordo com Malard (2016), a alimentação pode ocorrer na caixa de fumaça, queimador (maçarico) principal do forno de clínquer, pré-calcinador e torre de ciclones, juntamente com a farinha.

Figura 19 - Pontos de alimentação de resíduos para coprocessamento



Fonte: MALARD (2016).

Para que a queima dos resíduos industriais seja eficaz, é necessário tomar algumas precauções em relação ao modo como o material é adicionado ao forno, bem como, em qual ponto do forno, visto que o modo e o local de alimentação dos resíduos têm influência nas emissões atmosféricas (EUROPEAN UNION, 2013)

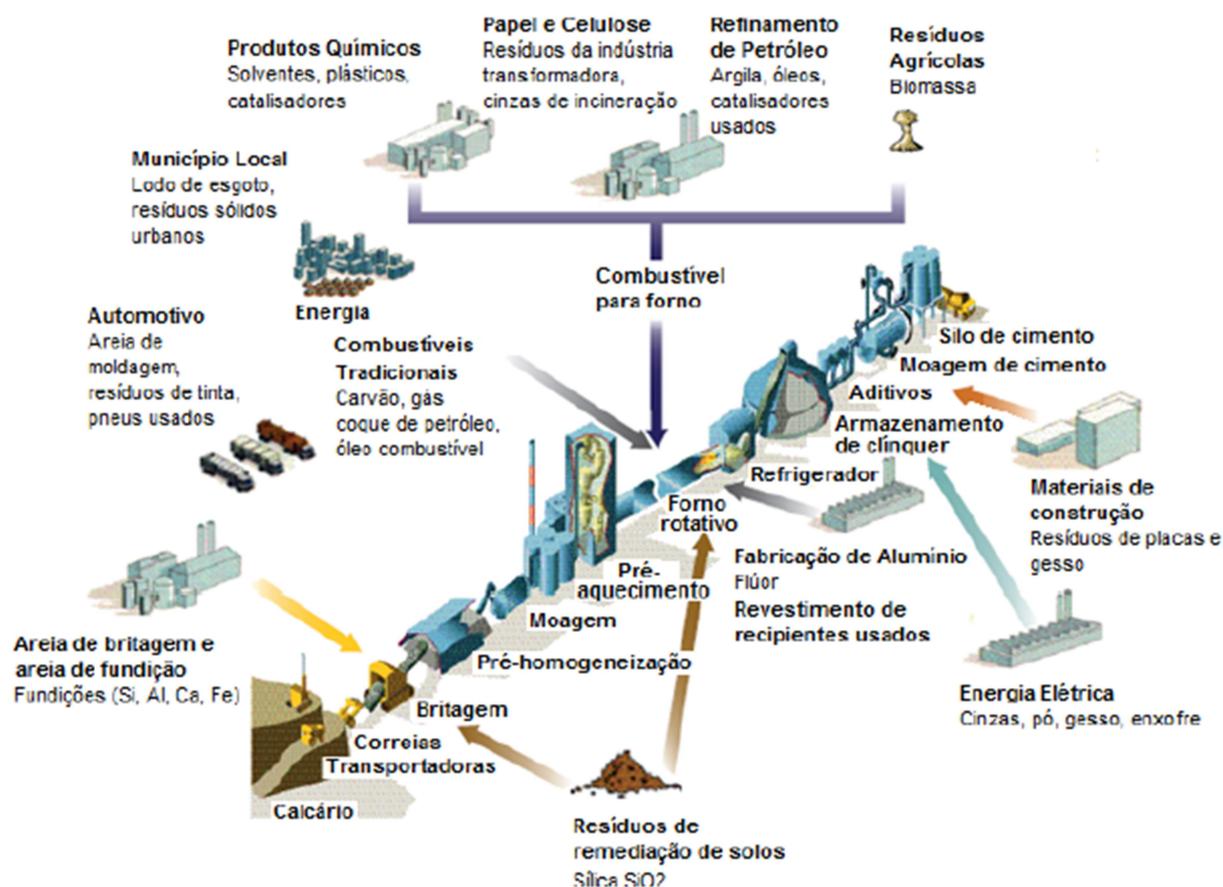
Os pontos de alimentação fornecem diversas possibilidades de dosagem de resíduos, porém é necessário identificar qual melhor se aplica para cada tipo, de acordo com as suas respectivas características físico-químicas (MONTENEGRO, 2007; NASCIMENTO, 2018). Segundo os autores, os canais de alimentação de resíduos podem ser:

- 1) **Moinho de matéria-prima:** resíduos que possuem características similares às matérias-primas tradicionais da indústria de cimento, ou seja, os que possuem alguns dos principais óxidos, alumínio, cálcio, silício ou ferro, como solos contaminados, revestimentos gastos de cubas, pós de ferro, entre outros resíduos.
- 2) **Moinho de combustível:** por este canal é possível dosar finos de coque, finos de carvão, moinha e sólidos pulverizados (CSS) 40.
- 3) **Pré-calcinador:** quanto maior o pré-calcinador, maior o tempo de residência dos gases e maior será a capacidade de coprocessamento do forno. Neste ponto é possível dosar uma melhor variedade e volume de materiais, como resíduos sólidos triturados com granulometria menor que 50 mm, resíduos líquidos e pastosos, pneus triturados, além das biomassas.
- 4) **Caixa de fumaça:** neste ponto normalmente alimenta-se os pneus inteiros, sendo viável ainda os resíduos líquidos e pastosos e os CSS 50.
- 5) **Queimador principal:** neste o combustível moído é injetado no forno simultaneamente com correntes de ar, propiciando uma melhor combustão, sendo possível dosar também resíduos sólidos triturados com granulometria inferior a 25 mm, líquidos e CSS 10.

De acordo com Ramos (2015), o local de injeção mais apropriado é o queimador principal junto à saída do clínquer, porque nestas condições a temperatura e o tempo de residência são maximizados.

A figura 20 exemplifica vários resíduos com potencial de utilização no coprocessamento, assim como suas atividades geradoras.

Figura 20 - Exemplos de alimentação de combustíveis e matérias-primas alternativas



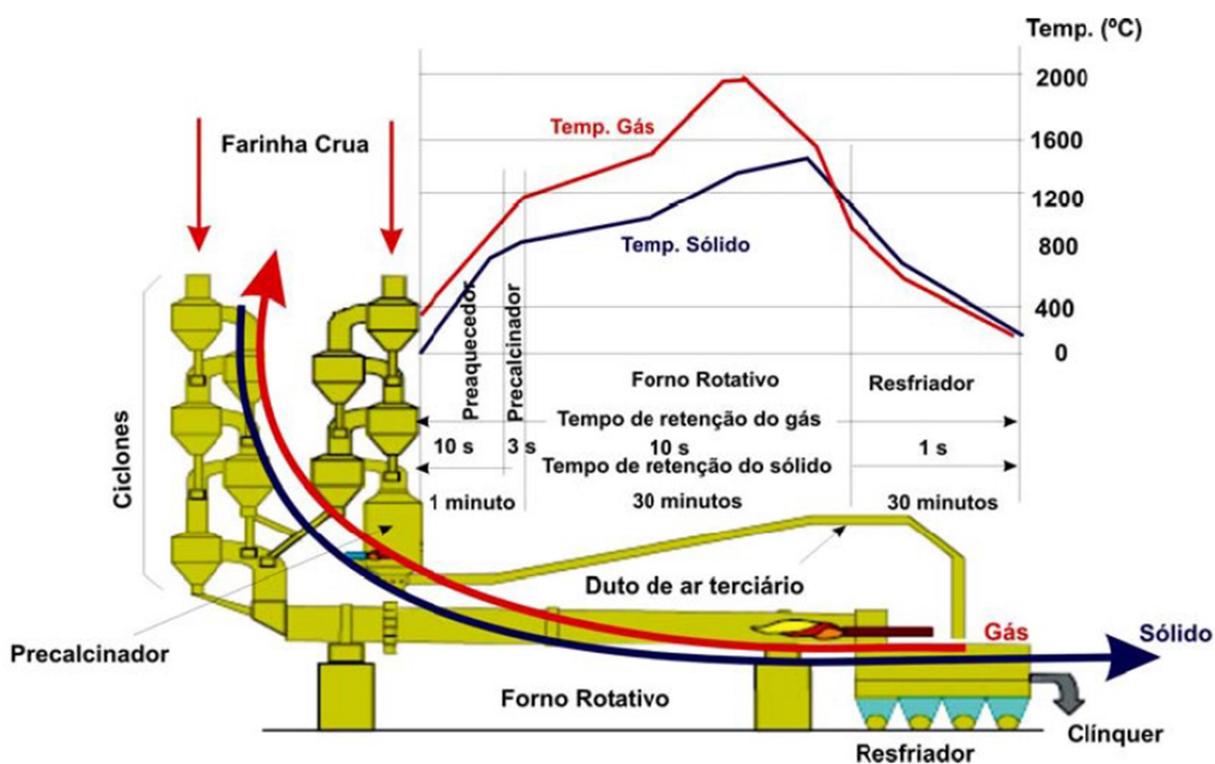
Fonte: Adaptado de WBCSD, 2014.

No queimador principal, os resíduos serão decompostos ou incorporados ao clínquer na zona de queima primária, aonde as altas temperaturas chegam até 2.000 °C (EIPPCB, 2013). Conforme Santi (2003), para garantir o perfil de temperatura de gases no interior do forno rotativo (temperaturas chegando a 2.000 °C), somente os combustíveis que possuam poder calorífico maior que 20 MJ/kg podem ser alimentados pelo queimador principal.

Os demais resíduos podem ser alimentados pelo queimador secundário (pré-aquecedor ou calcinador) sendo queimados a temperaturas mais baixas (menores que 1.100 °C) e com tempo de residência menores, sendo possível desta forma, o emprego de combustíveis de menor poder calorífico (SANTI, 2003).

A Figura 21, mostra o esquema de uma instalação de um forno rotativo com pré-aquecedor de 4 estágios e pré-calcinador apresentando o perfil de temperatura do material sólido e do gás com seus respectivos tempo de retenção dentro do sistema.

Figura 21 - Perfil de temperatura do material sólido e do gás com seus respectivos tempos de retenção que ocorrem no forno e no calcinador durante a produção de cimento



Fonte: SIGNORETTI (2008) *apud* RAMOS (2015).

De acordo com Belatto (2013), as altas temperaturas e o longo tempo de residência nos fornos rotativos garantem a destruição dos compostos orgânicos. Além disso, o ambiente naturalmente alcalino do forno garante a absorção dos ácidos e óxidos e os produtos da queima dos combustíveis convencionais e alternativos são reciclados. Um forno de clínquer reúne condições ótimas para uma queima ou destruição eficaz da maioria dos resíduos que possam oxidar/decompor com a temperatura (RAMOS, 2015). No entanto, de acordo com o Gabinete Europeu de Prevenção e Controle integrados da poluição - EIPPCB (2013), essas condições nem sempre são suficientes para decompor certos tipos de resíduos como as substâncias orgânicas halogenadas ou precursoras de substâncias tóxicas.

A EIPPCB (2013) destaca as características essenciais do processo de produção de cimento que garantem o coprocessamento dos resíduos como:

- temperatura máxima da chama nos fornos rotativos de aproximadamente, 2.000 °C;
- tempo de retenção dos gases no forno rotativo de aproximadamente, 8 segundos em temperaturas acima de 1.200 °C;

- c) temperatura da farinha para produção do clínquer, chegando a aproximadamente, 1.450 °C na zona de clinquerização dos fornos rotativos;
- d) atmosfera oxidante no interior dos fornos rotativos;
- e) tempo de retenção dos gases no calcinador de mais de 2 segundos em temperaturas acima de 850 °C;
- f) temperatura da farinha para produção do clínquer, chegando a aproximadamente, 850 °C no calcinador;
- g) condições de queima uniforme mesmo com variação na carga devido às altas temperaturas e tempos de retenção suficientemente longos;
- h) destruição de poluentes orgânicos devido às altas temperaturas em tempos de retenção suficientemente longos;
- i) absorção de componentes gasosos, como o HF, HCl, e SO₂ pelos reagentes alcalinos;
- j) alta capacidade para retenção de metais pesados;
- k) curto tempo de retenção dos gases de exaustão após o pré-calcinador na faixa de temperatura conhecida por levar à formação de dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) e dos dibenzofuranos policlorados (PCDF);
- l) completa utilização das cinzas dos combustíveis como componente do clínquer;
- m) não ocorre a geração de resíduos secundários, uma vez que o material é completamente utilizado na fabricação do clínquer;
- n) incorporação químico-mineralógica de metais pesados não voláteis no clínquer.

Com essas características, coprocessamento na indústria cimenteira oferece muitas vantagens, entre elas a eliminação térmica de resíduos perigosos e passivos ambientais, a redução do consumo de combustíveis fósseis, conserva os recursos naturais e fornece uma alternativa ambiental sadia para o seu tratamento, ajudando a diminuir o passivo ambiental existente. Além disso, a indústria cimenteira é incentivada a processá-los, pois ao invés de pagar pelo seu suprimento, ela passa a ter uma receita extra pela destinação final desses resíduos (PAULA, 2009).

Além de ser utilizada na destruição de resíduos perigosos com elevado grau de eficiência, a indústria cimenteira não tem a necessidade de alterações significativas no processo industrial e conseqüentemente, o coprocessamento possui menor custo que outros processos alternativos de destruição de resíduos (RAMOS, 2015).

4.4 ASPECTOS AMBIENTAIS

De acordo com Belatto (2013), a indústria de cimento é caracterizada pelo seu elevado potencial poluidor, devido a alta emissão de poluentes gasosos e material particulado. Os tipos de poluentes emitidos e as taxas de emissão variam de acordo com as características operacionais do sistema e com a composição química das matérias-primas e combustíveis utilizados.

Os principais poluentes primários emitidos no meio ambiente durante a fabricação do cimento Portland são os óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de carbono e material particulado. Pode-se mencionar também a emissão de menores quantidades de compostos orgânicos voláteis, amônia, cloro, cloreto de hidrogênio e produtos provenientes da combustão incompleta. Além disso, os metais pesados presentes na composição das matérias-primas e dos combustíveis podem ser emitidos na forma de particulado ou vapor, mesmo se presentes em pequena quantidade (SANTI, 2003).

4.4.1. Poluentes emitidos

4.4.1.1. Óxidos de Nitrogênio (NOx)

O NOx é formado pela reação do nitrogênio do ar e dos combustíveis com a atmosfera oxidante dentro dos fornos e altas temperaturas do processo de clínquerização. As emissões de NOx nos sistemas de combustão resultam de três principais mecanismos: NO térmico, NO do combustível e NO imediato. Nos fornos rotativos da indústria de fabricação de cimento, o NO térmico e NO do combustível são os processos mais relevantes, sendo o NO térmico a principal rota do mecanismo de formação das emissões de NOx, devido às altas temperaturas envolvidas na queima e nas etapas de formação do clínquer, juntamente com a atmosfera oxidante no forno. (MALARD, 2016).

Os fatores que contribuem para a formação de NOx térmico em forno rotativo são: temperatura da fase gasosa, o formato da chama, a taxa de excesso de ar e o tempo de permanência do gás e do material na zona de queima em altas temperaturas, entre outros (BELATO, 2013). De acordo com Malard (2016), é possível minimizar as emissões de NOx atuando sobre os fatores que determinam sua formação, em particular sobre a temperatura máxima e a concentração de oxigênio nos fornos.

Conforme Ramos (2015), o NO_x é um poluente secundário que reage com outros componentes químicos, formando substâncias que contribuem para a destruição da camada de ozônio, formação da chuva ácida e do efeito smog, ou seja, a emissão de NO_x na atmosfera está ligada a uma série de impactos ambientais.

4.4.1.2. Óxidos de Enxofre (SO_x)

A geração de SO_x no sistema de fabricação do cimento decorre da reação química produzida no forno a partir do conteúdo de enxofre (sulfatos e sulfetos) presentes nas matérias-primas empregadas e da queima do enxofre contido no combustível utilizado (CNI, 2017). Durante o processo de fabricação do clínquer, de 50% a 90% do enxofre é absorvido, sendo incorporado ao clínquer ou emitido na forma de material particulado e o restante do enxofre é retido no sistema na forma de incrustações ou como parte do ciclo volátil. Já durante a combustão, praticamente todo o enxofre proveniente dos combustíveis é oxidado em SO₂ (MALARD, 2016).

Apesar dos óxidos de enxofre (SO_x) englobarem uma série de óxidos, entre eles o SO, SO₂, SO₃, S₂O₃, S₂O₇, SO₄, entre outros, somente o SO₂ e o SO₃ são considerados importantes como gases poluentes. No meio ambiente, o SO₃ reage rapidamente com a água, formando ácido sulfúrico e o SO₂ reage com a água formando ácido sulfuroso, sendo considerados os principais componentes responsáveis pela formação da chuva ácida (BELATTO, 2013).

A formação dos óxidos de enxofre varia consideravelmente dependendo da temperatura, do nível de excesso de oxigênio, do nível de álcalis, do nível de cloro e da presença de monóxido de carbono e de outros elementos menores quantidades na combustão (RAMOS, 2015). Para diminuir a emissão de SO_x na indústria cimenteira, Belatto (2013), ressalta que deve-se adotar medidas para evitar a formação de SO₂, tais como utilizar combustíveis com baixo teor de enxofre em sua composição, mudar a fonte dos aditivos da farinha ou das matérias-primas, reduzindo a quantidade de enxofre na composição dos mesmos. Outra alternativa é a instalação de um sistema de injeção de cal hidratada (Ca(OH)₂) para diminuir redução de SO₂, onde a mesma é injetada diretamente no pré-aquecedor, absorvendo o SO₂ da farinha (FeS₂) (RAMOS, 2015).

4.4.1.3. Material Particulado (MP)

A indústria do cimento emite uma grande quantidade de material particulado na atmosfera. As principais fontes de material particulado na fabricação do cimento são os processos de preparação das matérias-primas, unidades de moagem e secagem, fornos, resfriadores, moinhos de cimento e ensacadeiras (CNI, 2017).

O MP é o conjunto de partículas sólidas ou líquidas presentes em suspensão na atmosfera. Seu tamanho varia de 0,001 a 500 μm , sendo que a maior parte do material particulado apresenta diâmetro entre 0,1 e 10 μm . Essas partículas menores que 10 μm causam um grande dano à saúde humana, pois ficam retidas no trato respiratório superior, sendo que partículas menores de 2,5 μm têm um alto potencial de atingir os pulmões e se depositarem. Além dos riscos a saúde humana, a emissão de MP aumenta as taxas de reação na atmosfera e reduzem a visibilidade, alterando os níveis de radiação solar que chegam ao solo, alterando sua temperatura e influenciando no crescimento das plantas (BELATO, 2013).

Os principais equipamentos de controle utilizados atualmente para a redução das emissões de material particulado são os filtros de manga, os precipitadores eletrostáticos ou a combinação de ambos, ou seja, os filtros híbridos. Ambos apresentam alta eficiência durante a operação normal, possuem alta capacidade de retenção de material particulado (>99%) e dependem do tamanho da partícula (CNI, 2017). No entanto, Malard (2016) conclui que o filtro de mangas é o melhor sistema de despoejamento e deveria ser instalado em todos os empreendimentos cimenteiros, frente ao grande impacto que pode ser gerado no caso dos desligamentos dos filtros eletrostáticos.

4.4.1.4. Dióxido de Carbono (CO₂)

As indústrias de cimento são grandes fontes de emissão de gases de efeito estufa, sendo responsáveis por aproximadamente 6% das emissões antropogênicas de CO₂. Cerca de 50% das emissões de dióxido de carbono são originadas na reação química de conversão do calcário (CaCO₃) em óxido de cálcio (CaO), aproximadamente 40% das emissões resultam da combustão de combustíveis fósseis durante as operações de produção do cimento e o remanescente é resultante das emissões do transporte de matérias-primas (cerca de 5%) e da eletricidade consumida pelas fábricas, proveniente da queima de combustíveis fósseis (cerca de 5%) (WBSCD, 2018).

De acordo com Ramos (2015), a redução na emissão da liberação de CO₂ pela indústria cimenteira pode ser alcançada pelo controle constante dos combustíveis utilizados, uma vez que a parcela da formação de CO₂ correspondente à matéria prima permanece estável

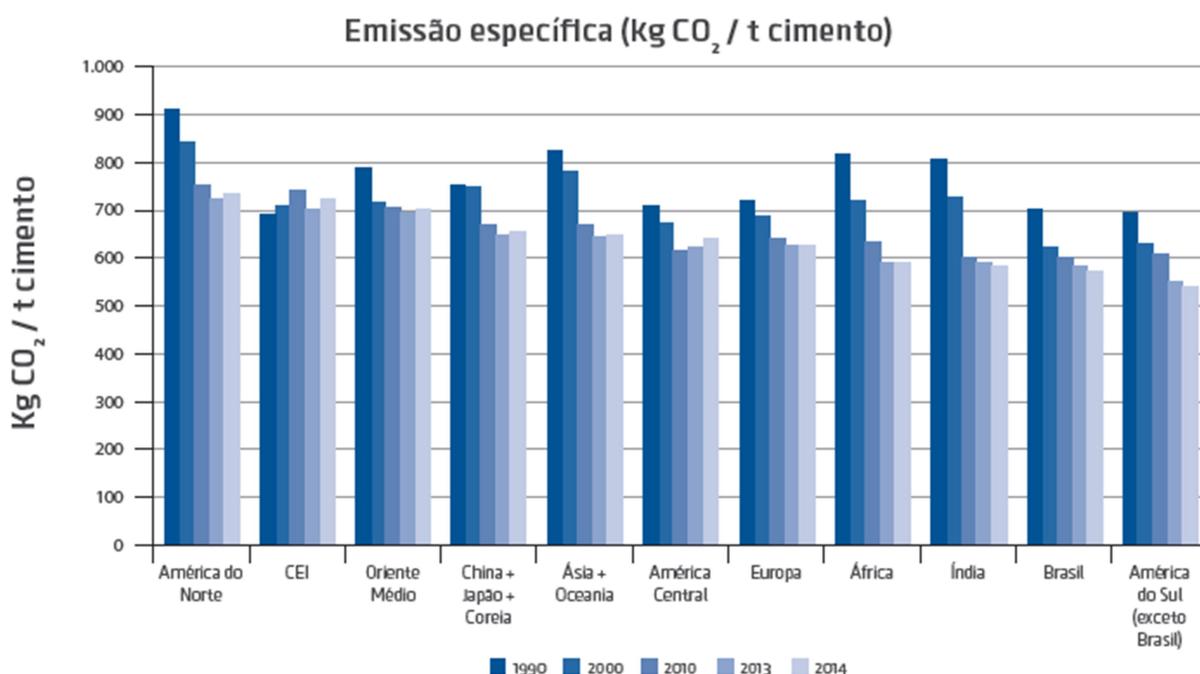
em função da composição química das jazidas que alimentam as fábricas. Além disso, conclui também que o coprocessamento de pneus inservíveis, proporciona uma redução na quantidade de CO₂ emitida pelo processo de fabricação de clínquer com conseqüente redução do custo do processo.

Segundo CEMBUREAU (2018), há três formas principais para reduzir a quantidade de CO₂ lançado na atmosfera pela indústria de cimento:

- a) melhorar a eficiência energética do processo de produção de cimento;
- b) uso de combustível alternativo;
- c) substituição de matérias-primas.

