

**INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE**  
**Pró-Reitora De Pesquisa, Pós-Graduação E Inovação.**  
**Mestrado Profissional Em Tecnologia E Ambiente**



**DISSERTAÇÃO**

**CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
PROVENIENTES DA INDÚSTRIA MOVELEIRA PARA COPROCESSAMENTO NA  
INDÚSTRIA CIMENTEIRA**

**CAMILA LUZIA RUFINO**

Araquari, 21 de outubro de 2022.

**CAMILA LUZIA RUFINO**

**CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
PROVENIENTES DA INDÚSTRIA MOVELEIRA PARA COPROCESSAMENTO NA  
INDÚSTRIA CIMENTEIRA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de concentração: Ciências Ambientais).

**Orientador: SUELLEN CADORIN FERNANDES**

Araquari, 21 de outubro de 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática do ICMC/USP, cedido ao IFC e  
adaptado pela CTI - Araquari e pelas bibliotecas do Campus de Araquari e Concórdia.

Rc Rufino, Camila Luzia  
Caracterização e valorização de resíduos sólidos  
provenientes da indústria moveleira para  
coprocessamento na indústria cimenteira / Camila  
Luzia Rufino; orientadora Suellen Cadorin Fernandes. -  
- Araquari, 2022.  
75 p.

Artigo (artigo) - Instituto Federal Catarinense,  
campus Araquari, , Araquari, 2022.

Inclui referências.

1. blendagem para coprocessamento. 2. poder  
calorífico. 3. teor de mercúrio. 4. teor de cloro. 5.  
economia circular. I. Fernandes, Suellen Cadorin.  
II. Instituto Federal Catarinense. . III. Título.

**Camila Luzia Rufino**

**CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
PROVENIENTES DA INDÚSTRIA MOVELEIRA PARA COPROCESSAMENTO NA  
INDÚSTRIA CIMENTEIRA.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense.

**Data da Defesa: 21 de outubro de 2022.**

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. SUELLEN CADORIN FERNANDES (Orientador)

Doutor em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Instituto Federal Catarinense (IFC)

Prof. Dr. LUCIANO LUIZ SILVA

Doutor em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECO

Prof. Dr. LEANDRO MARCOS SALGADO ALVES

Doutor em Engenharia dos Materiais pela Escola de Engenharia de Lorena  
Instituto Federal Catarinense (IFC)



---

*Emitido em 21/10/2022*

**DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS - CAMPUS ARAQUARI Nº 23/2022/2022 - CCPGTA (11.01.02.31)**  
**(Nº do Documento: 20)**

**(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

*(Assinado digitalmente em 21/11/2022 12:32)*

SUELLEN CADORIN FERNANDES  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
CGES/ARA (11.01.02.39)  
Matricula: ###774#2

Visualize o documento original em <https://sig.ifc.edu.br/documentos/> informando seu número: **20**, ano: **2022**, tipo:  
**DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS - CAMPUS ARAQUARI**, data de emissão: **21/11/2022** e o código de  
verificação: **84525bc31d**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Antonio Rufino e Dorotea Aguiar Rufino, que mesmo com todas as dificuldades a vista, sempre me incentivaram a continuar no caminho dos estudos e me proporcionaram privilégios dos quais estou cada vez mais consciente e ciente que devo devolvê-los à sociedade.

Agradeço também aos meus irmãos, Roseli Rufino e Douglas Jean Rufino que sempre me apoiaram a seguir nos estudos e principalmente por me escutarem em momentos de frustração.

Ao Vinicius Zunino, meu companheiro, por estar ao meu lado em todos os momentos desde o planejamento à execução deste trabalho, além de contribuir com sua escuta, suporte e auxílio em momentos de descrença e ansiedade.

Agradeço ainda mais à toda a equipe da Bioconsultoria Soluções Ambientais, da qual primeiro me ofereceu todo o suporte e auxílio na elaboração da dissertação e estudo das matérias, em especial a Amanda de Carvalho Gabardo e Fernando José da Conceição, líderes que me incentivaram e encorajaram durante todo o processo. Além de toda a equipe de suporte das indústrias cimenteiras que participaram das análises.