O Brasil é considerado pela Agência Internacional de Energia (IEA), referência na redução das emissões de CO₂, dentre os principais países produtores de cimento. Esse grau de excelência alcançado é devido à indústria brasileira possuir um parque industrial moderno e eficiente, com instalações que operam com baixo consumo energético, pela crescente utilização de combustíveis alternativos e a busca pela ampliação do uso de adições e substitutos de clínquer. Praticamente todo o cimento no país é produzido por via seca, processo industrial que garante a diminuição do uso de combustíveis em até 50% em relação a outros processos (CNI, 2017). A figura 22 apresenta a emissão específica de kg de CO₂ por tonelada de cimento produzida em diferentes países e regiões.

Figura 22 - Emissão específica (kg CO₂/t cimento) nos países produtores de cimento



Fonte: CSI (2016).

Desta forma, pode-se afirmar também que além de variações dos combustíveis utilizados nas plantas de cimento, o uso de adições ativas, como escórias de alto forno siderúrgico, na fabricação de cimento Portland podem resultar em significantes reduções de CO₂ para a atmosfera.

4.4.1.5. Metais Pesados

A composição de metais pesados nos combustíveis e as matérias-primas utilizadas para a produção de cimento pode variar muito. Durante o coprocessamento de resíduos e depois de dissociados, os metais pesados são redistribuídos, sendo os mais voláteis, como mercúrio (Hg) e tálio (Tl), emitidos juntamente com os gases pela chaminé principal do forno; os semivoláteis (cádmio (Cd), chumbo (Pb), bismuto (Bi), antimônio (Sb) e selênio (Se)); e que formam compostos refratários não voláteis durante a combustão (arsênio (As), cromo (Cr), berílio (Be), prata (Ag), ferro (Fe), titânio (Ti), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e estanho (Sn)), misturam-se de forma química e estrutural ao clínquer sendo removidos e adicionados ao cimento .

A melhor forma de evitar emissões de metais para a atmosfera é o controle da taxa de alimentação de resíduos contendo essas substâncias e o controle através de precipitadores eletrostáticos e filtros de mangas que capturam os metais (MALARD, 2016).

4.4.1.6. Gases Ácidos

De acordo com Malard (2016), o principal gás ácido gerado no coprocessamento é o cloreto de hidrogênio (HCl). O fator determinante na formação e emissão deste gás é a presença de cloro nos resíduos. Na presença de hidrogênio, a maior parte do cloro disponível é convertida em HCl, gás incolor, tóxico e corrosivo.

A exposição a concentrações moderadas de vapor de HCl acima do Limite Tolerante (4 ppm) é irritante para o trato respiratório superior. A inalação de altas concentrações (acima de 50 ppm) causa choque, tosse, queimadura da garganta e irritação severa no trato respiratório com possível ulceração no nariz, garganta e laringe, espasmo da laringe, edema pulmonar e danos aos pulmões. A exposição repetida ou prolongada ao vapor pode causar descoloração ou erosão dos dentes, sangramento da gengiva e ulceração da mucosa nasal. Além do HCl, o coprocessamento de resíduos também pode gerar Fluoreto de Hidrogênio

(HF), gás altamente corrosivo, com efeitos semelhantes ao HCl para o meio ambiente e a saúde humana. O princípio da remoção é a aplicação de reagentes alcalinos.

4.4.1.7. Dioxinas e Furanos

A formação de dioxinas e furanos está intimamente ligada a presença de cloro nos combustíveis e/ou nas matérias-primas utilizadas na produção de cimento, e ocorre principalmente durante o resfriamento de 450°C para 200°C, sendo importante que a temperatura seja reduzida rapidamente. Os longos tempos de residência aliado as altas temperaturas do forno favorecem a baixa emissão dessas substâncias (EUROPEAN UNION, 2013). Esses compostos químicos persistentes, devido aos graves efeitos sobre a saúde humana e ao meio ambiente, são referenciados como “as substâncias químicas mais tóxicas que a humanidade conhece” (SANTI, 2003). No entanto, de acordo com o art. 11, da Resolução CONAMA nº 316/ 2002, todo sistema de tratamento térmico para resíduos industriais deverá atingir a taxa de eficiência de destruição e remoção (EDR) superior ou igual a 99,99 % para o principal composto orgânico perigoso (PCOP) definido no teste de queima e no caso de bifenilas policloradas (PCBs), a taxa de eficiência de destruição e remoção (EDR) deverá ser superior ou igual a 99,99%. Desta forma, as condições do forno garantem a destruição de poluentes formados no processo de combustão, como dioxinas e furanos, ocorrendo em frações de segundos (MARINGOLO, 2001).

4.4.2 Monitoramento ambiental e limites de emissões atmosféricas no RS

No estado do Rio Grande do Sul, a Resolução CONSEMA 02/00, define critérios, procedimentos e aspectos técnicos de licenciamento ambiental para coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer para fabricação de cimento, incluindo o monitoramento ambiental e estabelecendo os limites de emissões atmosféricas. Desta forma, deve ocorrer monitoramento complementar que compreenda a avaliação constante das emissões provenientes do sistema forno de produção de clínquer, bem como da qualidade ambiental na área de influência da planta devendo ser dimensionada com base em estudo prévio de dispersão dos poluentes atmosféricos na região e na análise de risco do processo. A taxa de alimentação do resíduo deve ser controlada através de avaliação sistemática do monitoramento das emissões (CONSEMA, 2000).

A tabela 4 apresenta os limites máximos de emissão atmosférica para o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer no estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 4 - Limites de emissão de acordo com a Resolução CONSEMA 02/00

POLUENTE	LIMITES MÁXIMOS DE EMISSÃO
HCl	1,8 kg/h ou 99%de redução
HF	5 mg/Nm ³ corrigido a 7%de O ₂ (base seca)
CO (a)	100 ppmv corrigido a 7%de O ₂ (base seca)
Material Particulado	70 mg/Nm ³ corrigido a 11%de O ₂ (base seca)
Hidrocarbonetos Totais (THC) (b)	20 ppmv corrigido a 7%de O ₂ (base seca)
Mercúrio (Hg)	0,05 mg/Nm ³ corrigido a 7%de O ₂ (base seca)
Chumbo (Pb)	0,35 mg/Nm ³ corrigido a 7%de O ₂ (base seca)
Cádmio (Cd)	0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7%de O ₂ (base seca)
Tálio (Tl)	0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7%de O ₂ (base seca)
(As+Be+Co+Ni+Se+Te)	1,4 mg/Nm ³ corrigido a 7%de O ₂ (base seca)
(As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+ Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn)	7,0 mg/Nm ³ corrigido a 7%de O ₂ (base seca)

Fonte: CONSEMA (2000).

Em relação às concentrações de CO (a) na chaminé não poderão exceder a 100 ppmv em termos de média horária, caso contrário ocorre o intertravamento da alimentação de resíduo. O limite de 100 ppmv poderá ser excedido desde que os valores medidos de THC não excedam a 20 ppmv em termos de média horária e que não seja ultrapassado o limite superior de CO de 500 ppmv, corrigido a 7% de O₂ (base seca), em qualquer instante. O limite de CO para o intertravamento da alimentação de resíduo será fixado a partir dos testes de queima estabelecidos com base nas médias horárias e corrigidas continuamente a 7% de O₂ (gás base seca)

Conforme CONSEMA 02/00, os parâmetros pressão interna e temperatura dos gases do sistema forno, vazão de alimentação do resíduo, O₂, CO e hidrocarbonetos totais (THC), NO_x e opacidade na chaminé, devem ser monitoradas de forma contínua. Em relação às emissões atmosféricas como material particulado, SO_x, PCOPs, HCl/Cl₂, HF, elementos e substâncias inorgânicas, devem ser monitoradas, de forma não contínua, sendo fixada a periodicidade de análise no licenciamento operacional pela FEPAM.

Os limites máximos de emissão devem ser observados tanto no teste em branco, que é realizado sem a influência do resíduo em análise, para avaliação das condições operacionais da planta de produção de clínquer, como no teste de queima. No entanto, na tabela 4, os limites de emissão para os parâmetros SO_x e NO_x, dioxinas e furanos não estão contemplados, mas são fixados pela FEPAM quando do licenciamento operacional solicitado, assim como os limites de metais agregados ao particulado retido no equipamento de controle de poluentes, bem como no clínquer produzido.

Desta forma, em 2018, a FEPAM/RS, aprovou a Diretriz Técnica N° 01/2018, que estabelece condições e os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos a serem adotados pela FEPAM para fontes fixas e dá outras providências. Essa Diretriz Técnica visa garantir uma padronização das atividades licenciadas e o atendimento da legislação, pois o controle efetivo das emissões atmosféricas visa à preservação da qualidade do ar, minimizando os riscos causados pelos poluentes atmosféricos à saúde pública, como também à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Na Diretriz Técnica N° 01/2018, os limites de emissão para fontes fixas estabelecidos estão regrados por poluente ou por tipologia de fonte potencial de poluição do ar, sendo sugeridas frequências de monitoramento dos poluentes e informações técnicas de amostragem, análise, entre outras, como pode ser observado na tabela 5, que estabelece limites de emissão para coprocessamento em fornos de clínquer e produção de cimento, sendo contemplados limites para os poluentes SO_x e NO_x, dioxinas e furanos.

No entanto, os padrões de emissão desta Diretriz Técnica não se aplicam quando existirem ou forem definidos limites mais restritivos estabelecidos por legislação própria. Além disso, poderão ser estabelecidos, na licença ambiental da atividade, limites de emissão mais restritivos que os definidos como padrões de emissão na Diretriz Técnica n° 01/2018, em função, principalmente, das características locais da área de influência da fonte poluidora, do avanço tecnológico e sempre que se verificar que as emissões de um empreendimento acarretam valores acima dos padrões de qualidade do ar ambiente, podendo ser adotado neste último caso, a alternativa de utilização de combustível com menor potencial poluidor como medida adicional de redução das emissões atmosféricas (FEPAM, 2018).

Segundo a Diretriz Técnica n° 01/2018, para atividades que possam emitir, de forma não intencional, poluentes orgânicos persistentes em especial na queima de resíduos perigosos em fornos de cimento, a FEPAM fará avaliação dos processos buscando que seja utilizada melhor tecnologia disponível visando à redução destes compostos até a sua completa eliminação, podendo estabelecer limites e controles específicos destas emissões. Ressalta

ainda que os fornos de clínquer podem ter monitoramento contínuo por estações automáticas da qualidade do ar na área de influência, sendo dimensionada com base em estudo prévio de dispersão dos poluentes atmosféricos na região e na análise de risco do processo. A escolha de localização de pontos de amostragem deve seguir critérios técnicos que priorizam a saúde das populações e ao meio ambiente no entorno do empreendimento (área de influência). Os impactos deverão ser determinados para a fonte individualmente e no contexto das demais fontes existentes e previstas na área de influência (FEPAM, 2018).

Sequeira (2014), em seu estudo sobre a análise dos impactos ambientais em uma fábrica de cimento na região da Campanha, destaca que os sistemas de controle das emissões gasosas contemplam as três correntes existentes na unidade caracterizadas como: chaminé do forno e da moagem de farinha, chaminé do sistema de resfriamento de clínquer e chaminé do sistema de moagem de coque. A unidade possui um equipamento para monitoramento contínuo de hidrocarbonetos Totais, CO, O₂, NO_x, SO₂ e material particulado. O controle dos poluentes das emissões atmosféricas do forno de clínquerização é feito através de um filtro de mangas, com tecnologia Likstron que utiliza um sistema de limpeza de baixa pressão.

A temperatura dos gases na entrada do filtro considerada crítica é de 230 °C, neste momento uma válvula de ar fresco, posicionada na entrada do filtro de mangas, abre para controle da temperatura, porém, caso não seja suficiente, ocorre o desligamento do exaustor do filtro de mangas, com a temperatura atingindo 245°C, e o forno cessa por intertravamento (SEQUEIRA 2014).

Além disso, o controle das emissões atmosféricas do sistema de resfriamento de clínquer é feito por um sistema de tratamento independente, compreendendo trocadores de calor e filtro de mangas. Para o controle das emissões no sistema de moagem de coque também existe um sistema de controle próprio, através de outro filtro mangas, operando exclusivamente para estas emissões (SEQUEIRA 2014).

Tabela 5 - Limites de emissão para coprocessamento em fornos de clínquer e produção de cimento no RS, segundo Diretriz Técnica nº 01/2018

Processo		Co-processamento		Produção de cimento Portland				
				Fornos clínquer	Resfriadores	Moinhos de cimento	Secadores de escória e areia	Ensacadeiras
MP-total		70 ⁽²⁾		50 ⁽²⁾	50	50	167 ⁽²⁾	50
Inorgânicos ⁽¹⁾	Hg	0,05		NA	NA	NA	NA	NA
	Pb	0,35		NA	NA	NA	NA	NA
	Cd	0,10		NA	NA	NA	NA	NA
	Ti	0,10		NA	NA	NA	NA	NA
	As+Be+Co+Ni+Se+Te	1,4		NA	NA	NA	NA	NA
	As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn	7,0		NA	NA	NA	NA	NA
CO		100 ppmv		NA	NA	NA	NA	NA
NOx (como NO2)		827		827	NA	NA	NA	NA
SOx (como SO2)		1200		NA	NA	NA	NA	NA
HCl		1,8 kg/h (ou 99% de redução)		NA	NA	NA	NA	NA
HF		5,0		NA	NA	NA	NA	NA
Hidrocarboneto total - HCT (como propano)		20 ppmv		NA	NA	NA	NA	NA
Dioxinas e Furanos (como TEQ)		0,5 ng/Nm ³		NA	NA	NA	NA	NA
Monitoramento – Amostragem	Parâmetros	MP-total, NOx, O2, CO e HCT	SOx, PCOPs, Inorgânicos, HCl, HF, dioxinas e furanos	Mp-total e NOx				
	Frequência	Contínuo	Anual	Anual				

Fonte: FEPAM (2018).

(1) Metais e seus compostos; considerar a soma.

(2) Condição referencial de oxigênio de 11 %, base seca.

Notas: I - Valores em mg/Nm³, exceto quando especificada outra unidade.

II - Todos os parâmetros em base seca, na condição referencial de oxigênio de 7 %, exceto quando especificada outra condição.

III - Dioxinas e Furanos: Dibenzo-p-dioxinas e Dibenzo-p-furanos, expressos em TEQ (total de toxicidade equivalente) da 2,3,7,8 TCDD (tetracloro-dibenzo-para-dioxina), considerando a Tabela de Fatores de Equivalência de Toxicidade.

5 METODOLOGIA

Ao considerar o seu desenvolvimento, esta pesquisa adotou uma abordagem mista do problema, quantitativa e qualitativa, ocorrendo em duas etapas. Desta forma, a primeira etapa da pesquisa foi quantitativa, onde foram quantificados os resíduos industriais com características de inflamabilidade coprocessados no estado do RS. A segunda etapa apresentou caráter qualitativo, com a identificação dos ramos industriais do estado com potencial de geração desses resíduos, além da descrição dos resíduos com maior volume coprocessado.

Quanto à natureza, a pesquisa é classificada como aplicada, e onde foi realizada análise de uma alternativa tecnológica visando solucionar o problema da destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos industriais com características de inflamabilidade no Estado do Rio Grande do Sul.

Em relação aos objetivos, trata-se de uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva, pois visou buscar maior conhecimento do tema escolhido, descrevendo o processo de coprocessamento, bem como as dificuldades e potencialidades na aplicação desta técnica na gestão de resíduos.

5.1 COLETA DOS DADOS

Do ponto de vista das técnicas e procedimentos para a coleta de dados foram utilizadas pesquisa bibliográfica e análise documental. Desta forma, para a pesquisa quantitativa, a consulta e coleta dos dados foram realizadas por meio de dados secundários disponibilizados pelo Sistema de Gerenciamento e Controle dos Resíduos Sólidos Industriais (SIGECORS) que representa um conjunto de procedimentos e modelos padronizados aplicados aos empreendimentos licenciados pela FEPAM. Essas planilhas são consideradas uma das formas de controle e monitoramento dos resíduos sólidos gerados pelas empresas licenciadas, contemplando a descrição do resíduo gerado ou armazenado, volume, forma de acondicionamento e destino final. Os dados obtidos foram dos resíduos gerados e destinados ao coprocessamento no período de 2010 a 2017.

Além disso, foram obtidos dados referentes aos volumes enviados para coprocessamento no período de 2013 a 2017, através das unidades de pré-tratamento ou blendagem de resíduos, os quais contemplam os resíduos gerados de indústrias de todos os portes. Devido às referências bibliográficas referentes às unidades de mistura e pré-

acondicionamento de resíduos serem extremamente escassas, foi realizada uma visita técnica a uma unidade de blendagem para maior conhecimento do processo de preparação do blend de resíduos para posterior envio as cimenteiras.

A compilação dos dados recebida da FEPAM utilizou como critério de seleção o código e descrição do destino final dos resíduos, ou seja, T26 e coprocessamento, respectivamente, atendendo o objetivo da pesquisa. O critério utilizado para a coleta contemplou 12.444 dados com as seguintes informações relacionadas aos resíduos, além do destino final: descrição e o código do resíduo conforme SIGECORS; o trimestre e ano de geração; a quantidade gerada e unidade de medida correspondente; município e UF de destino.

A coleta de dados, através da pesquisa bibliográfica foi realizada pelo acesso a livros, artigos científicos, dissertações e teses, seguida de leitura dos materiais, a fim de identificar os ramos industriais representativos no estado com potencial de geração de resíduos com características de inflamabilidade, além dos benefícios da adoção desta tecnologia para o ambiente e sociedade, bem como suas dificuldades e potencialidades.

Para a pesquisa qualitativa, a coleta de dados foi através da pesquisa bibliográfica. Deste modo, a coleta das informações referentes aos aspectos ambientais, sociais e econômicos, comparações com outras tecnologias existentes de destinação final para esses resíduos, além dos desafios e potencialidades foi por meio da consulta e acesso a publicações relacionadas ao tema, como livros, artigos científicos, dissertações e teses, planos, etc.

5.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A análise dos dados recebidos iniciou pelos municípios de destino informados pelos geradores nas planilhas, de forma a identificar e localizar as unidades de blendagem que preparam a mistura dos resíduos para obter maior poder calorífico (*blend*) e das cimenteiras que realizam o coprocessamento, através da incorporação dos blends no processo industrial. Para fins de confirmação, foi realizada uma consulta no PGRS e nas licenças ambientais emitidas pela FEPAM, a fim de identificar em que municípios estão localizados as unidades de blendagem, as unidades de coprocessamento e as centrais de recebimento e armazenamento de resíduos classe I com autorização para posterior envio a empresas receptoras licenciadas.

Após obter as informações, dois grupos foram formados para auxiliar a interpretação, pois foram informados municípios localizados no estado do RS e municípios localizados em

outros estados. Os grupos formados possibilitaram a comparação e análise do volume coprocessado no estado do RS e do volume enviado para coprocessamento em outros estados.

Grupo I - Destinos para coprocessamento: dentro do estado do RS

Grupo II - Destinos para coprocessamento: fora do estado do RS

Para os dados fornecidos pela FEPAM, os resíduos considerados para a análise foram os que apresentam características de inflamabilidade, independente da sua classificação, atendendo os critérios de aceitabilidade para os resíduos passíveis de serem processados nas unidades de beneficiamento/blendagem. Os demais resíduos não foram considerados no diagnóstico.

Para a quantificação, dos dados da FEPAM foram considerados os resíduos expressos em quilogramas e toneladas, visto que as unidades de blendagem recebem os resíduos em toneladas. Desta forma, os resíduos foram agrupados por tipo, por unidade de medida (quilogramas e toneladas), por ano e por grupo, conforme critério supracitado. As unidades de medida informadas em quilogramas (kg) foram convertidas em toneladas (ton). As quantidades de cada resíduo foram somadas, sendo possível identificar quais apresentaram maior quantidade gerada e destinada para a atividade de coprocessamento. Essas informações foram comparadas com dados do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (PGRS) e demais publicações relacionados à geração e gerenciamento de resíduos sólidos industriais do estado, a fim de correlacioná-los aos potenciais geradores, de forma a identificar o setor industrial com maior geração de resíduos passíveis de coprocessamento.

Os dados obtidos nas unidades de blendagem foram informados em toneladas e somente estes foram considerados no período de 2013 a 2017, para fins de análise da evolução de resíduos destinados para coprocessamento, de forma a discutir dados com maior confiabilidade.

O somatório total dos resíduos para cada ano obtidos pela FEPAM e pelas unidades de blendagem resultou na quantidade de resíduos coprocessados no período de 2010 a 2017, estimando a eliminação do passivo ambiental com a inserção da técnica de coprocessamento como alternativa de destinação final ambientalmente correta priorizando a valorização energética dos resíduos, bem como avaliar a eficácia da aplicação da Portaria FEPAM nº 16/2010 e da PNRS, comparando o crescimento da quantidade coprocessada e a inserção de novos resíduos no decorrer do período analisado.

A partir da comparação do percentual de resíduos coprocessados dentro e fora do estado foi possível verificar o potencial crescimento da técnica de coprocessamento no estado,

elencando as dificuldades de gestão desses resíduos pelas empresas geradoras e receptoras desses resíduos.

Em relação aos resíduos destinados ao coprocessamento no período de 2010 a 2017, foram considerados os dados declarados nas planilhas do SIGECORS comparando-os com a descrição dos resíduos recebidos com maior volume por uma das unidades de blendagem localizada no estado.

Através dos dados coletados na pesquisa bibliográfica foram destacados os benefícios nos aspectos ambientais, sociais, ambientais e tecnológicos desta técnica em comparação as demais alternativas de destinação final descritos na Portaria Fepam/RS nº 16/10 e os desafios da PNRS.

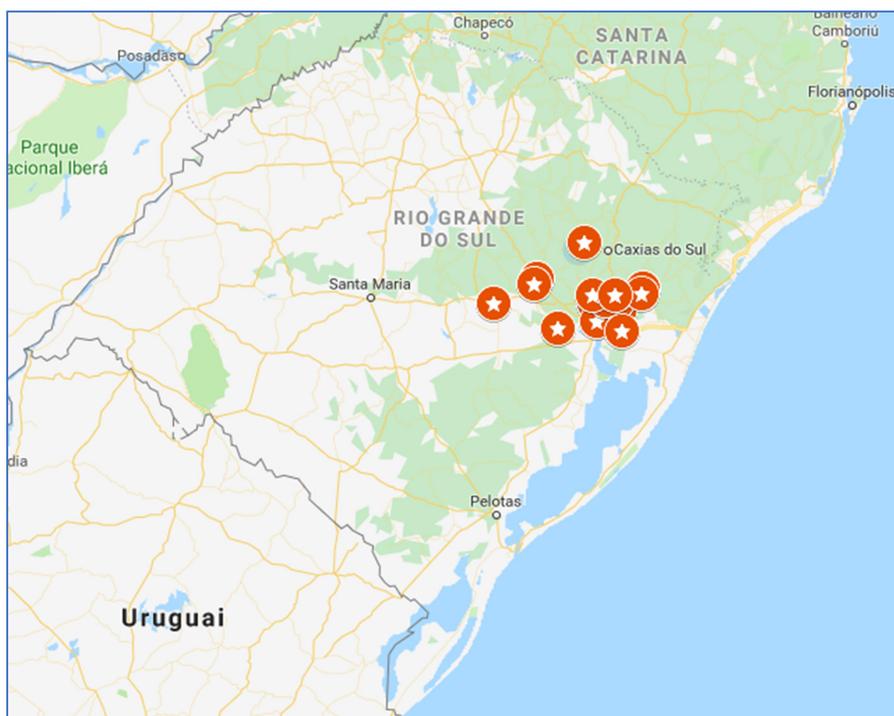
6 RESULTADOS

Nesta seção, são expostos os resultados e análise dos dados obtidos por meio da pesquisa, como identificação das unidades de blendagem e de coprocessamento no estado do RS, quantidade e tipologia de resíduos destinados ao coprocessamento no período analisado, potenciais geradores de resíduos passíveis de coprocessamento e combustíveis e matérias-primas alternativas utilizadas pela cimenteira de Candiota no ano de 2017.