À Professora Suellen Cadorin Fernandes com toda a experiência e cuidado ao me auxiliar nos procedimentos e escuta e a todos do comitê do curso de Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente da área de concentração de Desenvolvimento de Processos e Tecnologias Ambientais do Instituto Federal Catarinense (IFC) – *Campus Araquari*.

Por fim, obrigada aos meus amigos e colegas, em especial Caroline Radoll Schlogl, Isabella Alessandra Branco e Matheus Pscheidt e a tantos outros que me fizeram acreditar em mim mesma durante o processo de elaboração do mesmo.

## RESUMO EM PORTUGUÊS

RUFINO, Camila Luzia. **Caracterização e Valorização de Resíduos Sólidos provenientes da Indústria Moveleira para Coprocessamento na Indústria Cimenteira**. 2022. 77. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2022.

Somente no estado de Santa Catarina, entre janeiro de 2020 e dezembro de 2021, foram produzidas 14.070.103,04 toneladas de resíduos sólidos industriais. O coprocessamento é uma tecnologia de destinação deste material em alternativa ao aterro industrial de forma a utilizar o resíduo como matéria prima e/ou combustível alternativo ao cimento introduzindo uma economia circular aos diversos processos. Porém, por questões de qualidade do produto, a indústria cimenteira, necessita de algumas medidas de controle, como teores de poder calorífico, cloro e mercúrio. Algumas indústrias intermediárias, chamadas de Unidades de Blendagem, realizam o preparo e mistura deste material e fazem o processo de controle da qualidade dos parâmetros necessários. Porém, devido à diversas características, nem todo resíduo pode ser utilizado na indústria cimenteira. Para o presente trabalho, uma Unidade de Blendagem, localizada no Planalto Norte de Santa Catarina foi utilizada de base para o estudo e, após uma pesquisa quantitativa e qualitativa dentro de seis indústrias moveleiras, foi possível considerar seis dos resíduos de maior geração e homogeneidade deste setor. Estes resíduos foram o pó de lustração, as cinzas de caldeira, as estopas contaminadas, lixas, mix de plásticos e o pó de tinta. Quatro misturas de resíduos foram realizadas para analisar o comportamento destes resíduos mesclados. As conclusões se deram que, partindo do ponto de legislação, o resíduo moveleiro cumpre todas as características necessárias, mas quando comparado a critérios internos das cimenteiras, o material moveleiro ainda pode ser melhorado misturando-se com outros de indústrias diversas.

**Palavras-chave:** blendagem para coprocessamento; poder calorífico; teor de mercúrio; teor de cloro; economia circular.

**Objetivos do Desenvolvimento Sustentável alcançados (ODSs):** 12. Consumo e Produção Sustentáveis.

## RESUMO EM INGLÊS

RUFINO, Camila Luzia. Characterization and evaluation of solid waste from the furniture industry for co-processing in the cement industry. 2022. “74”. Dissertation - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2022.

Only in the state of Santa Catarina, between January 2020 and December 2021, 14,070,103.04 tons of industrial solid waste were produced. Co-processing is a technology for disposing of this material as an alternative to industrial landfills in order to use the waste as a raw material and/or alternative fuel to cement, introducing a circular economy to the various processes. However, due to product quality issues, the cement industry needs some control measures, such as calorific value, chlorine and mercury levels. Some intermediary industries, called Blending Units, perform the preparation and mixing of this material and carry out the quality control process of the necessary parameters. However, due to several characteristics, not all waste can be used in the cement industry. For the present work, a Blending Unit, located in the North Plateau of Santa Catarina was used as a base for the study and, after a quantitative and qualitative research within six furniture industries, it was possible to consider six of the wastes with greater generation and homogeneity of this sector. These residues were polishing dust, boiler ashes, contaminated tow, sandpaper, plastic mix and paint dust. Four waste mixes were performed to analyze the behavior of these mixed wastes. The conclusions were that, starting from the point of legislation, the furniture waste fulfills all the necessary characteristics, but when compared to the internal criteria of the cement companies, the furniture material can still be improved by mixing with others from different industries.

**Keywords:** blending for co-processing; calorific value; mercury content; chlorine content; circular economy.

**Sustainable Development Goals achieved:** 12. Sustainable Consumption and Production.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Entradas e Saídas do processo produtivo da Indústria Moveleira. ....	19
Figura 2: Tecnologias de destinação final no Estado de Santa Catarina - Anos de 2020 e 2021 .....	21
Figura 3: Ranking de geração por Coordenadoria Regional no Estado de Santa Catarina - Anos de 2020 e 2021.....	22
Figura 4: Ranking de geração por Classe de Resíduo (As cinco maiores gerações) - Anos de 2020 e 2021. ....	23
Figura 5: Hierarquia de sustentabilidade no tratamento de resíduos. ....	26
Figura 6: Fluxograma de produção de uma Unidade de Blendagem. ....	28
Figura 7: Resíduo bruto proveniente do cliente x <i>Blend</i> de resíduos já processado. ....	28
Figura 8: Fluxograma de produção do cimento Portland. ....	30
Figura 9: Esquema de funcionamento dos equipamentos de formação do Clínquer. ....	32
Figura 10: Vias de entrada e saída do forno rotativo. ....	33
Figura 11: Incrustações provocadas por uso de cloro nos ciclones. ....	37
Figura 12: Cronologia da Legislação sobre Coprocessamento. ....	39
Figura 13: Amostras de resíduos da indústria moveleira. ....	44
Figura 14: Amostras de resíduos da indústria moveleira triturados. ....	45
Figura 15: Bomba Calorimétrica e Sistema do Calorímetro. ....	46
Figura 16: Titulador Potenciométrico.....	47
Figura 17: Espectrofotômetro de absorção atômica. ....	49
Figura 18: Modelo tridimensional de referência. ....	50
Figura 19: Curva de Calibração Espectrofotométrica. ....	53
Figura 20: Análise Tridimensional dos Resíduos Moveleiros.....	57
Figura 21: Relação dos parâmetros em gráficos bidimensionais. ....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sistema de Classificação dos Combustíveis Derivados de Resíduos .....	34
Tabela 2: Valores dos parâmetros de acordo com as legislações vigentes. ....	40
Tabela 3: Quantidade de Resíduos encaminhados para a UB por Indústria Moveleira em toneladas. ....	43
Tabela 4: Massa para determinação do PCS. ....	51
Tabela 5: Resultados de Poder Calorífico Superior nos resíduos analisados. ....	52
Tabela 6: Resultado de Cloro nos resíduos analisados. ....	52
Tabela 7: Resultado de Mercúrio nos resíduos analisados. ....	53
Tabela 8: Comparação da medição de PCS com a média matemática do <i>Blend 1</i> .....	59
Tabela 9: Comparação da análise da porcentagem de cloro com a média matemática do <i>Blend 1</i> . ....	60
Tabela 10: Comparação da medição de PCS com a média matemática do <i>Blend 2</i> .....	60
Tabela 11: Comparação da análise da porcentagem de cloro com a média matemática do <i>Blend 2</i> . ....	61
Tabela 12: Comparação da medição de PCS com a média matemática do <i>Blend 3</i> .....	61
Tabela 13: Comparação da análise da porcentagem de cloro com a média matemática do <i>Blend 3</i> . ....	62
Tabela 14: Comparação da medição de PCS com a média matemática do <i>Blend 4</i> .....	62
Tabela 15: Comparação da análise da porcentagem de cloro com a média matemática do <i>Blend 4</i> . ....	63

## **LISTA DE SIGLAS**

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ACR	Associação Catarinense de Empresas Florestais
CDR	Combustível Derivado de Resíduo
CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CODAM	Coordenadorias de Desenvolvimento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IMA	Instituto do Meio Ambiente
MTR	Manifesto de Transportes de Resíduos
PC	Poder Calorífico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
UB	Unidade de Blendagem