6.1 DESTINOS PARA COPROCESSAMENTO NO ESTADO DO RS (GRUPO I)

Em relação aos municípios declarados como destino final para o coprocessamento, localizados no estado do Rio Grande do Sul foram elencados 74 municípios. Dentre eles, os municípios de Capela de Santana, Novo Hamburgo, Santa Cruz do Sul, Lajeado, Pinto Bandeira, Nova Santa Rita, Três Coroas, Campo Bom, Igrejinha, Triunfo, Estância Velha, Gravataí, São Sebastião do Caí, Cruzeiro do Sul e Dois Irmãos possuem de acordo com a FEPAM, centrais de recebimento e destinação de RSI Classe I. A figura 23 apresenta a localização das centrais de recebimento e destinação de RSI Classe I com licença de operação vigente no Estado.

Figura 23 - Localização das centrais de recebimento e destinação de RSI Classe I no RS



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observa-se que as centrais de recebimento e destinação final de RSI Classe I se concentram majoritariamente nas regiões com maior desenvolvimento industrial no Rio Grande do Sul. Essas centrais possuem autorização para recebimento, armazenamento temporário e destinação de RSI Classe I para empresas devidamente licenciadas.

Outros municípios informados como, Alegrete, Alvorada, Arroio do Meio, Bento Gonçalves, Boa Vista do Sul, Caçapava do Sul, Caxias do Sul, Canoas, Carlos Barbosa, Cachoeirinha, Capivari do Sul, Carazinho, Cazeiros, Cerro Largo, Charqueadas, Erechim, Estação, Estrela, Feliz, Flores da Cunha, Garibaldi, Glorinha, Guaporé, Horizontina, Ipê, Lindolfo Color, Linha Nova, Montenegro, Morro Redondo, Nova Hartz, Paim Filho, Palmeira das Missões, Passo Fundo, Parobé, Pelotas, Porto Alegre, Pouso Novo, Rio Grande, Roca Sales, Santa Maria, Santa Rosa, Santo Angelo, São José da Hotência, São Leopoldo, São Sebastião do Caí, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Sombrio, Taquara, Três de Maio, Tucunduva, Veranópolis, Viamão, Vila Flores, Vila Maria não foram identificadas destinações adequadas para os resíduos passíveis de coprocessamento.

Dentre os municípios de destino informados nas planilhas do SIGECORS, Farroupilha/RS e Nova Santa Rita/RS tiveram grande representatividade devido à localização das unidades de produção de *blend* a serem posteriormente destinadas para destruição térmica em unidades de produção de clínquer devidamente licenciadas.

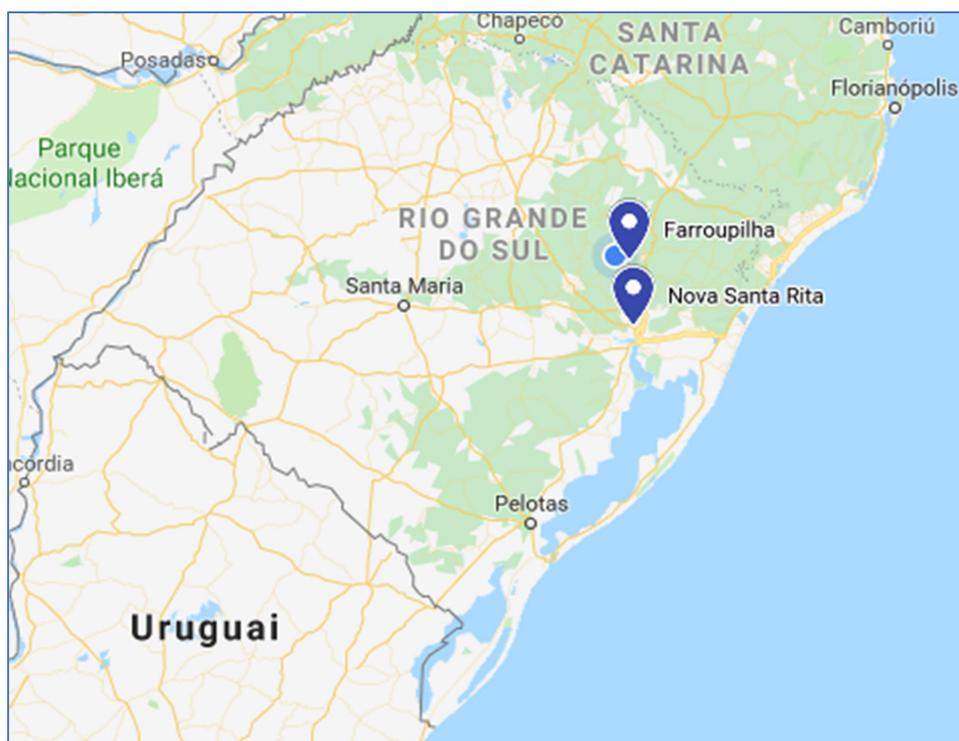
6.1.1 Unidades de Blendagem localizadas no RS

Segundo a FEPAM (2018), existem apenas duas unidades de blendagem no estado do RS. A unidade de blendagem de resíduos industriais classes I e II para fins de coprocessamento localizada em Nova Santa Rita/RS iniciou a atividade em abril de 2013, de acordo com a emissão das respectivas licenças de operação (LO) pela FEPAM. Considerada a pioneira a desenvolver a atividade no estado, teve inicialmente como objetivo oferecer uma alternativa nobre no Rio Grande do Sul para a destinação final dos resíduos sólidos industriais com características de inflamabilidade e disponibilizar ao mercado uma solução para esses tipos de materiais, que estão proibidos de serem destinados para aterros industriais pela Portaria 16/2010 da FEPAM, priorizando a adoção de alternativas mais seguras de destinação final, visando a redução dos riscos de acidentes por substâncias inflamáveis (incêndios) nos aterros industriais.

Hoje, segundo licença de operação, a unidade opera com capacidade de recebimento mensal de 3.000 toneladas de resíduos industriais classes I e II a serem processados para fins de substituição de combustível em fornos de clínquer.

A unidade de blendagem localizada no município de Farroupilha/RS iniciou suas atividades em fevereiro de 2014, com capacidade de recebimento mensal de 5.000 m³ de resíduos sólidos classes I e II, aproximadamente 4.000 toneladas, para preparação do *blend*. A unidade está autorizada a encaminhar o *blend* final para destruição térmica via incorporação ao processo industrial de produção de clínquer em empresas localizadas no estado de Santa Catarina (SC). Em casos específicos, como parada da cimenteira em SC, a unidade possui autorização de envio do *blend* para Minas Gerais e Arujá/SP. A figura 24 apresenta a localização das unidades de blendagem no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 24 - Localização das unidades de blendagem no RS



Fonte: Elaborado pela Autora (2018)

6.1.1.1 Processo de preparação do blend

Conforme visita realizada na unidade localizada em Farroupilha, em 30 de novembro de 2018, o processo inicia com contato comercial com o gerador, visita e coleta de amostras

para a pré-qualificação, onde as propriedades físico-químicas dos resíduos industriais são analisadas a fim de atestar a possibilidade de serem coprocessados. A unidade de blendagem ressalta que para envio de um novo resíduo, não negociado anteriormente, o cliente deverá solicitar um novo processo de pré-qualificação.

Após a aprovação da amostra e posterior cadastro com documentação específica solicitada pela blendeira (LO, declaração de resíduos classe I, ficha cadastral e laudo de caracterização ou parecer técnico para resíduos classe II), são realizados os agendamentos das cargas de resíduos. Desta forma, ao chegar à unidade, cada carga de resíduo recebida passa por uma inspeção que consiste na identificação da origem e do agendamento, verificação do conteúdo, análise visual com base em comparação com amostras enviadas anteriormente, validação das informações prestadas pelo gerador do respectivo resíduo no manifesto de transporte de resíduos e caracterização do resíduo, além da verificação da documentação do veículo (autorização para transporte de resíduos perigosos e nota fiscal). As cargas identificadas com alguma não conformidade são comunicadas e devolvidas ao cliente, ou caso o mesmo desejar, a empresa receptora poderá realizar a segregação dos materiais inelegíveis, mediante taxa de manipulação.

Na sequência, é realizada a pesagem da carga. Antes da descarga, uma amostra de cada tipo de resíduo a ser blendado é colhida e identificada conforme figura 25 e encaminhada ao laboratório próprio da empresa que dispõe de vários equipamentos para avaliar o poder calorífico, teor de cloro, umidade, cinzas e metais, de forma a manter a qualidade do *blend* final. Esse processo de análise demora de 1 a 2 dias.

Figura 25 - Amostras coletadas e enviadas para o laboratório da unidade de Farroupilha



Fonte: Compilado pela Autora (2018).

Os resíduos sólidos passíveis de coprocessamento são encaminhados para descarga e armazenados temporariamente em boxes pré-determinados conforme observado na figura 26, considerando as características de cada resíduo. Os resíduos pastosos, como borra oleosa, borra de tinta, lodos, dentre outros são recebidos acondicionados em tambores e ficam armazenados desta forma até ocorrer a mistura com outros resíduos, conforme figura 27.

Figura 26 - Armazenamento dos resíduos classe I em box pré-estabelecido



Fonte: Compilado pela Autora (2018).

Figura 27 - Armazenamento temporário dos resíduos pastosos



Fonte: Compilado pela Autora (2018)

Na baía de recebimento dos sólidos é realizada a segregação preliminar dos rejeitos metálicos e materiais que possam danificar o triturador. A sucata metálica não contaminada é encaminhada para reciclagem e os resíduos que não atendem aos critérios de aceite são

considerados rejeito, sendo então encaminhados a aterros industriais classe I ou para descontaminação.

Os resíduos armazenados nos boxes que atendem aos padrões de qualidade exigida são transferidos para o box de *pré-blend* conforme figura 28, onde ocorre a mistura de resíduos de vários setores industriais gerando um lote específico de acordo com a qualidade dos resíduos.

Figura 28 - Box de *Pré-blend*



Fonte: Compilado pela Autora (2018).

Em seguida, inicia o processo de blendagem propriamente dito, onde os resíduos do *pré-blend* passam por uma sequência de equipamentos, sendo totalmente descaracterizados gerando uma mistura com tipos específicos de resíduos de alto poder calorífico. Os equipamentos consistem em um pré-triturador com capacidade de 30 t/h, três extratores magnéticos com capacidade de 30 t/h ao longo da linha, uma peneira rotativa e um granulador de 4 eixos com capacidade de 8 t/h.

Primeiramente, o material do *pré-blend* é transportado através de pá carregadeira para o pré-triturador para o início da trituração, de forma a diminuir seu tamanho. Em seguida, os resíduos triturados passam pelo primeiro extrator magnético com o objetivo de remover metais que possam danificar os equipamentos. Posteriormente, o material triturado é conduzido por correias transportadoras até a peneira rotatória, onde ocorre a classificação do material com granulometria de 50 mm, conforme especificação determinada pela cimenteira. Nesta etapa, o material com granulometria menor que 50 mm segue por uma esteira por baixo da peneira rotatória direto para esteira do *blend* final e o material com granulometria maior, passa pelo segundo extrator não ferroso e na sequência para o granulador de 4 eixos onde é

triturado novamente para obter o tamanho desejado. O material que ainda não atingiu granulometria de 50 mm segue pela esteira de rejeito que irá voltar ao pré-*blend* para ser reprocessado novamente até obter a granulometria desejada. Na esteira final, os resíduos passam por mais um extrator magnético, melhorando a qualidade e o desempenho do produto final e está pronto para ser utilizado como combustível alternativo.

Antes da expedição, o material é armazenado no box de *blend* final, onde é coletada uma amostra e encaminhada para análise laboratorial. Atendendo as especificações, o CDR é encaminhado para coprocessamento nas cimenteiras. A figura 29 apresenta as características do *blend* final.

Figura 29 - *Blend* final com granulometria de 50 mm

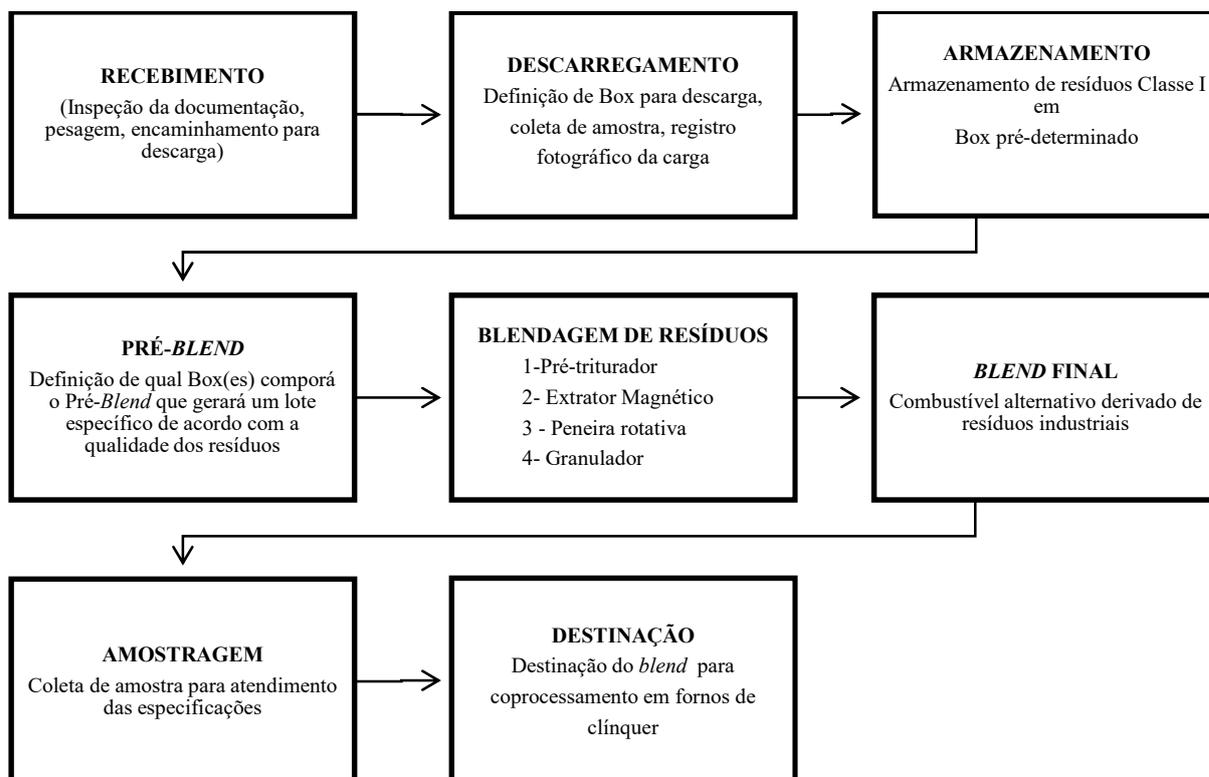


Fonte: Compilado pela Autora (2018)

No final de todo esse processo, o gerador recebe um certificado de blendagem contendo o número do lote ao qual foi destinado para a cimenteira e a cimenteira emite um certificado de destruição térmica para a blendeira informando os lotes recebidos, garantindo a rastreabilidade dos resíduos.

A figura 30 apresenta as etapas do processo de blendagem da unidade visitada no município de Farroupilha/RS.

Figura 30 - Processo de blendagem adotado na unidade de Farroupilha/RS



Fonte: Adaptado Renova (2014).

6.1.2 Unidades de Coprocessamento localizadas no RS

Segundo a Fepam (2018), existem apenas dois fornos de cimento com licença para coprocessar resíduos classe I e II no Rio Grande do Sul. Um dos fornos localiza-se no município de Candiota/RS, e desde 2014 está autorizado a utilizar como combustível alternativo, a quantidade de 18.000 t/ano de resíduos classe II oriundos da indústria calçadista, 50.800 t/ano de resíduos de borracha e pneus e 36.000 t/ano de *blend* de resíduos industriais classe I e como matéria prima alternativa, capacidade para 30.000 t/ano de *blend* contendo mistura de carepa de ferro e escória forno panela oriundas da empresa Siderúrgica Gerdau - unidades de Sapucaia do Sul e Charqueadas e 240.000 t/ano de cinzas de carvão mineral oriundas da empresa Companhia Térmica de Energia Elétrica - CGTEE - unidade do município de Candiota/RS.

Todo *blend* de resíduos industriais classe I coprocessado neste forno é proveniente da unidade de blendagem localizada no município de Nova Santa Rita/RS, conforme contrato de exclusividade oficializado em 2010. O contrato vinha ao encontro dos objetivos da empresa cimenteira localizada em Candiota que já coprocessava resíduos classe II oriundos da

indústria calçadista desde 2010 e resíduos como casca de arroz e pneus, desde 2003, e queria manter seus processos de produção alinhados com a sustentabilidade, priorizando o conceito da economia circular na produção do cimento, onde os resíduos que não podem ser reciclados poderão ser usados para substituir o combustível nos fornos da fábrica (INTERCEMENT, 2017). Hoje, a planta de coprocessamento de Candiota/RS está entre as mais modernas e produtivas da América Latina (PROAMB, 2017).

Outro forno licenciado para coprocessamento está localizado no município de Pinheiro Machado/RS, no entanto, este está autorizado a receber e processar somente matéria-prima alternativa, como carepa de ferro oriunda da empresa GERDAU AÇOS LONGOS S.A., localizada no município de Sapucaia do Sul/RS, em substituição de minério de ferro, numa quantidade mensal máxima de 470 toneladas e percentual máximo de uso na moagem de cru de 0,9% e o recebimento de até 30.000 toneladas/mês de cinzas de carvão mineral da Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica - CGTEE, município de Candiota/RS.

A figura 31 apresenta a localização das unidades de coprocessamento de resíduos Classe I e Classe II no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 31 - Localização das unidades de Coprocessamento e de Blendagem no RS



Fonte:Elaborado pela Autora (2018)

6.2 DESTINOS PARA COPROCESSAMENTO PARA FORA DO RS (GRUPO II)

De acordo com os dados do SIGERCORS, foram declarados 27 municípios localizados em outros estados como destinos para a atividade coprocessamento dos resíduos gerados. Dentre os municípios, Balsa Nova/PR, Cezarina/GO, Rio Branco do Sul/PR, Vidal Ramos/SC, Pedro Leopoldo/MG representados na figura 32, possuem atividade licenciada para fabricação de clínquer/cimento e coprocessamento de resíduos classe I e II.

Figura 32 - Localização das unidades de coprocessamento declaradas nas planilhas do SIGECORS em outros estados



Fonte: Elaborado pela Autora (2018)

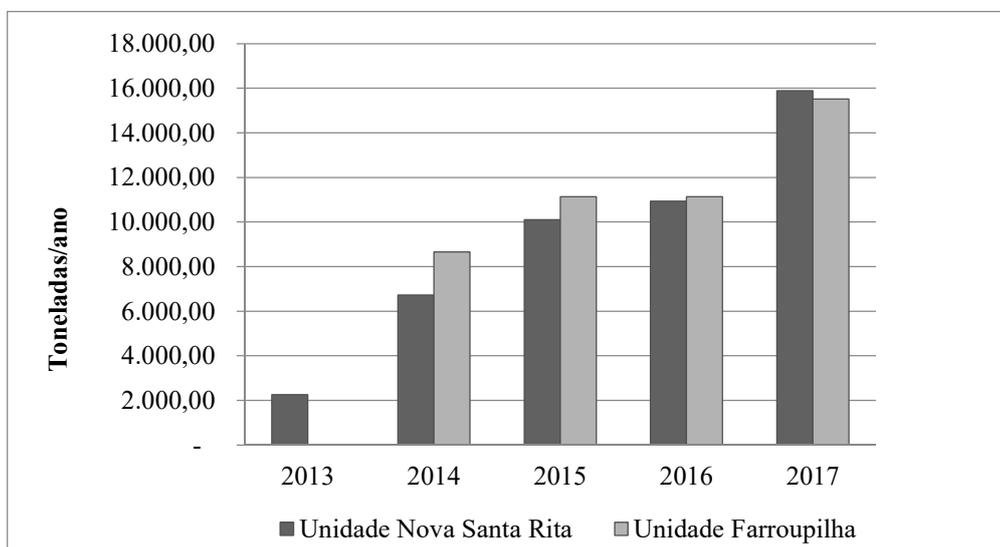
Nos municípios de Arujá/SP, Blumenau/SC, Chapecó/SC, Curitiba/PR, Constantina/SC, Diadema/SP, Guarulhos/SP, Icara/SC, Itajaí/SC, Jovile/SC, Maringá/PR, Morro da Fumaça/SC, Presidente Epitácio/SP, Sangão/SC, Santa Cecília/SC, Santa Rosa do Sul/SC, São Bernardo do Campo/SP, São João do Sul/SC, Sarzedo/MG, Tamarana/PR,

Uberlândia/MG, Valinhos/SP não foram identificadas destinações licenciadas para a atividade de coprocessamento.

6.3 QUANTIDADE DE RESÍDUOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO NO PERÍODO DE 2010 A 2017

A figura 33 apresenta a evolução da quantidade de resíduos enviados para as unidades de preparação do *blend*, desde a implantação das mesmas no estado em 2013 e 2014.

Figura 33 - Evolução de resíduos destinados a atividade de coprocessamento pelas unidades de preparação de *blend* de resíduos industriais, expressos em toneladas

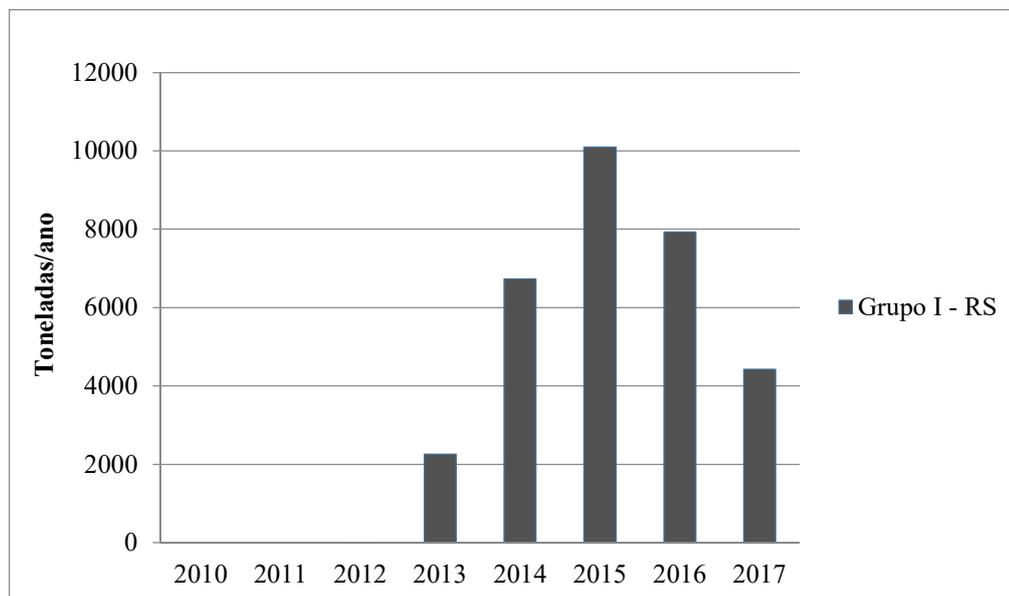


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Com base nos dados informados pelas duas unidades, o volume de resíduos destinados para a atividade de coprocessamento no estado do RS e para outros estados no período de 2013 a 2017, totalizou 92.358,74 toneladas.

Em relação aos resíduos destinados para a atividade de coprocessamento no estado do RS, com base nos dados da FEPAM de 2010 a 2012, constata-se que não houve envio de resíduos para coprocessamento no estado do RS em 2010 e 2011, apresentando uma pequena quantidade destinada em 2012, conforme figura 34. No período de 2013 a 2015, percebe-se uma evolução significativa, sendo seguida de um leve declínio nos anos subsequentes 2016 e 2017.

Figura 34 - Quantidade de resíduos coprocessados em fornos de cimento no RS no período de 2010 a 2017, expressos em toneladas

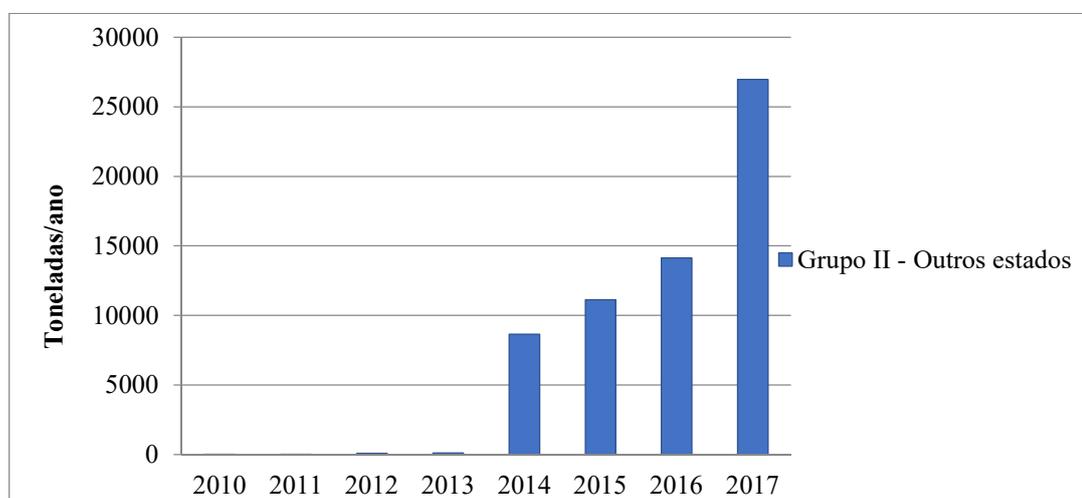


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

O total de resíduos classe I e II com características de inflamabilidade enviados para o coprocessamento em fornos de cimento no estado do RS, no período analisado a partir dos dados da FEPAM e das unidades de blendagem, corresponde a 31.453,88 toneladas.

A figura 35 apresenta a evolução do envio dos resíduos industriais classe I e II com características de inflamabilidade destinados ao coprocessamento para outros estados.

Figura 35 - Quantidade de resíduos destinados ao coprocessamento em fornos de cimento localizados em outros estados no período de 2010 a 2017, expressos em toneladas



Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

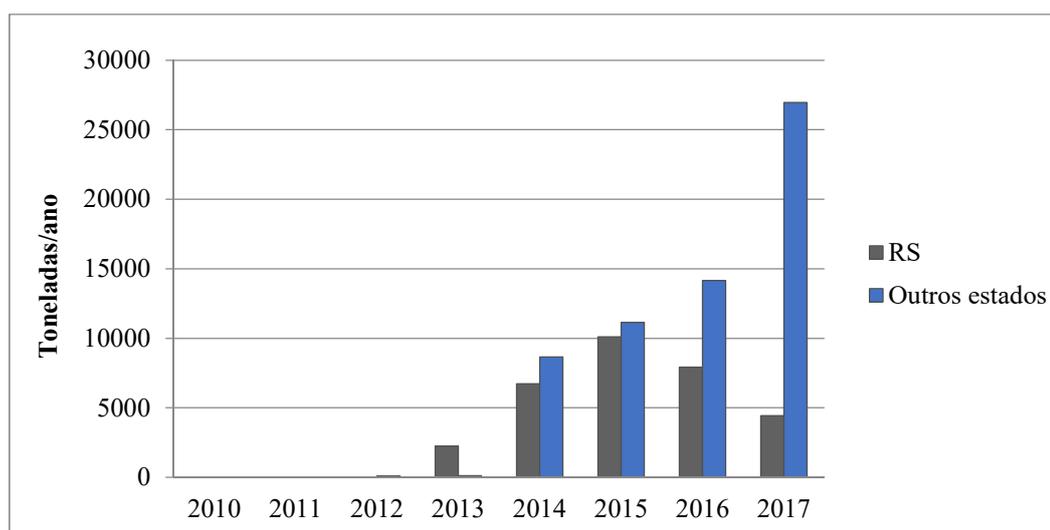
Observa-se que houve aumento na destruição de resíduos em fornos de cimento em outros estados ao longo dos anos com um grande avanço a partir de 2014, com destaque ao ano de 2017 que totalizou 26.971,33 ton. A quantidade total de resíduos destinados ao coprocessamento para outros estados no período analisado foi de 61.157,14 ton.

A partir do somatório das quantidades anuais, com base nos dados da FEPAM e das unidades de blendagem com destino ao coprocessamento no estado do RS e para outros estados, atingiu-se no período de 2010 a 2017, o montante de 92.611,02 toneladas de resíduos industriais destruídos em fornos de clínquer, ou seja, que deixaram de ser dispostos em aterros industriais eliminando o passivo ambiental.

É importante ressaltar que esse volume de resíduos se refere somente ao total utilizado para formação dos *blends*, sendo que as empresas cimenteiras também recebem resíduos sem necessidade de pré-tratamento ou mistura.

Comparando as quantidades totais anuais de resíduos em toneladas destinados ao coprocessamento no estado do RS e destinados para outros estados, observa-se na figura 36, a evolução da quantidade enviada para coprocessamento em fornos localizados em outros estados, a partir de 2014.

Figura 36 - Comparação das quantidades anuais de resíduos destinados ao coprocessamento no RS e para outros estados no período de 2010 a 2017, expressos em toneladas

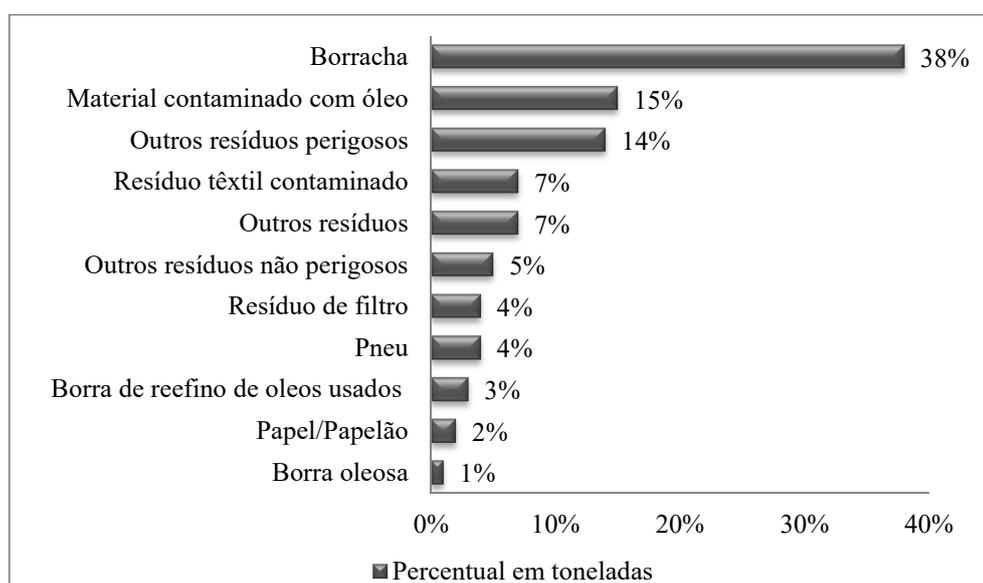


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

6.4 COMPOSIÇÕES (TIPOLOGIA) DOS RESÍDUOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO NO PERÍODO DE 2010 A 2017

A figura 37 apresenta a composição e respectivos percentuais dos resíduos destinados ao coprocessamento no estado do RS, no período de 2010 a 2017, com base nos dados da FEPAM.

Figura 37 - Percentuais de resíduos expressos em toneladas destinados ao coprocessamento no estado do RS no período de 2010 a 2017



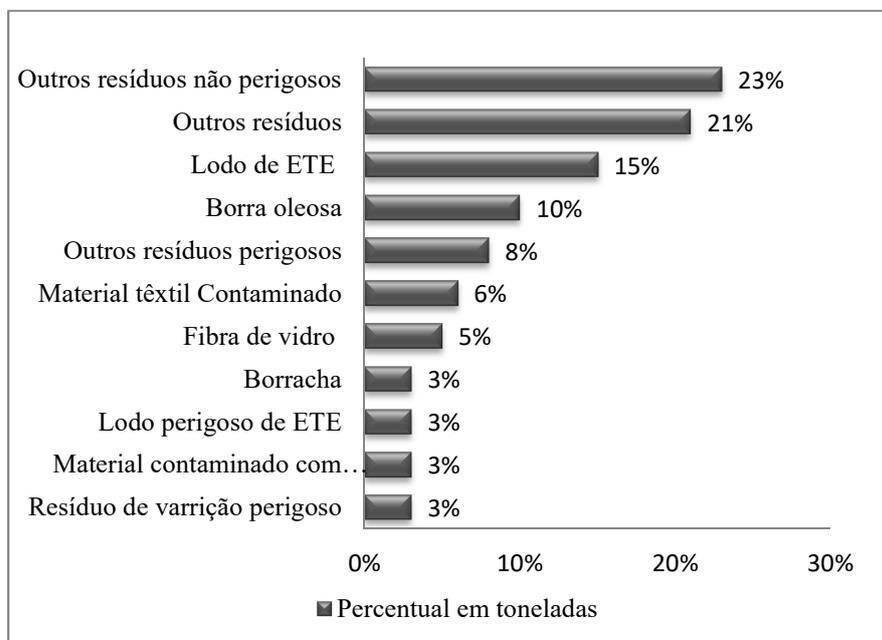
Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Ao analisar a composição e percentuais de resíduos destinados ao coprocessamento no estado do RS, no período de 2010 a 2017, observa-se que os que apresentaram maior quantidade foram: borracha com 38%, material contaminado com óleo com 15%, outros resíduos perigosos, sem especificações com 14%, resíduo têxtil contaminado e outros resíduos com 7%, outros resíduos não perigosos com 5%, pneu e resíduo de filtro com 4%, borra de reefino de óleo usado com 3%, papel e papelão com 2% e borra oleosa com 1%, como pode ser observado na figura 37.

A figura 38 apresenta a tipologia e percentuais dos resíduos destinados ao coprocessamento em outros estados, no período de 2010 a 2017. Constata-se que os resíduos com maior geração é representada por: outros resíduos não perigosos, sem especificações com 23%, outros resíduos com 21%, lodo de ETE com 15%, borra oleosa com 10%, outros resíduos perigosos com 8%, material têxtil contaminado com 6%, fibra de vidro com 5% e

borracha, lodo perigoso de ETE, material contaminado com óleo e resíduos de varrição perigosos com 3% cada.

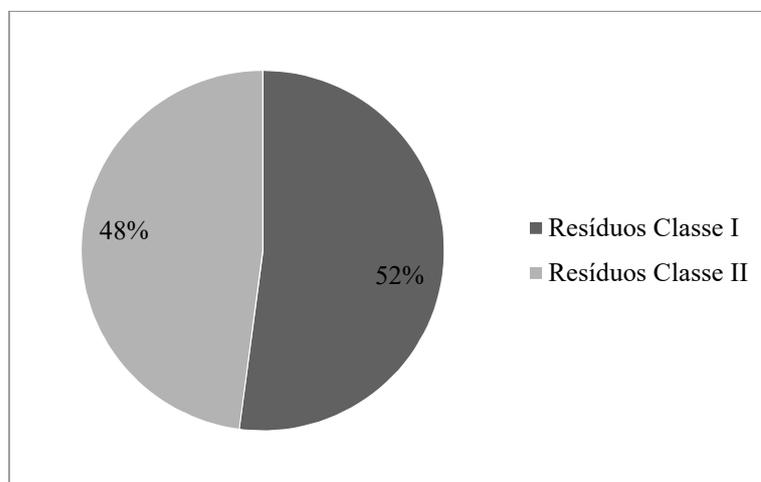
Figura 38 - Percentuais de resíduos expressos em toneladas destinados ao coprocessamento para fora do estado do RS no período de 2010 a 2017



Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Ao analisar a classificação dos resíduos destinados ao coprocessamento com base nos dados da FEPAM, observa-se na figura 39 que os resíduos classificados como classe I correspondem a 52% do total e os resíduos classe II representam 48% do total.

Figura 39 - Percentuais de resíduos Classe I e Classe II destinados ao coprocessamento no período de 2010 a 2017



Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Dentre os resíduo classe I, destaca-se o material contaminado com óleo com 15%, outros resíduos perigosos, sem especificações com 14%, resíduo têxtil contaminado e outros resíduos com 7% e dos resíduos classe II, a borracha e outros resíduos não perigosos, conforme se pode verificar na figura 39.

Além dos resíduos passíveis de coprocessamento, foram declarados nas planilhas do SIGECORS, alguns resíduos que devido às características peculiares não podem ser coprocessadas ou são proibidas por lei. Conforme tabela 6, os resíduos orgânicos de processo representam mais de 80% dos resíduos não passíveis de coprocessamento declarados, seguido de sucatas metálicas e resíduo orgânico vegetal.

Tabela 6 - Resíduos não passíveis de coprocessamento declarados nas planilhas do SIGECORS

Descrição do resíduo	Classe ABNT 1004:2004	Quantidade (ton)
Bateria automotiva	I	41,815
Borra com metais pesados	I	16,169
Carnaça	II	201,78
Discos de corte	II	3,152
Embalagem metálica contaminada	I	17,25
Lampadas fluorescentes	I	0,329
Óleo lubrificante usado	I	3,63
Papel higiênico	II	19,96
Pós metálicos	II	93,46
Resíduo de vidro	II	2,316
Resíduo orgânico animal (penas, sangue, osso, casca de ovos)	II	16,934
Resíduo orgânico vegetal (engaço, casca, etc)	II	331,218
Resíduos orgânicos de processo sem especificações	II	74.144,60
Restos de alimentos	II	7,32
Sucata de metais ferrosos	II	1209,7
Sucata metálica de metais não	II	23,48

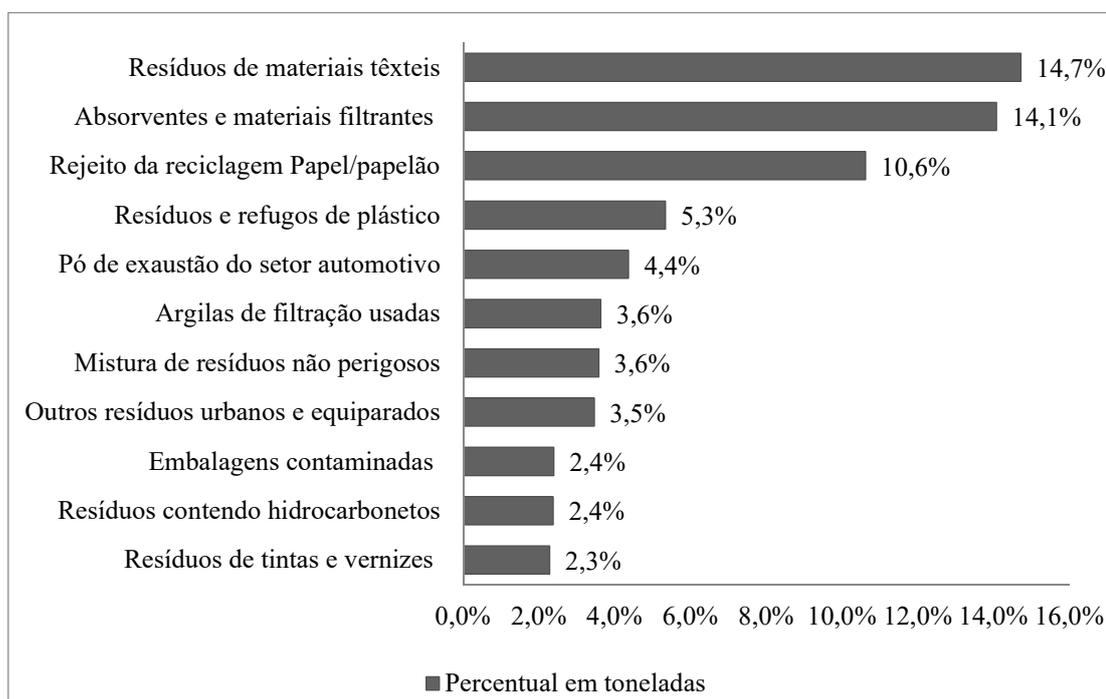
ferrosos		
Total		93050,07

Fonte: Compilado pela Autora (2018).

Ao analisar os municípios informados para a destinação destes resíduos embora não passíveis de coprocessamento, observou-se que alguns deles possuem aterros industriais e ou centrais de recebimento e armazenamento de resíduos classe I e o restante não foi possível identificar a destinação, tendo em vista que o maior volume corresponde a resíduos orgânicos.

A partir dos dados fornecidos por uma das unidades de blendagem, os resíduos com maiores volumes recebidos conforme códigos do IBAMA são representados na figura 40, com destaque para os resíduos têxteis com 14,7%, absorventes e materiais filtrantes (filtro de óleo, panos de limpeza, etc) com 14,1% e rejeito da reciclagem de papel/papelão com 10,6%.

Figura 40 - Percentual dos maiores volumes recebidos em toneladas em uma das unidades de blendagem do RS

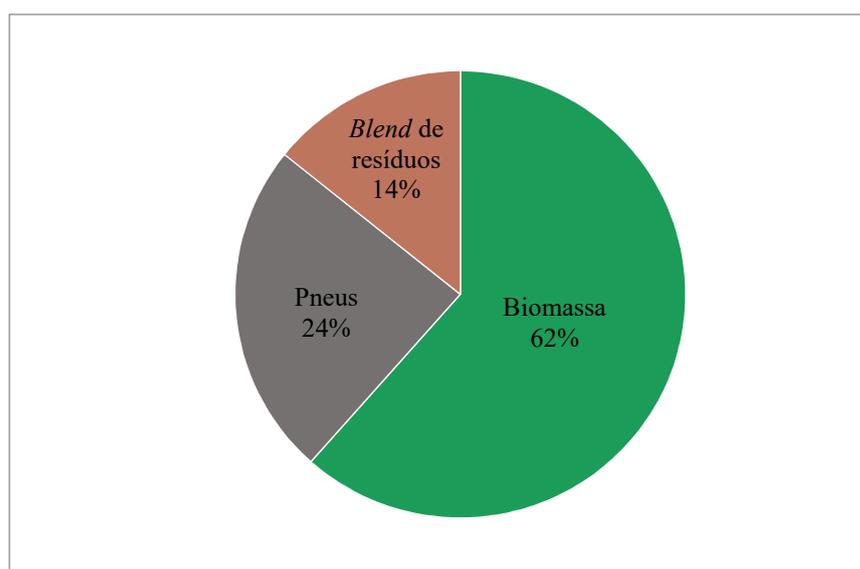


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

6.5 SUBSTITUTOS DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS, MATÉRIAS-PRIMAS E BIOMASSAS COPROCESSADAS NO FORNO DE CLÍNQUER DE CANDIOTA/RS EM 2017

A figura 41 apresenta o percentual dos combustíveis utilizados pela cimenteira localizada em Candiota/RS no ano de 2017. A partir dos dados fornecidos, constata-se que dos substitutos de combustíveis fósseis os resíduos de biomassa representaram 62% (19.081 ton), os pneus inservíveis 24% (7.510 ton) e o *blend* de resíduos 14% (4.417 ton). Segundo a cimenteira, a utilização dos quantitativos desses resíduos substituíram 15.584,45 ton de combustível fóssil.

Figura 41 - Percentual dos combustíveis alternativos utilizados em 2017 na cimenteira de Candiota/RS

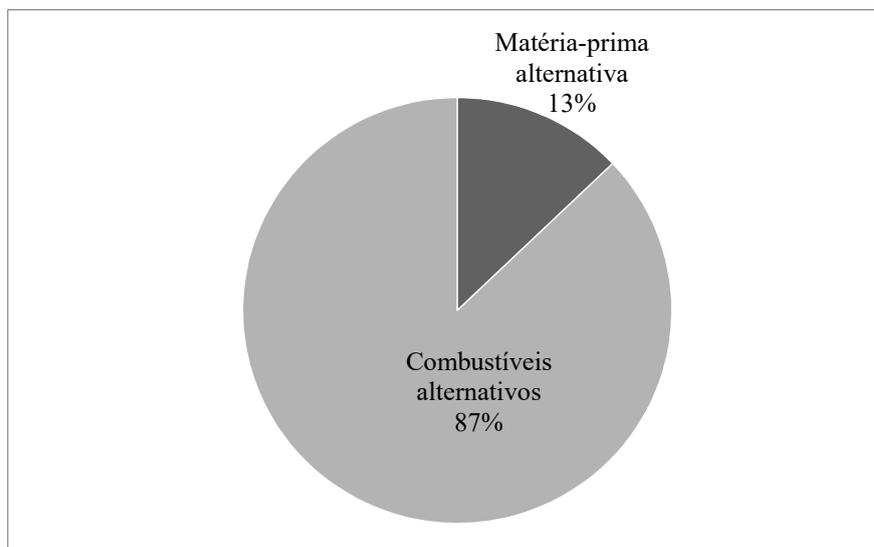


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

O total de combustíveis alternativos utilizados pela cimenteira em 2017 foi de 31.008 toneladas e como matéria-prima alternativa cerca de 4.590 toneladas de carepa de ferro.

A figura 42 apresenta o percentual de combustíveis alternativos utilizados em 2017, representando 87% e o percentual de matérias-primas alternativas correspondendo a 13%.