## SUMÁRIO

RESUMO EM PORTUGUÊS .....	5
RESUMO EM INGLÊS .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE SIGLAS.....	9
SUMÁRIO.....	10
1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 HIPÓTESE.....	15
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Objetivo geral .....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1 INDÚSTRIA MOVELEIRA .....	17
2.1.1 Etapas de Produção e Geração de Resíduos da Indústria Moveleira.....	18
2.2 PANORAMA DE GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	20
2.2.1 Panorama Catarinense .....	20
2.2.2 Panorama Regional.....	21
2.2.3 Resíduos Gerados no Estado .....	23
2.3 COPROCESSAMENTO.....	24
2.4 UNIDADES DE BLENDAGEM.....	26
2.5 INDÚSTRIA CIMENTEIRA .....	29
2.5.1 Pré-aquecedor .....	32
2.5.2 Pré-calcinador.....	32
2.5.3 Forno Rotativo.....	33
2.6 COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUOS (CDR) .....	34
2.6.1 Poder Calorífico.....	35

2.6.2	Cloro.....	36
2.6.3	Mercúrio .....	37
2.7	LEGISLAÇÕES ESTADUAIS E BRASILEIRAS REFERENTES ao COPROCESSAMENTO.....	38
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
3.1	DETERMINAÇÃO DA AMOSTRA .....	42
3.2	PREPARAÇÃO DA AMOSTRA.....	44
3.3	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS.....	45
3.3.1	Poder Calorífico.....	45
3.3.2	Cloro.....	47
3.3.3	Mercúrio .....	48
3.4	TRATAMENTO DOS DADOS .....	49
3.5	ANÁLISE PELO MODELO TRIDIMENSIONAL .....	50
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	51
4.2	ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	51
4.2.1	Poder Calorífico Superior.....	51
4.2.2	Cloro.....	52
4.2.3	Mercúrio .....	53
4.3	ANÁLISE INDIVIDUAL.....	54
4.3.1	Serragem contaminada .....	54
4.3.2	Cinzas de Caldeira .....	54
4.3.3	Estopas Contaminadas.....	55
4.3.4	Lixas.....	55
4.3.5	Mix de Plásticos.....	56
4.3.6	Pó de Tinta.....	56
4.4	ANÁLISE PELO MODELO TRIDIMENSIONAL .....	57

4.5	ANÁLISE DO BLEND DOS RESÍDUOS ANTERIORMENTE CITADOS .....	59
4.5.1.	Mistura contendo 50% de pó de tinta e 50% de cinzas de caldeira .....	59
4.5.2.	Mistura contendo 50% de serragem contaminada e 50% de lixas .....	60
4.5.3.	Mistura contendo 25% de serragem contaminada, 25% de plásticos e 50% de cinzas de caldeira .....	61
4.5.4.	Mistura contendo 25% de lixas, 25% de serragem contaminada e 50% de cinzas de caldeira.....	62
4.6	BASE DE DADOS COM OS RESULTADOS ATINGIDOS .....	63
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	64
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
7.	APÊNDICES .....	74

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de produtos diversos no país tem gerado um número crescente de resíduos per capita, entre embalagens, componentes e outros, ainda, insumos industriais, acabam desperdiçados quando descartados sem destinação ambientalmente adequada (SZIGETHY; ANTENOR, 2020). O setor industrial, portanto, é um grande contribuinte para a geração de resíduos e escassez de recursos naturais, já que este alto consumo e produção significam também alta taxa de descarte de materiais antes mesmo do fim de sua vida útil.

Só no estado de Santa Catarina, no ano de 2021, 7.780.997,78 toneladas de resíduos sólidos industriais (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2021). Diante de valores como este, há diferentes tecnologias que podem ser utilizadas para o tratamento e/ou disposição final destes resíduos, mas diferente do aterramento, medidas que buscam uma economia circular e a reinserção destes na produção de novos insumos estão sendo cada vez mais empregados devido à preocupação ambiental atual.

Assim, a tecnologia de coprocessamento vem se instituindo no Brasil por se demonstrar ser a destinação ambiental e social mais adequada para os resíduos industriais (FIN et al., 2018). Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2011) a atividade teve início na década de 90 no Brasil, nas regiões Sul e Sudeste, tendo sido regulamentada pelos órgãos ambientais do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Minas Gerais e, em âmbito nacional, pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 264/99.