Figura 42 - Perfil dos combustíveis e matérias-primas alternativas coprocessadas no forno de clínquer em Candiota no ano de 2017

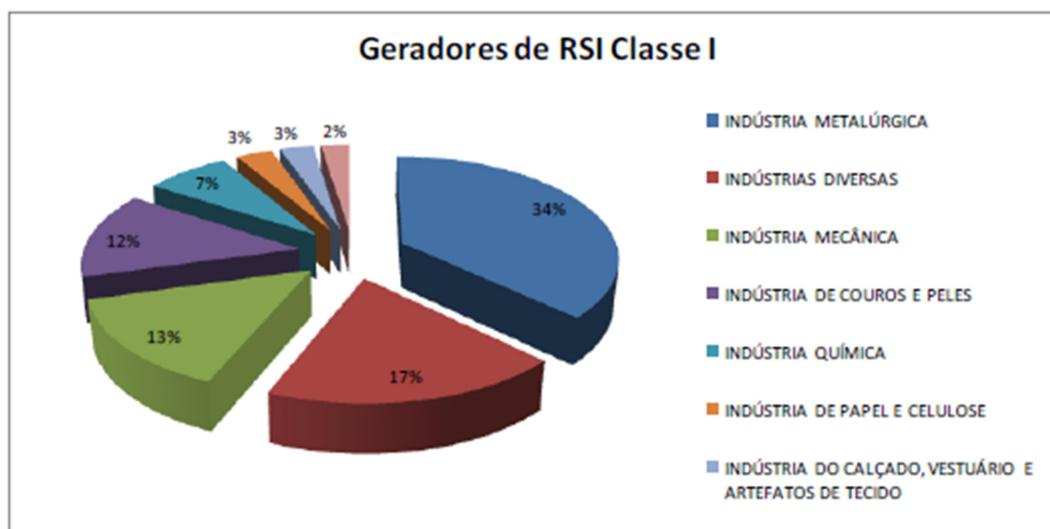


Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

6.6 POTENCIAIS GERADORES DE RESÍDUOS PASSÍVEIS DE COPROCESSAMENTO NO ESTADO DO RS

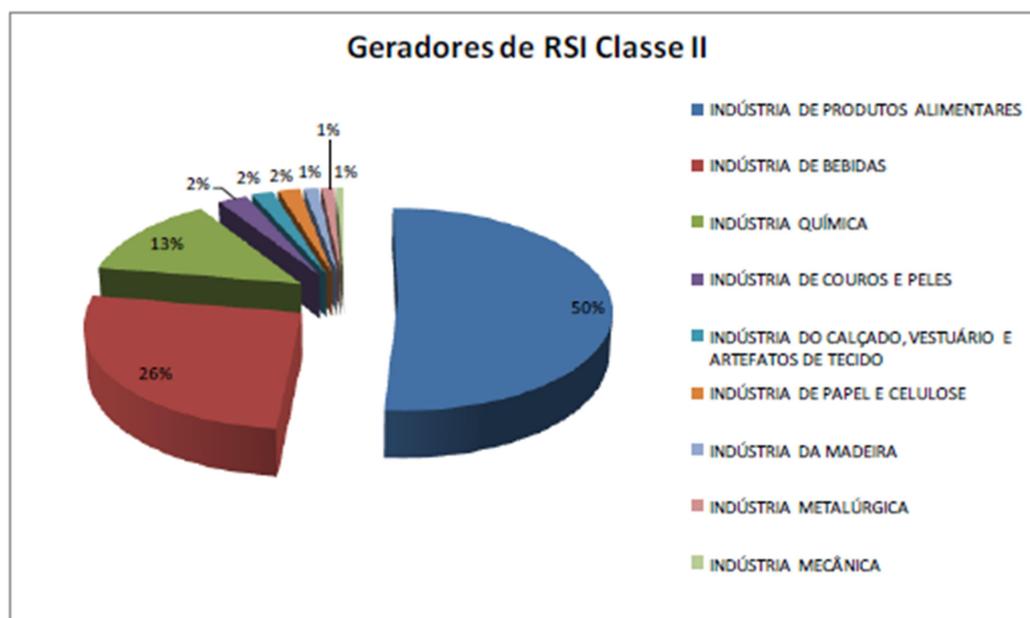
Diante da análise dos dados do PGRS (2014), representados nas figuras 43 e 44, percebe-se que as indústrias dos ramos metalúrgicos, químico, mecânico tem grande destaque na geração de resíduos industriais classe I, e os ramos alimentício, bebidas, metalúrgico e papel e celulose na geração dos resíduos classe II.

Figura 43 - Percentuais das maiores atividades geradoras de RSI Classe I no RS



Fonte: RIO GRANDE DO SUL (2014).

Figura 44 - Percentuais das maiores atividades geradoras de RSI Classe II no RS



Fonte: RIO GRANDE DO SUL (2014).

Dentre os resíduos gerados e destinados ao coprocessamento, com maior representatividade no período analisado, a borra oleosa, borracha, pneus, resíduo de filtros, resíduos têxteis contaminados e material contaminado com óleo são provenientes do ramo mecânico em geral pelas características da atividade. Os demais resíduos como, outros resíduos perigosos, resíduos não perigosos, borra oleosa, resíduos têxteis contaminados, papel e papelão, lodo de ETE, resíduos de varrição perigosos são provenientes da indústria metalúrgica, química, papel e celulose, couros e peles, dentre outras que geram esses resíduos com características aceitáveis para a sua preparação e posterior envio ao coprocessamento.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 MUNICÍPIOS DE DESTINO E LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES DE BLENDAGEM E DE COPROCESSAMENTO

Em relação aos municípios declarados como destino final para o coprocessamento, pode-se verificar que os resíduos foram encaminhados para municípios localizados no estado do Rio Grande do Sul, bem como para fora do estado. No estado do RS, de acordo com a FEPAM (2018), nem todos os municípios informados possuem centrais de recebimento e armazenamento de resíduos classe I com características de inflamabilidade com autorização para envio a empresas receptoras licenciadas e/ ou unidades de pré-tratamento ou mistura, conforme restrição da Portaria Fepam nº 16/2010. Segundo o PGRS (2014), existem no estado 17 centrais de compostagem; 53 unidades de tratamento/reciclagem/processamento, 2 unidades de blendagem para coprocessamento, 9 centrais de recebimento e armazenamento para destinação em outro estado e 42 aterros industriais, distribuídos em vários municípios. Devido à flexibilidade no preenchimento da planilha de resíduos, alguns resíduos, cujo destino declarado foi o coprocessamento, podem ter sido enviados a outras formas de destinação final, visto que somente os descritos no art. 2º da Portaria FEPAM são coibidos de serem dispostos em aterros industriais ou centrais de recebimento.

Nos municípios informados em outros estados, como não há impedimento na disposição de resíduos com características de inflamabilidade em aterros industriais, supõe-se que parte dos resíduos tenha sido destinada a aterros e centrais de recebimento de resíduos classe I.

Em relação à outra parte, supõe-se que tenha sido encaminhada para coprocessamento, pois alguns municípios informados e localizados em outros estados possuem fornos licenciados para a atividade de coprocessamento conforme o Panorama de Coprocessamento no Brasil 2017, como Balsa Nova/PR, Cezarina/GO, Rio Branco do Sul/PR, Vidal Ramos/SC, Pedro Leopoldo/MG (ABCP, 2017). No entanto, antes do envio para coprocessamento os resíduos declarados deveriam ter sido encaminhados para unidades de blendagem, o que não foi informado nas planilhas do SIGECORS.

De acordo com a FEPAM (2018), nos municípios de Farroupilha/RS e de Nova Santa Rita/RS estão localizadas as duas unidades de blendagem para coprocessamento, onde, conjuntamente podem receber até 7 mil toneladas/mês de resíduos classe I e II, conforme capacidade licenciada. A instalação das duas unidades foi impulsionada pela Portaria Fepam

nº 16/2010, que promoveu a busca de alternativas para a destinação final dos resíduos sólidos industriais com características de inflamabilidade pelas centrais de recebimento de resíduos, devido a proibição da disposição em aterros industriais, visando a redução dos riscos de acidentes por substâncias inflamáveis (incêndios) nos mesmos. Esse instrumento incentiva as alternativas de reprocessamento, recuperação, reciclagem, tratamento biológico e incorporação em fornos de cimento dos resíduos contaminados com óleos, solventes, derivados de petróleo e petroquímicos.

Dentre os fatores que justificam a localização das unidades de blendagem e de coprocessamento observa-se a facilidade de obtenção das matérias-primas e de escoamento da produção. A localização de reservas de calcário e argila é o principal determinante da decisão locacional das fábricas integradas de clínquer e cimento. O município de Nova Santa Rita demonstrou ser um ponto estratégico por estar situado nas proximidades de duas das regiões que mais produzem resíduos industriais no estado, a Capital e Serra Gaúcha, e a uma distância conveniente de Candiota, economizando no transporte, pois após o descarregamento de *blend* em Candiota, os veículos voltam carregados com clínquer para serem entregues na usina de beneficiamento da cimenteira, também localizada em Nova Santa Rita.

A unidade de blendagem localizada em Farroupilha/RS, da mesma forma está localizada na Serra Gaúcha estrategicamente, a qual apresenta um importante desenvolvimento industrial, com destaque a proximidade de Caxias do Sul/RS, considerado o segundo polo metalomecânico do Brasil. Segundo o PERS-RS, o setor corresponde a 34,21% de toda a produção/geração de RSI no estado do RS (RIO GRANDE DO SUL, 2014b).

Dos municípios declarados nas planilhas como destino final dos resíduos o coprocessamento e que possuem licença ambiental para a atividade só foi informado o município de Candiota/RS, talvez pelo fato da unidade localizada em Pinheiro Machado/RS só possuir autorização para receber matéria-prima, como carepa de ferro, que também não foi informada nas planilhas.

7.2 QUANTIDADE DE RESÍDUOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO

No período de 2010 a 2017, conforme figura 36, contata-se que houve um aumento de resíduos destinados ao coprocessamento no estado do RS a partir de 2013, e para outros estados, a partir de 2014. No período de 2010 a 2013, a quantidade não foi significativa, pois os dados deste período foram fornecidos pela FEPAM e contemplam somente os grandes geradores, e no período de 2013 a 2017, os dados foram fornecidos pelas unidades de

blendagem abrangendo pequenos, médios e grandes geradores. Além disso, para o cumprimento das restrições da Portaria FEPAM/RS nº 16/2010 foi necessário um período para a adaptação dos empreendedores (geradores e empresas de destinação) já instalados e o surgimento de alternativas economicamente viáveis, como o coprocessamento, para destinação final dos resíduos classe I com características de inflamabilidade. Enquanto isso, devido a falta de alternativas no estado, aumentou o número de solicitações de autorização para remessa de resíduos com características de inflamabilidade para fora do estado, onde não há restrições quanto a disposição em aterros ou centrais de tratamento desses resíduos.

No estado do RS, um dos fatores que contribuíram para a evolução a partir de 2013, foi a instalação e operação da unidade de blendagem localizada no município de Nova Santa Rita, que desde sua implantação em 2013 vem ampliando e modernizando suas instalações alcançando altos níveis de produtividade, tornando-se referência na valorização energética de resíduos sólidos industriais no processo de fabricação de combustível alternativo derivado de resíduo. No entanto, o fator determinante foi a obtenção da licença de operação do forno de clínquer localizado em Candiota/RS em 2014, para a atividade de coprocessamento de *blend* de resíduos industriais, autorizado a receber e coprocessar o *blend* produzido pela unidade de blendagem localizada em Nova Santa Rita/RS, conforme contrato de exclusividade.

A quantidade total de resíduos destinados para coprocessamento em fornos de clínquer localizados em outros estados também apresentou evolução a partir de 2014, devido à implantação da unidade de blendagem no município de Farroupilha, cujo coprocessamento incide no estado de Santa Catarina.

O declínio na quantidade de resíduos enviados ao coprocessamento no estado, observado na figura 36, a partir de 2016 segue o mesmo perfil a nível nacional, justificado pela crise econômica, que a partir de 2015 acarretou redução do consumo de cimento, quedas consecutivas nas vendas, diminuindo a produção de clínquer e consequentemente a demanda por combustível e o coprocessamento de resíduos. Porém, apesar da crise, essa situação não foi observada nas unidades de blendagem, que no mesmo período apresentaram um aumento progressivo na quantidade de resíduos recebidos e *blend* produzido. Desta forma, o declínio na quantidade de resíduos enviados ao coprocessamento no estado, pode ser justificado pela crise econômica instalada no país a partir de 2015 e pela capacidade limitada de recebimento de *blend* de resíduos industriais no forno de clínquer localizado em Candiota/RS, não atendendo a demanda da capacidade produtiva da unidade de blendagem de Nova Santa Rita/RS. Diante da situação, a partir de 2016, a unidade que só destinava o *blend* para coprocessamento no RS, buscou alternativas e passou a destinar a quantidade remanescente

para fornos com maior capacidade produtiva localizados em outros estados, mediante autorização da FEPAM, justificando a redução da quantidade destinada ao coprocessamento no RS a partir de 2015 e o aumento significativo em 2016 e 2017 para outros estados.

Outro fator que interfere no estado de destino para coprocessamento é o custo do serviço de blendagem para posterior coprocessamento, o que pode representar um obstáculo a muitas empresas de pequeno e médio porte (RIO GRANDE DO SUL, 2014b). Durante a execução desta pesquisa foi solicitado orçamento médio cobrado pelas duas empresas que preparam o *blend* de resíduos industriais e posterior destinação para coprocessamento. Os custos variam de R\$ 195 a R\$ 750 expressos por tonelada, dependendo das condições do resíduo e quantidades. Além disso, a empresa geradora do resíduo tem o custo com o transporte dos mesmos até as unidades de blendagem.

Diante do contexto, uma parcela de resíduos com características de inflamabilidade são encaminhados para outras destinações em outros estados, levando em conta apenas os aspectos financeiros e a opção mais fácil de destinação, não priorizando as soluções mais adequadas do ponto de vista socioambiental.

7.3 COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO NO PERÍODO DE 2010 A 2017

De acordo com a figura 37, observa-se que no estado do RS a maior parcela destinada ao coprocessamento, representando 38 % do total, refere-se à borracha, classificada de acordo com a ABNT 1004:2004 como classe II. Assim como o pneu, a borracha possui um alto poder calorífico sendo muito utilizada na indústria cimenteira como substituto de combustível. A borracha pode ser destinada diretamente para as cimenteiras, desde que autorizadas a recebê-la, como a localizada em Candiota/RS ou enviada às unidades de blendagem para serem processadas junto aos demais resíduos.

Enquanto no Brasil, os resíduos mais utilizados como substitutos de combustíveis nos fornos de clínquer são os pneus inservíveis, no RS percebe-se que uma pequena parcela de resíduos pneumáticos foi destinada para a atividade de coprocessamento. No entanto, é sabido que a logística reversa dos pneus inservíveis está consolidada a alguns anos e esse baixo índice declarado nas planilhas pode ser explicado em virtude das empresas geradoras de pneus encaminharem os mesmos para empresas de trituração de pneus inservíveis ou para um dos 101 ecopontos distribuídos pelo estado, e, portanto, não sendo declaradas ao SIGECORS por atenderem ao licenciamento ambiental municipal, como as oficinas mecânicas, por exemplo.

Isso se confirma considerando o percentual de pneus coprocessados em 2017 no RS, que apresentou volume superior ao *blend* de resíduos classe I. O que faz do pneu um dos resíduos mais utilizados no coprocessamento é devido ao poder calorífico inferior corresponder a metade do PCI do coque de petróleo.

Já os resíduos pastosos como borra oleosa, borra de refino de óleos usados, lodos de ETE, segundo as unidades de blendagem, necessitam de avaliação através de laudo de análise e amostra, assim como os demais para a aprovação e aceite. Quando recebidas pelas unidades são armazenados em baía específica para material pastoso, sendo agregada e misturada serragem para a solidificação e aumento do poder calorífico dos mesmos. Em seguida é realizado o peneiramento do material para a retirada de sólidos de maior dimensão, sendo posteriormente incorporado ao *blend* sólido que já se encontra com granulometria desejada. Conforme observado na figura 38, borra oleosa e lodos de ETE foram enviados em maior quantidade para outros estados, buscando outras alternativas de destinação ou pelo menor custo do serviço prestado.

Tendo em vista as características de vários resíduos sólidos industriais declarados nas planilhas do SIGECORS, verifica-se que uma parcela significativa foi encaminhada para unidades de formação de *blends*, o que se confirma também pelos municípios de destino mais declarados como Nova Santa Rita/RS e Farroupilha/RS. Dos resíduos declarados que compõe os *blends*, o maior percentual é de resíduos classe I com características de inflamabilidade, como material contaminado com óleo, resíduo têxtil contaminado, resíduo de filtro de óleo, outros resíduos perigosos, dentre outros, demonstrando a relevância de uma legislação para coibir a disposição de certos resíduos industriais nos aterros, como a Portaria Fepam 016/2010, estimulando a destinação para alternativas ambientalmente sustentáveis, como o aproveitamento energético dos resíduos com características de inflamabilidade, através da mistura dos mesmos e posterior coprocessamento. A eliminação definitiva, técnica e ambientalmente segura desses resíduos considerados perigosos através do coprocessamento, corrobora para a eliminação do passivo ambiental nos aterros industriais, contaminação do solo, água, além de garantir maior segurança técnica dos aterros industriais quanto ao risco de incêndios.

Dentre os resíduos classe II com características de inflamabilidade, destacam-se papel/papelão, borracha, pneu, outros resíduos não perigosos, sem especificações, dentre outros. Respeitando a hierarquia da PNRS, esses resíduos só poderão ser enviados ao coprocessamento quando a reciclagem, reutilização e reproprocessamento não forem possíveis. No entanto, no caso do pneu, o aproveitamento energético através do coprocessamento

demonstra ser a melhor alternativa, contribuindo também para a melhoria da saúde pública, com a destruição definitiva dos pneus velhos hospedeiros dos mosquitos da dengue. Em relação a percentagem representativa do papel/papelão supõe-se que o material esteja contaminado com óleo ou outra substância perigosa, embora não declarado como contaminado, pois a reciclagem seria a opção mais adequada caso não estivesse contaminado.

Também foi observada, a declaração de envio de 93.050 toneladas de resíduos para coprocessamento que são proibidos ou impróprios para a atividade e, portanto não considerados neste estudo, como lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias, sucata metálica, resíduo orgânico de processo, resíduo orgânico animal e vegetal, etc, demonstrando a flexibilidade na forma de lançamento por parte do responsável pelo preenchimento, devido ao sistema não exigir comprovantes de destinação, além da falta de conhecimento sobre a atividade de coprocessamento. No entanto, as unidades de preparação do *blend* confirmam que embora seja realizada uma análise preliminar da amostra do gerador na negociação, ainda são encaminhados para a blendagem resíduos impróprios junto com demais resíduos, sendo necessária a emissão de não conformidade e a devolução da carga. Mas, apesar disso, alguns resíduos como sucatas metálicas que se encontram misturadas aos demais resíduos, acabam sendo processadas causando danos aos equipamentos e custos com manutenção.

Segundo Pereira (2015), resíduos metálicos não podem ser destinados ao processo de valorização energética devido às suas características específicas, como o alto percentual de cinzas e o baixo poder calorífico superior. Ressalta que ao serem recebidos, devem ser separados e enviados a empresas especializadas em sua recuperação/tratamento, já que não são passíveis de queima em forno de cimento e não serão aproveitados como combustível.

A unidade de blendagem visitada envia as sucatas metálicas recebidas para a reciclagem e os tambores metálicos para a descontaminação mediante taxa de manipulação paga pelo gerador. No entanto, isso seria evitado se na empresa geradora existisse o correto gerenciamento dos resíduos e se o responsável pela segregação e acondicionamento recebesse o devido treinamento para maior conhecimento da gestão dos resíduos com destinação correta dos resíduos passíveis de reciclagem, por exemplo.

A gestão e gerenciamento de resíduos sólidos segundo a PNRS baseiam-se numa hierarquia de prioridade que define os seguintes objetivos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A PNRS incorporou os princípios de prevenção, precaução, poluidor-pagador e protetor-recebedor, e enfatiza a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, reconhecendo o resíduo sólido reutilizável e reciclável como bem econômico e de

valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania, num contexto de diversidades locais e regionais (BRASIL, 2010).

Desta forma, a triagem dos resíduos é fundamental e torna mais fácil a reciclagem e a reutilização, respeitando a hierarquia da PNRS. Além disso, um resíduo não perigoso ou contaminado que não recebe a correta segregação e acondicionamento pode transformar-se em resíduo perigoso caso misturado aos perigosos e contaminados, obrigando ao tratamento do conjunto como resíduo perigoso. Do ponto de vista ecológico, é fundamental o estabelecimento de metas de redução dos resíduos nos planos de gerenciamento de resíduos sólidos industriais, abrindo novas perspectivas no processo produtivo, estimulando a inovação e a implementação de novas tecnologias.

Em relação aos resíduos recebidos por umas das unidades de blendagem, observa-se que os resíduos têxteis, absorventes e materiais filtrantes, que incluem filtros de óleo, panos de limpeza e vestuário de proteção e rejeito da reciclagem do papel e papelão aparecem com maior volume. Se comparado aos resíduos das planilhas do SIGECORS, percebe-se que da mesma forma, os mesmos resíduos tiveram uma representatividade maior e que pelas características são resíduos gerados pela indústria mecânica, metalúrgica e de papel e celulose. Importante ressaltar que esses resíduos recebidos nas unidades de blendagem são provenientes de indústrias de todos os portes e nas planilhas do SIGECORS os resíduos informados são gerados por indústrias com grande potencial poluidor e de médio, grande e porte excepcional. Desta forma, os resíduos recebidos pela unidade de blendagem demonstra um resultado mais plausível, por abranger empresas de todos os portes, onde grande parte é licenciada pelo órgão ambiental competente municipal.

De acordo com os resíduos coprocessados em 2017, pela cimenteira localizada em Candiota/RS, a biomassa destaca-se na substituição de combustíveis fósseis, seguida dos pneus inservíveis e do *blend* de resíduos industriais. Embora seja um resíduo proveniente da atividade agrícola é importante destacar sua contribuição como fonte alternativa de energia em outros processos produtivos, como o coprocessamento. Esse alto percentual se justifica pelo fato de a cimenteira estar localizada em uma região com maior densidade de beneficiadores de arroz, aumentando a oferta de casca, e economizando no frete. O resíduo é abundante nas regiões Central e Sul do Rio Grande do Sul e se origina do processo de secagem e embalagem de arroz, colhido em fazendas e processado pela agroindústria da região. A casca de arroz possui bom poder calorífico inferior (PCI), de cerca de 2700 kcal/kg, e alto teor de sílica, o que a torna duplamente desejável para o coprocessamento em processo de clinquerização. O alto PCI contribui diretamente para a temperatura interna do forno. A

sílica faz com que seja alcançado um alto nível de alcalinidade no forno, propiciando a utilização de coques de petróleo com percentuais de enxofre mais altos, como nos produtos importados, sem deterioração significativa na qualidade das emissões. O uso da casca de arroz também ajuda na moagem final de cimento, pois as cinzas da queima incorporam-se ao clínquer e contribuem para a resistência de longo prazo do cimento e de produtos derivados (SELLITO et al, 2013).

Além disso, os resíduos de casca de arroz e pneus são utilizados na cimenteira desde 2003, ou seja, a logística desses resíduos com destino ao coprocessamento está consolidada há mais tempo se comparado aos resíduos classe I e II, tendo a vantagem de não necessitarem de beneficiamento e mistura preliminar, por apresentarem alto poder calorífico. Em relação ao *blend* de resíduos industriais, ele aparece com porcentagem menor de coprocessamento no estado, em 2017, devido ao forno não atender a demanda da capacidade produtiva da blendeira que fornece o mesmo, sendo destinado a fornos localizados em outros estados, conforme pode ser observado na figura 38.

Em relação às matérias-primas alternativas, observa-se que em 2017, a cimenteira analisada, utilizou somente a carepa de ferro oriunda da indústria siderúrgica, demandando mais estudos sobre a possibilidade de utilização de outros resíduos, como solo contaminado, dentre outros.

7.4 POTENCIAIS GERADORES DOS RESÍDUOS PASSÍVEIS DE COPROCESSAMENTO

Para identificar os potenciais geradores de resíduos com características de inflamabilidade no estado do Rio Grande do Sul é necessário conhecer um pouco da economia do estado, bem como os setores industriais que se destacam no porte e geração dos resíduos. A economia do Rio Grande do Sul é diversificada e as atividades industriais geram diferentes tipos de resíduos, com características das mais diversas. São originados das atividades dos diferentes ramos industriais, tais como metalúrgico, químico, petroquímico, celulose e papel, alimentício, mineração, etc (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

As informações mais recentes sobre os RSI gerados, sua composição e destinação final encontram-se disponíveis no Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS-RS) do Rio Grande do Sul. A base dos dados do PERS – RS refere-se aos anos de 2012 e 2013 por meio de consulta ao SIGECORS-FEPAM e dados do Cadastro Técnico Federal (CTF) – IBAMA (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

A estimativa da geração com base nos dados do SIGECORS RSI em 2014 para o Rio Grande do Sul apontou como maiores geradores a indústria alimentícia com 30%; a metalúrgica, com 19%; seguido pela química, com 17%; e a mecânica, com 9% (RIO GRANDE DO SUL, 2014). A composição de RSI Classe I apresentou como maior representatividade: 16% de borra do re-refino de óleos usados (borra ácida), 12% de lodo perigoso de ETE, 9% de Lodo de ETE com cromo. Outros resíduos perigosos de processo têm representatividade de 7% na composição. Os resíduos Classe II são compostos principalmente por 15% de cinzas de caldeira, 13% de sucatas de metais ferrosos, 10% de resíduo vegetal e 8% de resíduo sólido de ETE com material biológico não tóxico.

Para os resíduos Classe I, 34% dos RSI foram gerados por indústrias do ramo metalúrgico, seguido de 13% do ramo mecânico, 12% do ramo de couros e peles e 7% do ramo químico. Na geração de RSI Classe II destaca-se o ramo alimentício com 50%, seguido da indústria bebidas 26%, e do ramo químico com 13% (RIO GRANDE DO SUL, 2014b).

A estimativa de geração com base nos dados do CTF apontou como maiores geradores no Estado, a indústria metalúrgica (39,9%), a de papel e celulose (23,6 %) e a do transporte (8,9%). Para os resíduos Classe I, 57,2% dos RSI foram gerados por indústrias do ramo metalúrgico, seguido de 26,6% do ramo químico, 4,3% do ramo de transportes e 4,2% do ramo mecânico. Na distribuição da geração de RSI Classe II destaca-se o ramo metalúrgico, 37,9%, seguido da indústria de papel e celulose, 26,3%, e do ramo dos transportes, 9,5% (RIO GRANDE DO SUL, 2014b).

De acordo com a análise dos dados do CTF, as maiores quantidades de RSI no Estado são: resíduos de escórias e outros resíduos metálicos (53%), resíduos de madeira (15%), outros resíduos não perigosos (9%), lodo tratamento de efluentes (8%) e óleos, borras e emulsões (6%).

Os resíduos Classe II são predominantemente escórias e outros resíduos metálicos (59,1%), resíduos de madeira (17,0%), outros resíduos sem especificação (9,00%) e lodo tratamento de efluentes (8,10%). A maior geração de RSI Classe I é de óleos, borras e emulsões (59,2%), seguidos de poeiras e varrição (11,4%), outros resíduos perigosos, sem especificação (9,8%) e escórias e outros resíduos metálicos contaminados (5,7%) (RIO GRANDE DO SUL, 2014b).

Diante do contexto, pode-se considerar que dos potenciais geradores de resíduos industriais com características de inflamabilidade no estado as indústrias do ramo metalúrgico, mecânico, químico, de couros e peles e papel e celulose se destacam com maior volume gerado. De acordo com PERS-RS (RIO GRANDE DO SUL, 2014b), o setor

metalmeccânico corresponde a 34,21% de toda a produção/geração de RSI no estado do RS e envolve diversos setores de atividades como, metalurgia; produtos de metal; equipamentos de informática e eletrônicos; materiais elétricos; máquinas e equipamentos; veículos automotores; outros equipamentos de transporte, e manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos. Em relação aos resíduos com maiores volumes recebidos pela unidade de blendagem, observa-se que os resíduos são gerados em sua grande maioria pelas indústrias, mecânica, metalúrgica e papel e celulose.

Segundo Cavalli (2015), os resíduos gerados pelas indústrias, mecânica e metalomecânica que possuem características de inflamabilidade, devido à presença de contaminantes como óleos, graxas, tintas e solventes, deixaram de ser enviados a disposição final no período avaliado de 2010 a 2014, por motivações legais, neste caso a Portaria nº 16/2010 da FEPAM/RS, mas também verificou a preocupação das empresas na não geração de passivo ambiental, utilizando a técnica do coprocessamento como forma de eliminação e solução para o fim de sua responsabilidade.

7.5 GERENCIAMENTO DAS UNIDADES DE BLENDAGEM

Devido à heterogeneidade de resíduos, as unidades de blendagem tem por objetivo a sua descaracterização transformando-os em uma mistura homogênea com características que respeitem as especificações físicas e químicas tornando-os fonte de combustível segura para fornos das cimenteiras. Além disso, permitem o manuseio dos resíduos blendados no processo industrial do cimento, com condições de segurança para os trabalhadores e ao meio ambiente, pois sem essa análise preliminar e a preparação dos resíduos, surgiriam grandes instabilidades no processo produtivo, principalmente nas emissões atmosféricas.

Segundo a FEPAM (2017), os critérios de aceitabilidade para os resíduos passíveis de serem processados nas unidades de blendagem deverão atender aos seguintes parâmetros: poder calorífico inferior mínimo de 1.620 kcal/kg, teor de mercúrio inferior a 10 mg/Kg, teor do somatório de cádmio e tálio inferior a 100 mg/kg, teor de chumbo inferior a 2.000 mg/Kg, cromo inferior a 3.000 mg/Kg, somatório dos metais arsênio, cobalto, níquel e telúrio inferior a 3.000 mg/Kg.

Já os critérios mínimos de uso para o *blend* final processado nas unidades, a ser enviado para coprocessamento em fornos de clínquer no estado do Rio Grande do Sul, deverão atender ao poder calorífico inferior mínimo de 2.700 kcal/kg, teor de cloretos inferior a 0,5% em massa e teor do somatório de flúor, bromo e iodo inferior a 1% (FEPAM, 2017).

Desta forma, nem todo o resíduo é passível de coprocessamento, limitando certos tipos de resíduos para a atividade, dificultando o aumento da produção de combustível alternativo e a inserção de novos resíduos, visto que a mistura dos mesmos devem atender aos critérios de qualidade exigidos pelas cimenteiras.

Esses critérios são necessários e deverão ser atendidos, para não interferir na qualidade final do cimento, na emissão de poluentes atmosféricos e problemas nos equipamentos. Isso demonstra a relevância das análises preliminares dos resíduos para a aceitabilidade dos mesmos nas unidades de blendagem, assim como da análise do *blend* final, antes da expedição para as cimenteiras. No caso de resíduos com alto teor de cloro, a unidade de blendagem deve analisar minuciosamente o uso de resíduos de plástico contendo PVC, pois o cloro pode causar problemas na fabricação do clínquer, nos equipamentos e emissão de poluentes indesejáveis, como as dioxinas e furanos.

Em relação ao poder calorífico dos resíduos, o *blend* final deverá possuir poder calorífico constante, de modo a permitir que as condições de queima sejam estáveis, garantindo um funcionamento controlado do forno, o que justifica a mistura de diversos resíduos com características distintas, antes de sua utilização no forno de produção de clínquer. Desta forma, a seleção e controle dos combustíveis alternativos, garantem a eliminação da parte orgânica dos resíduos pela queima a altas temperaturas.

Durante a visita a uma das unidades de blendagem, observou-se que a atividade deve ser realizada com rígidos controles ambientais, pois tem o potencial de geração de impactos ambientais relacionados ao manuseio, armazenamento, preparação, mistura e o transporte de grandes quantidades de resíduos perigosos e de *blends*, a emissão de material particulado e principalmente de substâncias voláteis e risco de descarte de resíduos impróprios para o coprocessamento. Na preparação dos *blends*, somam-se ainda os riscos de exposição aos materiais perigosos, os riscos de acidentes devido ao derramamento de material, incêndios e explosões (MALARD, 2016).

Além disso, devido às múltiplas possibilidades de combinações ou misturas de diversos resíduos, a composição das emissões de contaminantes e poeiras para a atmosfera pode ser bem diversificada, podendo comprometer também a qualidade final do cimento. Desta forma, as unidades de blendagem devem ter um rígido controle em todas as etapas de preparação do *blend* ou combustível derivado de resíduos, sistema de filtros para a retenção do material particulado e a devida rastreabilidade do resíduo.

Na unidade de blendagem visitada, constatou-se que todo procedimento é minuciosamente acompanhado por análises laboratoriais, iniciando pelas amostras iniciais na

negociação com o cliente, no recebimento das cargas recebidas que são devidamente amostradas e analisadas em laboratório próprio antes de serem processadas e somente após essa avaliação, o processo é iniciado, levando em consideração as características de cada resíduo de modo a obter o *blend* de melhor qualidade para o uso nas fábricas de cimento. E por fim, antes da expedição, o *blend* final é analisado para assegurar o atendimento das exigências da cimenteira de modo a não comprometer o processo produtivo, emissões atmosféricas insatisfatórias e qualidade final do cimento. Na manipulação dos resíduos no processo de preparação do *blend*, foi observado o uso de EPIs por parte dos colaboradores e para retenção do material particulado oriundo dos equipamentos de trituração, a empresa possui sistema de filtros de mangas. O processo demonstrou ser altamente qualificado e rastreado, proporcionando segurança aos geradores, colaboradores e as cimenteiras.

Malard (2016) ressalta que a atividade de coprocessamento, aliada a produção de *blends*, operando com a observância de critérios técnicos e ambientais, com normas rígidas de segurança, tem grande potencial para minimizar os problemas ambientais associados principalmente à destinação final de resíduos sólidos industriais perigosos, resíduos não perigosos e a parcela de combustível dos resíduos sólidos urbanos, além de reduzir os custos de produção e as emissões de CO₂ geradas pelo setor.

Desta forma, uma correta operação na formação dos *blends* é essencial para obtenção de um melhor equilíbrio da eficiência energética no forno de clínquer, assim como para atendimento aos padrões de entrada de substâncias no forno e aos limites de emissões atmosféricas, preconizados na legislação.

Nesta pesquisa, observou-se a preocupação da unidade de blendagem localizada em Nova Santa Rita/RS em relação a qualidade do *blend* produzido, buscando ampliar e modernizar suas instalações para a obtenção de um *blend* com alto rendimento, tornando-se referência na valorização energética de resíduos industriais no estado. Após a publicação da Portaria FEPAM 016/2010, as empresas geradoras dos resíduos Classe I com características de inflamabilidade se deparam com um grande problema e a solução no momento foi o envio dos mesmos para tratamento fora do estado, o que gerou um custo inesperado para a indústria, dificultando a gestão adequada desses resíduos. A empresa pioneira na prestação do serviço teve a visão de uma oportunidade de negócio e valorização dos resíduos na época e foi em busca da solução, tornando-se a planta modelo e pioneira no estado.

Essa visão inovadora fomentou a economia circular no estado, permitindo que os resíduos industriais que antes não possuíam valor e eram dispostos em aterros industriais causando acidentes e passivos ambientais passem a ser utilizados como matéria-prima e fonte

de energia pela indústria cimenteira. No Brasil, perde-se muito valor no descarte inadequado de resíduos, que pode ser associado à falta de percepção de valor dos recursos, levando o mercado a não valorizar esses materiais.

7.6 VANTAGENS DO COPROCESSAMENTO NOS ASPECTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos prevê instrumentos importantes para o avanço do país no que se refere à solução dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos, que surgem em consequência da utilização inadequada dos resíduos sólidos. O Art. 6º da PNRS estabelece como princípio a prevenção e a redução da geração de resíduos por meio da prática de consumo sustentável e do consequente aumento da reciclagem e reutilização de resíduos, além da destinação correta dos rejeitos que não puderam ser reaproveitados (BRASIL, 2010).

Desta forma, a PNRS trouxe a necessidade de implementação de novas tecnologias, menos agressivas ao meio ambiente, para tratar adequadamente os resíduos e a escolha da melhor tecnologia disponível deve levar em consideração a caracterização dos resíduos, a definição da forma de segregação, coleta e transporte dos resíduos, conforme legislações e normas vigentes e a determinação das fontes de energia para operação do sistema.

Comparando as alternativas de destinação descritas no art. 5º da Portaria FEPAM nº 016/2010, e respeitada a hierarquia da PNRS, o coprocessamento em fornos das cimenteiras apresenta ser a alternativa mais vantajosa, devido as altas temperaturas do forno, quer no gás (2000 °C, máximo), quer na massa sólida/fundida (1450 °C), ao elevado tempo de residência (cerca de 5 segundos acima dos 1200 °C), a uma taxa de oxigênio que assegura uma combustão completa e à turbulência existente no forno conducente a uma boa mistura com o oxigênio e com a massa de matérias-primas inseridas no forno, assegurarem a destruição total dos resíduos.

Se comparada a incineração, a queima de resíduos em cimenteiras leva a uma recuperação de energia superior à das alcançadas em incineradoras, além de não produzir cinzas, ao contrário da incineração que produz uma quantidade elevada de escórias tóxicas que têm de ser inertizadas e depositadas em aterros industriais. Enquanto o coprocessamento implica no aproveitamento energético ou como matéria-prima do resíduo, em substituição aos componentes convencionais, a incineração é essencialmente uma tecnologia de tratamento de resíduos onde se reduz o volume dos resíduos pela queima, de forma a reduzir o impacto

potencial negativo do material descartado e em alguns casos recuperar parte da energia gerada. Outra vantagem da técnica de coprocessamento em relação a incineração é o baixo investimento de instalação, uma vez que os fornos de clínquer estão disponíveis, sendo necessário apenas alterações que dizem respeito aos controles de alimentação dos combustíveis e controle ambientais mais rígidos (monitoramentos, intertravamento, registros, etc.) instalados no forno para viabilizar o coprocessamento de grandes volumes de resíduos, melhorando a competitividade do setor cimenteiro, sem abrir mão do controle ambiental.

O coprocessamento está contemplado na PNRS como alternativa ambientalmente adequada de gestão de resíduos, com aproveitamento energético dos mesmos. Como visto, a proibição de disposição de resíduos sólidos em aterros em alguns países europeus contribuiu muito para o avanço do coprocessamento, porém, no Brasil, apesar de não haver a proibição expressa, a PNRS corrobora para o aumento da utilização da prática no país, que segundo a ABCP (2017) demonstrou evolução ao longo dos anos. No RS, a Portaria FEPAM nº 16/2010, foi fundamental para a aplicação e crescimento da técnica de coprocessamento como destinação final ambientalmente adequada para resíduos com características de inflamabilidade proibidos de serem dispostos em aterros industriais.

Segundo Malard (2016), o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer não traz à sociedade uma solução definitiva para a gestão dos resíduos, mas se respeitada a hierarquia estabelecida na Política Nacional de Resíduos Sólidos, configura excelente alternativa para o aproveitamento de resíduos, pela sua valorização como combustível alternativo ou como substituto de matéria-prima, atenuando o esgotamento dos recursos não renováveis.

O coprocessamento permite o aproveitamento da energia contida em diversos resíduos, como pneus, biomassas e resíduos industriais, representando importante papel na gestão ambiental, principalmente dos resíduos que não podem ser reciclados ou reutilizados, tornando-se uma alternativa bastante competitiva se comparada aos aterros e incineração, pois proporciona a destruição de grandes volumes de resíduos sem geração de novos passivos ambientais, com a incorporação das cinzas ao clínquer, evita a disposição em aterros, atenuando os impactos causados como a contaminação das águas subterrâneas e geração de metano, além de cessar a necessidade de monitorar o resíduo eternamente e contribui para a redução dos gases de efeito estufa. No entanto, o custo total do processo deve ser inferior ao custo de destinação em aterros, para assim ser mais competitiva e viável economicamente, mas com base na análise dos custos repassados pelas blendeiras, supõe-se que seja um empecilho a muitos geradores, principalmente para os de pequeno porte.

Já para a indústria cimenteira, o aproveitamento energético representa significativa redução nos custos de produção do cimento, melhorando a competitividade econômica. Segundo CNI (2017), os avanços tecnológicos da produção de cimento e a substituição de combustíveis fósseis e matérias-primas naturais por materiais alternativos, no setor, sempre foram impulsionados pela busca da redução do consumo de energia térmica e elétrica, e pela racionalização do uso de recursos naturais não renováveis, o que fez com que a indústria cimenteira ganhasse um novo e relevante papel no âmbito da promoção da sustentabilidade e do equilíbrio ambiental, contribuindo com a economia circular.

No modelo circular, os resíduos gerados em processos são transformados em potenciais subprodutos ou outros materiais, promovendo a reciclagem, reutilização e recuperação, como ocorre no coprocessamento. Essa transição para uma economia circular proporciona às empresas ganhos de competitividade pela economia no consumo de energia e ganhos ambientais pela redução nas emissões de CO₂ (CNI, 2017).

A substituição das matérias-primas convencionais por carepa de ferro, como ocorre no RS, possui vários impactos ambientais positivos como o aumento da vida útil das jazidas de argila e calcário e para as cimenteiras, o uso da matéria-prima secundária diminui o custo da produção, sendo assim vantajoso ambiental e economicamente.

O coprocessamento contribui também para a melhoria da saúde pública por retirar do ambiente os pneus descartados, eliminando focos da dengue e poluição ambiental. Em relação aos aspectos sociais, a implantação das unidades de blendagem, somada aos investimentos das cimenteiras no RS, possibilitaram a formação de toda uma cadeia produtiva nas áreas de abrangência das empresas, o que significa geração de empregos, renda e impostos aos municípios envolvidos, caracterizando-se como um nicho de mercado em formação com vários segmentos.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, de 2010 a 2017, o estado do RS obteve a eliminação de um passivo ambiental na ordem 92.611,02 ton, contabilizando os resíduos destinados ao coprocessamento no RS e para outros estados, aumentando a vida útil dos aterros industriais, com maior segurança técnica com a redução de riscos de incêndios e a redução do uso de combustíveis fósseis pela substituição parcial por combustível derivado dos resíduos. Segundo a cimenteira analisada, o aproveitamento energético dos resíduos industriais no forno de produção de clínquer pode diminuir em até 30% o consumo de fontes de energia não renováveis, representando um processo eficiente comparado às indústrias de cimento em todo mundo que só conseguem a média de 10% de substituição. Em 2017, a empresa obteve uma economia de 15.584,45 ton de combustíveis fósseis com a substituição

de 31.008 ton de resíduos classe I e II. Desta forma, constata-se um menor impacto ambiental, ganhos produtivos, financeiros e muito mais eficiência na gestão ambiental com a aplicação da técnica de coprocessamento no estado do RS. Além disso, as cimenteiras possuem certificações ISO 14000, o que dá garantias de uma prática ambientalmente correta e da implementação de uma política de redução de resíduos.

No entanto, apesar dos fornos de clínquer serem tecnicamente capazes de utilizar até 100% de combustíveis alternativos, existem limitações práticas, políticas e jurídicas. Em relação ao processo produtivo, combustíveis alternativos com propriedades químicas significativamente diferentes dos combustíveis convencionais como baixo poder calorífico, teor de umidade elevado e alta concentração de cloro e outras substâncias, devem ser geridos com cuidado.

Em relação aos impactos negativos do coprocessamento, a maior preocupação ambiental referente à atividade, refere-se às emissões atmosféricas provenientes da queima dos resíduos nos fornos de clínquer. Segundo a ABCP (2017), a emissão de CO₂ é intrínseca ao processo produtivo de cimento e possui várias operações com potencial de geração de emissões atmosféricas, tais como a exploração de minérios, moagem e homogeneização de matérias-primas, manuseio de combustíveis, produção do clínquer, moagem final, ensacamento, armazenamento, mistura e transporte. Embora estudos internacionais apontam que aproximadamente 5% das emissões de CO₂ de origem antrópica no mundo provêm da produção de cimento, outros estudos apontam que nenhuma emissão adicional é criada pela atividade de coprocessamento se comparado com a produção tradicional de cimento, uma vez que o coprocessamento submete as fábricas de cimento a controles ambientais mais rígidos e limites de emissão mais restritivos, o que tende a contribuir para uma melhoria na qualidade do ar.

A indústria do cimento brasileira ocupa hoje posição de referência no combate aos gases de efeito estufa, graças a uma série de características do processo produtivo, além de diversas ações adotadas pelo setor que constituem os pilares da sustentabilidade, algumas alavancadas a partir da transformação industrial durante a crise do petróleo do final da década de 70, outras mais recentemente.

Segundo a ABCP (2017), o setor no Brasil possui hoje um parque industrial moderno e eficiente, com instalações que operam com baixo consumo energético e conseqüentemente uma menor emissão de CO₂ quando comparado a outros países. Os fornos via seca com pré-aquecedores e pré-calcinadores, garantem significativa diminuição do uso de combustíveis em relação a outros processos menos eficientes. Além disso, pré-aquecedores e pré-calcinadores

reaproveitam os gases quentes para pré-aquecer a matéria-prima previamente à entrada do forno, diminuindo ainda mais o consumo de combustíveis.

O uso de combustíveis alternativos no Brasil, através do coprocessamento de resíduos e da utilização de biomassa, tem aumentado consideravelmente a partir dos anos 2000, conforme último panorama do coprocessamento. O Brasil também é o país que mais utiliza biomassa na produção de cimento, podendo diminuir a emissão de CO₂, pois estas fontes de energia têm emissão neutra, uma vez que o CO₂ emitido por elas é captado da atmosfera no crescimento das plantas (LIMA, 2010).

A redução da quantidade de clínquer no cimento configura como importante medida para a redução das emissões, podendo substituí-lo por materiais pozolânicos, tais como escória de alto-forno, cinzas volantes e pozolanas naturais (MALARD, 2016). O Brasil adota essa prática a mais de 50 anos sendo considerado referência internacional com maior percentual de adições utilizadas, propiciando a redução das emissões de CO₂. Além disso, os cimentos com adições representam uma solução ambientalmente correta para subprodutos de outros processos produtivos, como escórias siderúrgicas e cinzas de termelétricas, fomentando a economia circular.

Segundo o levantamento da *Cement Sustainability Initiative* (CSI), a eficiência energética, combustíveis alternativos e adições ao cimento, ajudaram a posicionar o setor entre os mais eficazes no controle de suas emissões, apresentando os menores níveis de CO₂ por tonelada de cimento produzida. A captura e estocagem de carbono (CCS) é uma alternativa considerada promissora, mas demanda desenvolvimento tecnológico e redução do custo para que possa ser aplicada em larga escala (LIMA, 2010).

Alguns estudos mostram ainda uma redução na emissão de poluentes, entre eles o CO₂, o NO₂ e o SO₂, dependendo do tipo de combustível alternativo processado, podendo diminuir significativamente com a utilização de combustíveis alternativos que possuem um menor teor de carbono em sua composição comparado com a dos combustíveis tradicionais. Já em relação as possíveis alternativas para minimizar a emissão de dioxinas e furanos seria a utilização de combustíveis, resíduos e matérias-primas com ausência de cloro na produção do clínquer.

Em relação aos metais pesados, como observado na bibliografia, as condições do forno permitem reações dos mesmos com a massa sólida que os levam a ficar quimicamente ligados à estrutura cristalina dos silicatos do cimento. Além disso, a matéria-prima de natureza alcalina neutraliza os efluentes ácidos, e as cimenteiras não têm significativos problemas de corrosão nas instalações. Os compostos que demandam especial atenção são os metais mais

voláteis, como o mercúrio e o tálio, no entanto, os compostos volatilizam no forno e geralmente são retidos no pó coletado nos filtros, recirculando pelo reuso destes materiais (BELATTO, 2013). Portanto, quanto maior a eficiência dos filtros, menores as emissões desses compostos.

O que assegura a eficiência do processo em relação às emissões atmosféricas é que os filtros de mangas possuem uma alta eficiência de coleta podendo alcançar 99,99%, comprovado nos testes de queima, necessário para o licenciamento da atividade assegurando a destruição de compostos de difícil destruição térmica presentes nos resíduos. Além disso, em condições de exceder os limites fixados para os poluentes medidos de forma contínua, a cimenteira em Candiota/RS dispõe de equipamento com um procedimento automático de interrupção imediata do acesso de resíduos para queima, plano de gerenciamento dos riscos e atendimento emergencial em caso de acidente envolvendo o coprocessamento de resíduos. Diante do contexto, o coprocessamento, realizado de forma segura, não oferece riscos para as comunidades vizinhas às fábricas de cimento, trazendo diversas vantagens nos aspectos ambiental, social e econômico.

7.7 DIFICULDADES NA GESTÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS E POTENCIALIDADES DO COPROCESSAMENTO

Ao analisar os dados para esta pesquisa, foi possível observar que o SIGECORS da FEPAM possui diversos gargalos como: falta de inventários com dados fidedignos quanto à geração, tratamento e destinação final, visto que o responsável pelo preenchimento possui uma grande flexibilidade na forma de lançamento, devido ao sistema não exigir comprovantes de destinação e pela ausência de padronização das unidades de medida por resíduo. Em relação à destinação final foram informados diversos resíduos não passíveis de coprocessamento, como resíduos orgânicos, lâmpadas fluorescentes, sucatas metálicas, vidro, dentre outros que não foram considerados na análise. Esses dados não condizem com a realidade, pois nem passariam na avaliação de aceite para blendagem e coprocessamento e acabam gerando dificuldades no momento da interpretação e compilação dos dados.

Comparando os resíduos enviados para a unidade de blendagem em maior volume e os resíduos declarados nas planilhas trimestrais no SIGECORS, constatou-se que para as unidades de blendagem são informados os códigos dos resíduos do IBAMA, enquanto nas planilhas foram e continuam sendo informados os códigos definidos pela própria FEPAM, o que dificulta a padronização e interpretação dos dados.

Entretanto, um grande avanço no estado do RS para o controle da geração, transporte e destinação final dos resíduos industriais foi a implementação do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) online, através da Portaria FEPAM N° 87 de 29/10/2018, onde toda movimentação de resíduos no estado do RS deverá ser declarada no sistema MTR ON LINE, devendo o gerador, o transportador e o destinador atestar, sucessivamente, a efetivação do embarque, do transporte e do recebimento de resíduos no sistema. Nesse documento é necessário informar o código do IBAMA e denominação do resíduo, a quantidade, unidade de medida, estado físico, classe, forma de acondicionamento, tecnologia utilizada para destinação final, além da identificação do gerador, do transportador e do destinador final (FEPAM, 2018).

Dentre as alternativas descritas na Portaria Fepam nº 016/2010, o coprocessamento demonstra ser a destinação ambientalmente mais segura para os resíduos Classe I com características de inflamabilidade, no entanto, o alto custo do tratamento e da logística impacta a destinação final dos resíduos, principalmente para os resíduos enviados para tratamento em outros estados, inibindo o interesse do empresário, que muitas vezes acaba armazenando temporariamente o passivo ambiental na empresa. De acordo com Belato (2013), se a indústria cimenteira adotar os princípios básicos para evitar que seja adotado um coprocessamento inadequado de acordo com a visão técnica, ambiental e social, criados pelas industriais e passivos ambientais é considerado a melhor opção de destinação final independente do país.

No entanto, como já mencionado, a técnica possui limitações, dificultando o aumento da produção de combustível alternativo e a inserção de novos resíduos, visto que a mistura dos mesmos devem atender aos critérios de qualidade exigidos pelas cimenteiras. Contudo, segundo a ABCP (2017), o setor possui um potencial de destruição de aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de resíduos, o que poderia mais que dobrar a quantidade anual coprocessada, contribuindo para a mitigação das emissões de CO₂.

Em relação às possibilidades de utilizar outros resíduos no coprocessamento, a ABCP (2017), destaca os resíduos sólidos urbanos (RSU) com maior potencialidade de crescimento. Segundo a ABELPRE, todos os anos são gerados cerca de 80 milhões de toneladas de RSU, com tendência de crescimento. Embora na Europa sua utilização seja expressiva, no Brasil depende-se de regulamentação específica para coprocessamento desse tipo de resíduo que poderia contribuir para a redução do impacto ambiental das áreas de disposição como também para redução do próprio passivo ambiental.

Outro potencial de crescimento é o coprocessamento de biomassa que vem se destacando no RS e os medicamentos vencidos, porém esses dependem de ações de estímulo, o que contribuiria para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (ABCP, 2017).

A definição e, sobretudo implementação de políticas para dar destinação adequada a resíduos sólidos de diferentes origens seguramente permitiria aumentar a oferta de material residual para coprocessamento. Além da aplicação mais efetiva da legislação que trata de resíduos industriais, cabe avançar também no aproveitamento de resíduos urbanos e residenciais.

A técnica de coprocessamento fomenta novos estudos e pesquisas no sentido de obter substitutos energéticos de fontes não renováveis. Com potencial de crescimento, o reaproveitamento energético de resíduos vem se convertendo numa alternativa atrativa tanto do ponto de vista econômico como ambiental, que desperta crescente interesse do setor empresarial, e que pode ser dinamizado a partir de um manejo adequado dos instrumentos de política.

8 SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

- Devido à constatação de grande flexibilidade no preenchimento das informações referentes aos resíduos nas planilhas do SIGECORS e falta de padronização, recomenda-se para futuras pesquisas a utilização de dados mais fidedignos fornecidos pelas duas unidades de blendagem localizadas no estado, com a descrição e volume dos resíduos recebidos e destinados as cimenteiras.

- Outra sugestão é a utilização dos dados do MTR online, documento obrigatório contemplando pequenos, médios e grandes geradores em todo estado, permitindo um estudo mais complexo e com informações confiáveis sobre a geração, transporte e destinação final de resíduos para coprocessamento.

- Avaliar e acompanhar as atividades realizadas na preparação dos blends de resíduos industriais nas unidades licenciadas, de forma a averiguar se os controles ambientais relacionados a amostragem, manuseio dos resíduos recebidos, análises laboratoriais, armazenamento, processamento dos resíduos, amostragem do *blend* final, monitoramento, avaliação de risco e controle do material particulado são eficazes.

- Avaliar o desempenho ambiental da cimenteira que realiza o coprocessamento de resíduos industriais no Rio Grande do Sul, com o acompanhamento das operações e do controle das emissões atmosféricas geradas no forno rotativo, elaborando um estudo sobre a vulnerabilidade socioambiental do município onde a cimenteira está inserida, considerando os riscos nas áreas de influência.

- Analisar o ciclo energético total.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cimento é fundamental para a sociedade contemporânea e o aumento do consumo é considerado termômetro para a economia. Como visto, a produção do cimento apresenta elevado potencial poluidor, tanto pelo processo de extração do calcário e argila quanto pela emissão de poluentes atmosféricos durante o processo produtivo, impactando nas mudanças climáticas. O alto consumo energético necessário para elevar as temperaturas dentro do forno rotativo nas etapas de calcinação e clínquerização da matéria prima, contribui significativamente para esse grande impacto ambiental. No entanto, percebe-se que o setor vem investindo em inovação para minimizar os impactos e reduzir custos de produção com economia de energia, como a inserção da prática do coprocessamento em seu processo produtivo, que promove em uma operação simultânea, a destruição térmica de resíduos sólidos industriais em substituição parcial dos combustíveis fósseis e as matérias-primas tradicionais e a fabricação de clínquer.

Desta forma, o coprocessamento em cimenteiras com tecnologia adequada, legalmente licenciada para a atividade, com rígidos controles, bem como um programa de monitoramento ambiental e ocupacional, representa uma alternativa nobre para a destinação final de resíduos industriais, com a possibilidade de se recuperar a energia contida nos resíduos industriais. A recuperação energética dos resíduos está contemplada na PNRS como destinação final ambientalmente adequada, assim, a utilização de resíduos com potencial energético via coprocessamento é considerada uma alternativa viável ambientalmente e competitiva economicamente, fomentada pela PNRS.

Perante o desafio da adequada gestão dos resíduos industriais e a redução dos riscos de acidentes por substâncias inflamáveis (incêndios) nos aterros industriais, percebe-se que a FEPAM/RS impulsionou o desenvolvimento e aplicação da tecnologia de coprocessamento no estado do RS, através da Portaria nº 16/2010, constituindo uma alternativa viável para resíduos com poder calorífico e dificuldade de reciclagem. O estado do RS foi pioneiro no país a elaborar legislação acerca da gestão de resíduos sólidos e também na proibição da disposição de resíduos industriais inflamáveis em aterros industriais, através da Portaria FEPAM Nº 016/2010. Desta forma, observa-se que para desenvolver novas tecnologias e mudar a forma de produção e consumo é relevante a elaboração de legislações e regulamentações que incentivem o uso desse processo e limitem a disposição em aterros, obtendo uma maior taxa de substituição de combustíveis convencionais por alternativos. Além disso, são necessárias mudanças que questionem o modelo econômico atual, trazendo

uma visão inovadora e de valor com novas oportunidades em termos sociais e ambientais, como a economia circular que é uma tendência global, agregando valor aos resíduos que podem servir de matéria-prima para outro processo produtivo.

Ao analisar o panorama de coprocessamento do estado do RS, conclui-se que o período analisado apresentou crescimento significativo dos resíduos destinados ao coprocessamento desde a implantação das unidades de blendagem e de coprocessamento no estado, seja pela exigência da Portaria 016/2010 ou pela preocupação das empresas na destinação correta dos resíduos, cumprindo as condicionantes das licenças de operação e dos planos de gerenciamento de resíduos industriais, elaborado por responsável técnico que orienta, executa e monitora o mesmo. Constatou-se ainda que as unidades de blendagem para coprocessamento estão localizadas estrategicamente nas proximidades de duas das regiões que mais produzem resíduos industriais no estado, a Capital e Serra Gaúcha, atendendo a demanda das empresas geradoras.

Desde a restrição estabelecida pela Portaria FEPAM nº 16 em 2010 até o ano 2017, houve a eliminação de um passivo ambiental na ordem de 92.611,02 toneladas de resíduos industriais no estado, com a destruição definitiva através do coprocessamento. Conclui-se que os resíduos classe I tiveram maior contribuição, devido a sua proibição de disposição em aterros industriais, bem como por apresentar maior poder calorífico.

Importante ressaltar que ao optar pelo coprocessamento, no qual ocorre a eliminação definitiva dos resíduos pelas altas temperaturas e dos passivos ambientais com a incorporação das cinzas ao cimento, as empresas geradoras cessam a responsabilidade de monitorar o resíduo eternamente, pois mesmo com o encerramento do ciclo de vida do resíduo através de outra alternativa de destinação final ou pela disposição final em aterro industrial, a responsabilidade por eventual dano que esse resíduo possa causar mesmo depois de aterrado, permanece para o gerador. Desta forma, o fim de vida dos resíduos, com a eliminação do passivo ambiental, proporciona a empresa geradora uma solução segura e definitiva para seus resíduos inflamáveis, além de aumentar a vida útil dos aterros industriais e maior segurança técnica por evitar riscos de acidentes.

A cimenteira no estado que coprocessa *blend* de resíduos industriais classe I e II economizou em 2017, cerca de 15.584,45 ton de combustíveis fósseis com a substituição de combustíveis alternativos, como *blend* de resíduos industriais, pneus e biomassa, constatando uma redução do custo de produção e contribuição para a gestão ambiental desses resíduos. Verificou-se que com o aumento da produção de cimento existe potencial de crescimento do

coprocessamento de *blend* de resíduos industriais na cimenteira, reduzido nos últimos anos devido à crise econômica.

Observou-se também que a cimenteira analisada, substitui matéria-prima tradicional por carepa de ferro em menor percentagem que os combustíveis, mas pode contribuir para a minimização dos impactos causados pela extração, na biodiversidade, paisagem, material particulado e ruídos, além da preservação das jazidas. A substituição de matérias-primas também possui um potencial de crescimento, visto que outros resíduos com as mesmas características poderão ser utilizados.

Quanto aos benefícios da utilização do coprocessamento, conclui-se que os mesmos vão além da eliminação definitiva de resíduos industriais e passivo ambiental, redução do consumo de recursos não renováveis, economia de energia, redução do custo de produção de cimento, preservação de jazidas, diminuição de áreas de aterros e melhoria da saúde pública. A Agência Internacional de Energia constatou que o Brasil é referência mundial por apresentar os menores níveis de CO₂ por tonelada de cimento produzida, e o coprocessamento de resíduos tem sua contribuição nessa conquista.

Além disso, em relação ao aspecto social, observa-se a geração de empregos e novas oportunidades de negócios para a população local e impostos para os municípios onde as unidades de blendagem e de coprocessamento estão instaladas, particularmente em regiões onde existem poucas opções de desenvolvimento econômico, como é o caso de Candiota/RS.

No entanto, embora a legislação para a atividade seja mais rigorosa, o coprocessamento de resíduos no RS, demanda de mais estudos relacionados aos efeitos das emissões atmosféricas na saúde dos trabalhadores e comunidades do entorno da cimenteira. Além disso, os controles ambientais nas unidades de blendagem devem ser eficazes, pois a avaliação dos resíduos e preparação dos *blends* insatisfatórios poderão resultar em emissões indesejáveis na atmosfera contendo dioxinas e furanos, decorrentes da presença de plásticos que contenham cloro (PVC) e metais pesados.

Desta forma, pode-se concluir que a técnica de coprocessamento de resíduos industriais no RS, traz muitas vantagens para o ambiente e sociedade, se destacando como a alternativa disponível no estado que apresenta melhor custo/benefício, desde que aplicada com os devidos controles ambientais e utilização de combustível derivado de resíduos industriais de fontes confiáveis e seguras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Panorama do Coprocessamento Brasil 2017**. Disponível em: http://coprocessamento.org.br/cms/wp-content/uploads/2017/01/Panorama_coprocessamento_2017-1.pdf. Acesso em: 14 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E EFLUENTES (ABETRE). **Sustentabilidade**. EcoDebate. 2016. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2016/09/21/passivo-ambiental-da-industria-brasileira-e-estimado-em-rdollar-166-bilhoes-aponta-abetre/>. Acesso em: 20 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), Rio de Janeiro. **NBR-10004**; Classificação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 68 p.

_____. **NBR-10005**; Lixiviação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. 2004. 10 p.

_____. **NBR-10006**; Solubilização de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. 2004. 2 p.

_____. **NBR-10007**; Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro. 2004. 25 p.

_____. **NBR-11174**; Armazenamento de Resíduos Classe II – não inertes e III - inertes. Rio de Janeiro. 1990. 7 p.

_____. **NBR-12235**; Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos. Rio de Janeiro. 1992. 14 p.

BARROS, T. R. **Blendagem e Coprocessamento de Resíduos Perigosos**. UNESP – TRSEG. ABRIL/2014. Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/Sandr.Mancini/2014-thalita.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

BELATO, M. N. **Análise da Geração de Poluentes na Produção de Cimento Portland com o Coprocessamento de Resíduos Industriais**. Itajubá, 2013. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

BRASIL. **Lei 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.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007_2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Norma Técnica P4.263**. Procedimento para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer. São Paulo, 2003.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Indústria brasileira de cimento: base para a construção do desenvolvimento**. Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira de Cimento Portland, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – Brasília: CNI, 2017. 60 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Economia Circular Oportunidades e Desafios para a Indústria Brasileira**. Brasília, 2018.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (COPAM). **Deliberação Normativa COPAM nº 154 de 25 ago. 2010**. Dispõe sobre o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Minas Gerais, 2010.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). **Resolução Nº 02/2000**. Dispõe de norma sobre o licenciamento ambiental para coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/consema/Res02-00.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **RESOLUÇÃO CONAMA nº 264, de 26 de ago. 1999**. Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos. Publicada no DOU no 54, de 20 de março de 2000, Seção 1, páginas 80-83

_____. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 416, de 30 de setembro de 2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Publicada no DOU Nº 188, de 01/10/2009, págs. 64-65.

COSTA, J.M.B. **Coprocessamento de CDR no processo de produção de cimento**. Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. 2014. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica).

CRUZ, S.S. DA; HUPFFER, H.M.; JAHNO, V.D. Destinação final de resíduos sólidos industriais: Panorama do Coprocessamento no Brasil. Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. **Anais**, 2016. Disponível em:

http://www.firs.institutoventuri.org.br/images/t109_destina%c3%87%c3%83o_final_de_res%c3%84duos_s%c3%93lidos_industriais_panorama_do_coprocessamento_no_brasil.pdf. Acesso em: 25 ago. 2018.

DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS (DEPEC-BRADESCO). **Cimento Junho de 2017**. Apresentação. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_cimento.pdf>. Acesso em: 18 out 2018.

EUROPEAN INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL BUREAU (EIPPCB). **Best available techniques (BAT) reference document for the production of cement, lime and magnesium oxide**. EUR-26129. Publication Office of European Union, Luxembourg, p. 475, 2013. Disponível em: <<http://https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/bestavailable-techniques-bat-reference-document-production-cement-lime-and-magnesium-oxide>>. Acesso em: 15 out. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Rio de Janeiro, 2018.

EUROPEAN COMMISSION - EC. **Directive 2008/98/EC on waste** (Waste Framework Directive). Última atualização: 09/06/2016. Disponível em <<http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/>>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION (CEMBUREAU). **THE STORY OF CEMENT MANUFACTURE**. 2017. Disponível em: <<https://cembureau.eu/media/1544/cementmanufacturing.pdf>>. Acesso em 20 ago.2018

EIPPCB - European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. **Best available techniques (BAT) reference document for the production of cement, lime and magnesium oxide**. EUR-26129. Publication Office of European Union, Luxembourg, p. 475, 2013. Disponível em: <[:// https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/bestavailable-techniques-bat-reference-document-production-cement-lime-and-magnesium-oxide](https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/bestavailable-techniques-bat-reference-document-production-cement-lime-and-magnesium-oxide)>. Acesso em: 15 set.2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO RIO GRANDE DO SUL (FIERGS). **Produto 11: Relatório dos resíduos não reutilizados (Produto da Atividade 6), objetivando identificar novos empreendimentos possíveis para reaproveitamento, considerando as principais potencialidades e restrições**. Porto Alegre, 2014

FOSTER, A.; ROBERTO, S.S.; TOSHIRO I. A. **Economia Circular e Resíduos Sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica.** Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. 2016. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2018.

FUNDAÇÃO PRO AMBIENTE (PROAMB). **Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Industriais.** Case: DESENVOLVIMENTO DO COPROCESSAMENTO NO RS. SENGE. Porto Alegre, 2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (FEPAM). **Portaria nº 016, de 20 de abril de 2010.** Dispõe sobre o controle da disposição final de resíduos Classe I com características de inflamabilidade no solo, em sistemas de destinação final de resíduos denominados “aterro de resíduos classe I” e “central de recebimento e destinação de resíduos classe I”, no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.mprs.mp.br/ambiente/legislacao/id9979.htm>. Acesso em: 10 jul 2017.

_____. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (FEPAM). **Portaria nº 087, de 29 de outubro de 2018.** Aprova o Sistema de Manifesto de Transporte de Resíduos – Sistema MTR Online e dispõe sobre a obrigatoriedade de utilização do sistema no estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Publicado no DOE – RS em 30/10/2018.

_____. **Licenciamento Ambiental.Consultas Genéricas.** Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/Area1/default.asp>. Acesso em: 13 jul.2018

_____. **DIRETIVA TÉCNICA Nº 01/2018.** Diretriz Técnica Que Estabelece Condições E Os Limites Máximos De Emissão De Poluentes Atmosféricos A Serem Adotados Pela Fepam Para Fontes Fixas E Dá Outras Providências. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/CENTRAL/DIRETRIZES/DIRET_TEC_01_2018.PDF. Acesso 20 jna. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais:** Relatório de pesquisa. Brasília, DF: IPEA, 2012. Disponível em:<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120927_relatorio_residuos_solidos_industriais.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.

INTERCEMENT. **Relatório Anual 2017.** Disponível em: <http://www.intercement.com/sites/ra2017/>. Acesso em: 20 out.2018.

MALARD, M. A. A. **Avaliação Ambiental do setor de Coprocessamento no Estado de Minas Gerais.** Campinas, 2016. 246 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas.

MANTEGAZZA, E. **Aspectos ambientais do co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer no estado de São Paulo**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004. 297 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

MARINGOLO, V. **Clínquer co-processado: produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento**. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2001. 149 p. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia).

MEYSTRE, J. A. **Análise do coprocessamento de resíduo sólido urbano na indústria de cimento Portland no Brasil**. Itajubá, 2016. 213 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

MADLOOL, N.A.; SAIDUR, R.; RAHIM N.A.; KAMALISARVESTANI, M. An overview of energy savings measures for cement industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v 19, 2013, p. 18–29.

MORAES, JOSÉ LAÉCIO DE. **Dificuldades para o aproveitamento energético de resíduos sólidos através da incineração no Brasil**. Universidade Federal do Ceará, v. 6, número especial (3), p. 173 - 180 . Fortaleza. 2016.

MUCCIACITO, J.C., **Incineração de resíduos perigosos: uma solução definitiva**. 2010. Disponível em: <
http://www.meiofiltrante.com.br/materias_ver.asp?action=detalhe&id=586&revista=n43 >
Acesso em: 10 set.2018.

NASCIMENTO, C. Y. L. **Blendagem de resíduos**. 2018. Disponível em:
<https://www.linkedin.com/pulse/blendagem-de-res%C3%ADduos-carlos-yuri-le%C3%A3o-do-nascimento-2/4>. Acesso em: 15 out.2018.

PAULA, L.G. **Análise termoeconômica do processo de produção de cimento portland com coprocessamento de misturas de resíduos**. Itajubá: Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, 2009. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

RAMOS, D. M. **Estudo da Formação e Emissão de Poluentes na Atmosfera Originários do Coprocessamento de Resíduos em Fábricas de Cimento**. Itajubá, 2015. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

RECICLANIP. **O ciclo sustentável do pneu**. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/v3/>>. Acesso em: 10 set. 2018.

RENOVA. **Coprocessamento de Resíduos**. Disponível em: <<http://renewgroup.com.br/servicos/coprocessamento/>>. Acesso em: 10 set.2018.

ROCHA, S.D.F.; LINS, V.F.C.; SANTO, C.E.S. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, 2011.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul 2015 – 2034 – PERS-RS**. Porto Alegre: Ministério do Meio Ambiente / Governo do Estado do Rio Grande do Sul / FEPAM/RS / Engebio. 2014. Disponível em: <<http://www.pers.rs.gov.br/noticias/arq/ENGB-SEMA-PERS-RS-40-Final-rev01.pdf>>. Acesso em: 02 jul.2018.

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. F. C.; ESPIRITO SANTO, B. C. **Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. v.16, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n1/a03v16n1>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SANTOS, G. H. F.; DO NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M.. Biomassa como Energia Renovável no Brasil. **REVISTA UNINGÁ REVIEW**, [S.l.], v. 29, n. 2, jan. 2018. ISSN 2178-2571. Disponível em: <<http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

SANTOS NETO, B. C.; BARROS, A. M. de. Poluição atmosférica decorrente das emissões de material particulado na atividade de coprocessamento de resíduos industriais em fornos de cimento. **Revista INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção**, v. 3, n. 3, p. 61-66, mar. 2011. Disponível em: http://www.ingepro.com.br/Publ_2011/Marc/420%20pg%2061-66.pdf. Acesso em: Acesso em: 20 ago. 2018.

SANTI, A.M.M. **Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: Investigação no maior pólo produtor de cimento do País, Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos ambientais, e propostas para a Segurança Química**. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 150 p. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos).

SEQUEIRA, LUIS FREDERICO TOKUMOTO. **Análise dos Impactos Ambientais da utilização de Resíduos Classe 1 na produção do cimento em uma fábrica aa Região da Campanha**. Universidade Federal Do Pampa Curso De Engenharia De Produção. Bagé. 2014.

SELLITTO, Miguel Afonso *et al.* Coprocessamento de cascas de arroz e pneus inservíveis e logística reversa na fabricação de cimento. *Ambiente e Sociedade*. Vol.16, n.1, pp.141-162. 2013.

SOARES, E. F.; GOMES, I.C.M.; DINIZ, B.C. Etapas da implantação do sistema de coprocessamento de resíduos em uma indústria cimenteira. **In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA CONTECC**, 2015, Fortaleza. 2015. Disponível em: <http://www.confca.org.br/media/Civil_etapas_da_implantacao_do_sistema_de_coprocessamento_de.pdf> .Acesso em 20 out.2018.

SCHALCH, V. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos** – Módulo 1. (Apostila). NEPER – Núcleo de Estudos e Pesquisa em Resíduos Sólidos da Escola de Engenharia da USP de São Carlos. São Carlos: EESC-USP, 2013.

SILVA, R.J & BELATO, M.N & LOPES, A.O. Coprocessamento de pneus usados e resíduos de rerrefino de óleos lubrificantes usados em fornos de clínquer. **In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA**. Florianópolis, 2014.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **SNIC 50 anos**. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/Historia_do_Cimento_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2018

_____. **Dados Preliminares**. Disponível em: <<http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares-ver.php?id=33>> Acesso em: 10 fev.2019.

_____. **O atual contexto da CFEM para a competitividade da Indústria Mineral: O Caso da Indústria do Cimento**. Brasília, 2016.

TOCCHETTO, MARTA REGINA LOPES. **GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS**. Departamento de Química - Universidade Federal de Santa Maria. Curso de Química Industrial. Santa Maria, 2009.

UNITED STATES. **Code of Federal Regulations** (annual edition). **In:** Title 40: Protection of Environment, Subchapter I: Solid Wastes. 2018. Disponível em: <<http://www.gpo.gov/fdsys/browse/collectionCfr.action?selectedYearFrom=2014&go=Go>>. Acesso em: 23 jul.2018.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. Cement Sustainability Initiative. **Cement technology roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050**. World Business Council for Sustainable Development. 36 p. Paris, 2010. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Cement.pdf>. Acesso em: 29. Out.2018.

ANEXO I – PRODUTO DO MESTRADO

A presente pesquisa realizou a análise de dados fornecidos pelo órgão ambiental estadual FEPAM, das unidades de blendagem e de coprocessamento de resíduos industriais do RS, podendo contribuir na gestão dos resíduos gerados de diversos ramos industriais fiscalizados pelos municípios, além de elucidar a aplicação da técnica de coprocessamento, quais resíduos podem ter este destino nobre e quais são proibidos, sobretudo a relevância de exigir comprovante de destinação final anexa à planilha utilizada para monitoramento dos resíduos industriais gerados.

Para ser possível essa contribuição aos municípios da Serra Gaúcha buscou-se apoio ao Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento Sustentável da Serra Gaúcha (CISGA). O Cisca é o consórcio dos municípios da Serra Gaúcha, ao qual fazem parte os municípios de Antônio Prado, Bento Gonçalves, Carlos Barbosa, Coronel Pilar, Cotiporã, Fagundes Varela, Garibaldi, Nova Roma do Sul, Pinto Bandeira, Santa Tereza, São Marcos e Veranópolis. Este consórcio tem por objetivo auxiliar os gestores dos entes federados na execução de sua missão constitucional, tendo papel estratégico à medida que viabiliza ações de cooperação e gestão associada entre os entes consorciados, potencializando a capacidade do setor público na execução de políticas que fornecem infraestrutura para o desenvolvimento socioeconômico e garantia dos direitos sociais.

Desta forma, no dia 29 de março de 2019 foi realizada uma palestra ao grupo gestor, abordando o objeto da pesquisa, Panorama do coprocessamento de resíduos industriais no RS no período de 2010 a 2017, sendo distribuídas cópias de um informativo para os participantes.

ANEXO II – APRESENTAÇÃO DADOS CISGA

Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento
Sustentável da Serra Gaúcha

ATESTADO

Atesto para os devidos fins de comprovação que a Srta. Emanuela Fin, esteve na sede do CISGA, localizado à rua Jacob Ely, 598, sala 5, centro, Garibaldi/RS, na tarde do dia 29 de março de 2019, para apresentar, ao grupo gestor de resíduos Sólidos do PIGRS - Plano de Gestão Intermunicipal Integrado de Resíduos Sólidos, formado pelos técnicos que atuam nos municípios consorciados ao CISGA, explanação dos resultados de sua Dissertação de Mestrado Profissional, intitulada: "Panorama do Coprocessamento de Resíduos Industriais no Estado do Rio Grande do Sul, no período de 2010 a 2017".

Garibaldi, 29 de março de 2019.

Rudimar Caberlon
Diretor Executivo do CISGA

Rudimar Caberlon
Diretor Executivo do CISGA
CPF: 477.515.170-34

ANEXO II – APRESENTAÇÃO DADOS CISGA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
MESTRADO PROFISSIONAL EM AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE



uergs

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

LISTA DE PRESENÇA

Atividade: Apresentação dos resultados da Dissertação de Mestrado Profissional intitulada: "Panorama do Coprocessamento de Resíduos Industriais no Estado do Rio Grande do Sul, no período de 2010 a 2017", da discente Emanuela Fin, como contribuição para gestão dos resíduos.

Local: Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento Sustentável da Serra Gaúcha - CISGA

Data: 29 / 03 / 2019

NOME	CARGO/SECRETARIA	MUNICÍPIO	ASSINATURA
Luiz Esporin	Fiscal / Sec. Meio Ambiente	B. G.	
Dibora Marcelle	Fiscal / Secr. de Agricultura	Santa Teresa	
Nelson E. G. Junior	Meio Ambiente / Semma	Faxcruçuva	
CLAUDÉCIA BES	Coordenadora do Meio Ambiente	Fagundes Vanda	
Julia Niemara Bommarço	Assoc. Ambiental	Pinto Bandeira	
ANTONIO SILVA NOVA	ENGENHEIRO CIVIL	NOVA RAMA DO SUL	
Gracian Z. Marchesini	Fiscal / Sec. Saúde	Una Reme de El	
Zildirione Sobbi	Estimador Dep. de Meio Ambiente	Chapora	
bláudia Gaffai	SMED	Garibaldi	
ERIAS L. SIMIONI	Fiscal / Dpto. Meio Ambiente	COTIPORÁ	
Juliana Curbel	CISGA - D. de Meio Ambiente	GRMILG.	
Jaider Alvarado Bollen	Fiscal Ambiental -	Santa Tereza	
DEISE TIZOTTI LEMINI	DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO	ANTÔNIO PAZ	
Flávia M. Assunção	Principal Ambiental	u u	
Dilora Zoni Varago	Química / Semma	Faxcruçuva	

ANEXO III – FOTOS DA APRESENTAÇÃO

Fonte: CISGA (2019)



Fonte: CISGA (2019)

APÊNDICE – INFORMATIVO SOBRE COPROCESSAMENTO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL

MESTRADO PROFISSIONAL EM AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

INFORMATIVO SOBRE COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL NO PERÍODO DE 2010 A 2017

Emanuela Fin, Ana Carolina Tramontina

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A geração de resíduos sólidos industriais e sua disposição final ambientalmente segura representa um dos maiores desafios para a sociedade contemporânea, pois seu gerenciamento inadequado pode resultar em riscos à saúde pública e à qualidade ambiental, requerendo soluções e inovações tecnológicas para o manejo e destinação final que visem à sustentabilidade.

No estado do Rio Grande do Sul, após a publicação da Portaria FEPAM nº 016/2010, que coíbe a disposição de resíduos Classe I com características de inflamabilidade no solo, em aterros de resíduos classe I e centrais de recebimento e destinação de resíduos classe I, as empresas geradoras desses resíduos se deparam com um grande problema, pois não havia tecnologia disponível no estado para tratá-los e a solução momentânea foi o envio dos resíduos para tratamento fora do estado, o que gerou um custo inesperado para a indústria, dificultando a gestão adequada desses resíduos.

Dentre as alternativas de destinação final dos resíduos com características de inflamabilidade, a técnica de coprocessamento é a opção mais utilizada por empresas que querem evitar a geração de passivos ambientais, contribuindo positivamente com o fim da responsabilidade do produtor/gerador e encerrando o seu vínculo de responsabilidade através da destruição do resíduo (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

Este informativo tem por objetivo, elucidar a aplicação dessa alternativa de destinação final e apresentar o panorama do coprocessamento de resíduos industriais no estado do Rio Grande do Sul, no período de 2010 a 2017, visando os benefícios desta alternativa tecnológica para o

ambiente e sociedade, após a aprovação da Portaria FEPAM/RS nº 16/2010.

DEFINIÇÃO DE COPROCESSAMENTO

Técnica de utilização de resíduos industriais a partir do processamento desses como substituto parcial de matéria-prima ou de combustível em fornos de produção de clínquer, na fabricação de cimento.

No coprocessamento destroem-se os resíduos e economizam-se matérias-primas e combustíveis, contribuindo para a sustentabilidade.

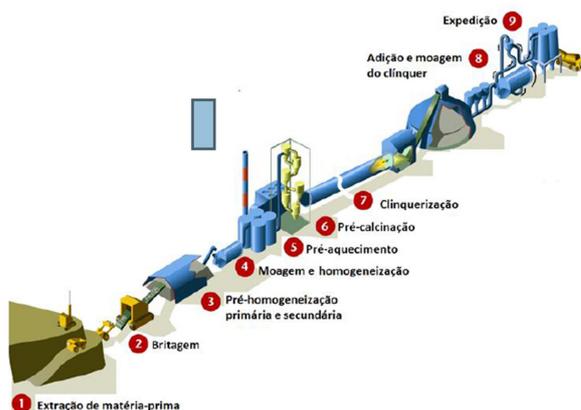


FABRICAÇÃO DO CIMENTO

O processo de produção de cimento é resumidamente, uma combinação da exploração e beneficiamento do calcário e da argila, que são fundidas em um forno a temperatura de

aproximadamente 1450 °C. O resfriamento desta fusão resulta no clínquer, que moído recebe a mistura de outros materiais que determina os diversos tipos de cimentos disponíveis no mercado.

A produção do cimento apresenta elevado potencial poluidor, tanto pelo processo de extração do calcário e argila quanto pela emissão de poluentes atmosféricos durante o processo produtivo, impactando nas mudanças climáticas.



COMO OCORRE A DESTRUIÇÃO TÉRMICA DOS RESÍDUOS NOS FORNOS

Os fornos de cimento reúnem as condições adequadas e necessárias para a destruição de resíduos por meio do coprocessamento.

- Altas temperaturas e longo tempo de residência.
- Alta turbulência dos gases.
- Ambiente alcalino e oxidante.
- Estabilidade térmica.
- Utilização de tecnologias e instalações existentes.
- Destruição total, sem geração de novos resíduos.

RESÍDUOS PASSÍVEIS DE COPROCESSAMENTO

Como combustíveis alternativos:

- 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

Como matérias-primas alternativas:

- 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 Escórias
- Resíduos da perfuração de poços de petróleo
- Solos contaminados dos postos de combustíveis

VANTAGENS DO COPROCESSAMENTO

- Eliminação definitiva, técnica ambientalmente segura dos resíduos.
- Substituição de recursos energéticos não renováveis por fontes alternativas de energia.
- Ferramenta para gestão de resíduos industriais ambientalmente sustentável.
- Preservação de jazidas, já que parte dos resíduos substitui a matéria-prima.
- Redução da pegada ambiental das atividades extrativas.
- Contribuição à saúde pública pela destruição total dos resíduos e no combate a focos de doença, como, por exemplo, aos mosquitos da dengue hospedados nos pneus velhos.
- Redução das emissões de CO₂.
- Geração de novos empregos.

ATIVIDADE SEGURA PARA O AMBIENTE E PARA A SAÚDE DO TRABALHADOR E DA COMUNIDADE

- Atendimento à legislação ambiental existente.
- Procedimento de aceitação e controle de resíduos.
- Garantia da qualidade do clínquer coprocessado.
- Garantia do processo produtivo.
- Controle e proteção da saúde do trabalhador.
- Sistemas de proteção ambiental como filtros de alta eficiência controlam a emissão de material particulado na atmosfera, além do monitoramento das

emissões de outros poluentes garantem proteção à comunidade e aos trabalhadores das áreas de processamento.

METODOLOGIA DO ESTUDO

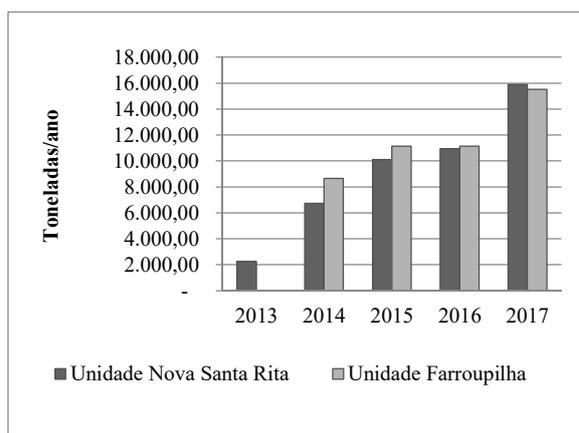
A consulta e coleta de dados foi realizada por meio de dados secundários disponibilizados pelo SIGECORS (Sistema de Gerenciamento e Controle dos Resíduos Sólidos Industriais), através das planilhas trimestrais de resíduos gerados pelas empresas licenciadas pela FEPAM/RS, no período de 2010 a 2017.

Além disso, foram obtidos dados referentes aos volumes enviados para coprocessamento no período de 2013 a 2017, através das unidades de pré-tratamento ou blendagem de resíduos, os quais contemplam os resíduos gerados de indústrias de todos os portes.

RESULTADOS

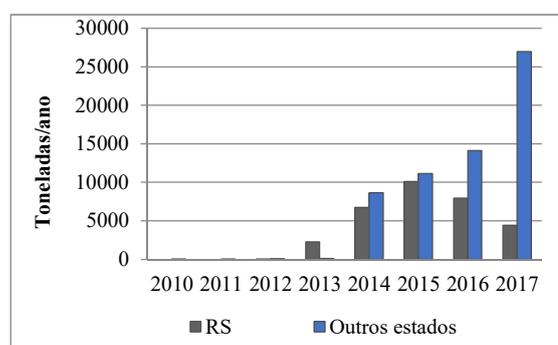
1) Quantidade total enviada para o coprocessamento

Desde o início das atividades nas unidades de blendagem no estado do RS, obteve-se o montante 92.358,74 toneladas de resíduos destinados para o coprocessamento no estado do RS e para outros estados no período de 2013 a 2017, apresentando evolução do volume de resíduos enviados para preparação de *blends* e posterior coprocessamento.



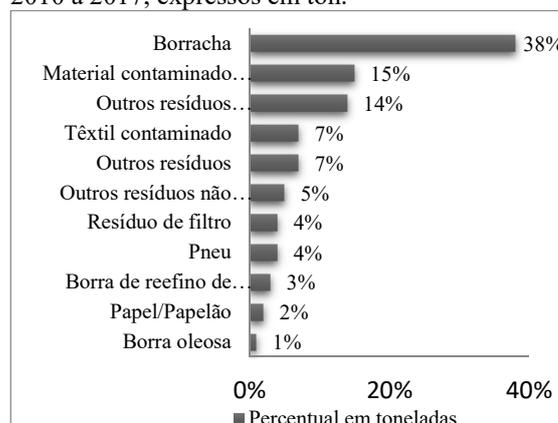
Com base nos dados do SIGECORS e das unidades de blendagem com destino ao coprocessamento no estado do RS e para outros estados, atingiu-se no período de 2010 a 2017, o montante de 92.611,02 toneladas de resíduos industriais destruídos em fornos de clínquer, ou seja, deixaram de ser dispostos em aterros industriais eliminando o passivo ambiental.

Comparando as quantidades totais anuais de resíduos em toneladas destinados ao coprocessamento no estado do RS e destinados para outros estados, observa-se a evolução da quantidade enviada para coprocessamento em fornos localizados em outros estados, a partir de 2014. O volume total de resíduos industriais enviados para coprocessamento no RS foi de 31.454 ton e para outros estados foi de 61.145 ton.

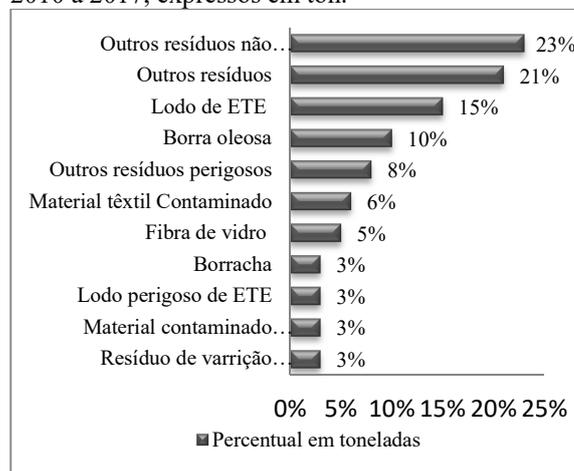


2) Resíduos com maiores percentuais enviados para o coprocessamento

Percentuais de resíduos destinados ao coprocessamento no estado do RS no período de 2010 a 2017, expressos em ton.

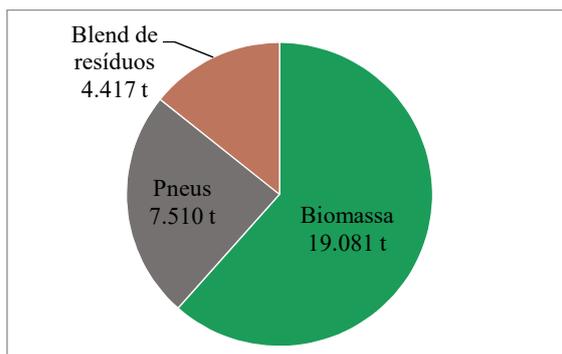


Percentuais de resíduos destinados ao coprocessamento para fora do estado no período de 2010 a 2017, expressos em ton.

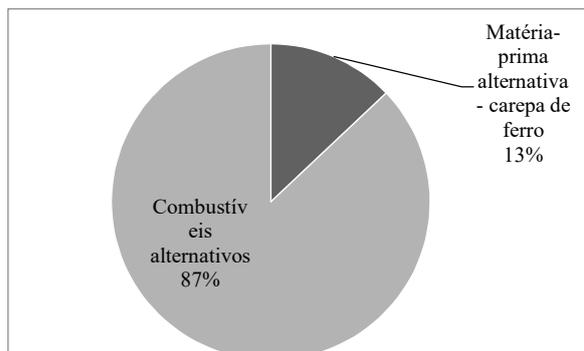


Em relação aos potenciais geradores dos resíduos enviados para coprocessamento, analisando as características físico-químicas dos mesmos, destaca-se a indústria mecânica, metalúrgica, química, dentre outras.

3) Substitutos de combustíveis fósseis, matérias-primas e biomassa coprocessadas no forno de clínquer de Candiota/RS em 2017



A utilização dos quantitativos desses resíduos substituíram 15.584,45 ton de combustível fóssil.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante o desafio da adequada gestão dos resíduos industriais e a redução dos riscos de acidentes por substâncias inflamáveis (incêndios) nos aterros industriais, percebe-se que a FEPAM/RS impulsionou o desenvolvimento e aplicação da tecnologia de coprocessamento no estado do RS, através da Portaria nº 16/2010, constituindo uma alternativa nobre e viável para resíduos com poder calorífico e dificuldade de reciclagem.

Ao analisar o panorama de coprocessamento do estado do RS, conclui-se que o período analisado apresentou crescimento significativo dos resíduos destinados ao coprocessamento desde a implantação das unidades de blendagem e de coprocessamento no estado, seja pela exigência da Portaria 016/2010

ou pela preocupação das empresas na destinação correta dos resíduos. Constatou-se ainda que as unidades de blendagem para coprocessamento estão localizadas estrategicamente nas proximidades de duas das regiões que mais produzem resíduos industriais no estado, a Capital e Serra Gaúcha, atendendo a demanda das empresas geradoras.

Na análise dos dados para esta pesquisa, foi possível observar que o SIGECORS possui diversos gargalos como: falta de inventários com dados fidedignos quanto à geração, tratamento e destinação final, visto que o responsável pelo preenchimento possui uma grande flexibilidade na forma de lançamento, devido ao sistema não exigir comprovantes de destinação e pela ausência de padronização das unidades de medida por resíduo. Em relação à destinação final foram informados diversos resíduos não passíveis de coprocessamento, como resíduos orgânicos, lâmpadas fluorescentes, sucatas metálicas, vidro, dentre outros que não foram considerados na análise. Esses dados não condizem com a realidade, pois nem passariam na avaliação de aceite para blendagem e coprocessamento e acabam gerando dificuldades no momento da interpretação e compilação dos dados.

Quanto aos benefícios da utilização do coprocessamento, conclui-se que os mesmos vão além da eliminação definitiva de resíduos industriais e passivo ambiental, redução do consumo de recursos não renováveis, economia de energia, redução do custo de produção de cimento, preservação de jazidas, diminuição de áreas de aterros e melhoria da saúde pública. A Agência Internacional de Energia constatou que o Brasil é referência mundial por apresentar os menores níveis de CO₂ por tonelada de cimento produzida, e o coprocessamento de resíduos tem sua contribuição nessa conquista.

Além disso, em relação ao aspecto social, observa-se a geração de empregos e novas oportunidades de negócios para a população local e impostos para os municípios onde as unidades de blendagem e de coprocessamento estão instaladas, particularmente em regiões onde existem poucas opções de desenvolvimento econômico, como é o caso de Candiota/RS.

No entanto, embora a legislação para a atividade seja mais rigorosa, o coprocessamento de resíduos no RS, demanda de mais estudos relacionados aos efeitos das emissões atmosféricas na saúde dos trabalhadores e comunidades do entorno da cimenteira.