Segundo a Resolução CONAMA 264 (1999) o coprocessamento é o processo de valorização de resíduos sem valor comercial, que consiste na recuperação e reciclagem para fins de uso no processo de produção do clínquer, pré produto do cimento Portland. Essa valorização pode ser descrita como uma mistura de diferentes tipos de resíduos nas centrais de blendagem a fim de produzir uma mistura (*blend*) de alto padrão. O *blend* formado é então utilizado em fornos da indústria cimenteira como combustível fóssil e/ou matéria-prima.

O cimento é fabricado com 20-25% de argila e 75-80% de calcário. Este último é constituído basicamente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e impurezas, tais como magnésio, silício, alumínio e ferro (SELLITTO et al., 2013). Portanto, se o resíduo possuir tais elementos em sua composição, após alimentar o forno, suas cinzas podem ser utilizadas ainda como matéria-prima misturando-se ao clínquer.

Segundo Araújo (2020) as fontes tradicionais de energia na fabricação de clínquer de cimento são combustíveis fósseis como carvão e petróleo. O uso destes combustíveis é a

principal causa de a indústria do cimento ser uma das mais poluidoras atualmente. Devido à utilização intensiva de combustíveis fósseis esta indústria responde por cerca de 5% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (SELLITTO et al., 2013). Assim, o uso de combustíveis alternativos, que é o caso de resíduos industriais de alto Poder Calorífico (PC), pode contribuir para a diminuição dessa taxa, além de reduzir a extração dos de origem fóssil e minimizar os impactos ambientais da disposição deste tipo de resíduo em aterros.

Características como PC e teor de cloretos, fluoretos e umidade são essenciais para a determinação de um bom combustível alternativo. Segundo Pereira (2017) quanto menor os teores de cloretos e fluoretos nos resíduos, menor será o índice de manutenção no forno por incrustação destas substâncias nas paredes refratárias. Já quanto maior o PC, melhor será seu aporte energético no forno. O mercúrio também é um agente importante visto que é fonte de contaminação dos rios e a sua queima e incineração promove sua volatilização (RIBEIRO; VIEIRA, 2004).

O coque de petróleo é a principal fonte de combustível para a produção de cimento. Entretanto, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2020) existem diversos resíduos que podem ser utilizados como combustível para o coprocessamento como: solventes, resíduos oleosos e têxteis, óleos usados (de carro e fábricas), pneus, graxas, resíduos de empacotamento e de borracha, resíduos plásticos, de serragem e de papel, lama de esgoto, entre diversos outros.

Já as matérias-primas utilizadas para produção do cimento são o calcário (94%) a argila (4%) e quantidades de ferro e alumínio em uma porcentagem de 2%. Assim, os resíduos que são possíveis de utilização como matérias-primas são: lamas siderúrgicas, areia de fundição, refratários, solos contaminados de postos de combustível e entre outros (ABCP, 2020).

Portanto, é visto a diversidade de resíduos que pode ser utilizada para a tecnologia de coprocessamento, porém também existem aqueles que não devem ser utilizados devido a sua periculosidade ou até mesmo por não obter estudos suficientes que garantam a segurança do processo. Resíduos domiciliares brutos, de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins não podem ser utilizados para a atividade de coprocessamento (CONAMA, 1999).

Segundo a ABCP (2017) dos substitutos de combustíveis fósseis destacam-se atualmente os pneus inservíveis e o *blend*, além de serragens impregnadas com óleos, solos



contaminados e solventes. Já as matérias-primas alternativas ressaltam-se o cavaco de madeira não impregnada e lamas de tratamento de esgoto.

Sendo assim, os resíduos industriais estão se tornando o grande diferencial do segmento. Segundo a ABCP (2017) até 2050 os resíduos, sendo eles industriais e urbanos, irão se igualar ao coque de petróleo, tornando-se um ótimo combustível alternativo para a produção de cimento no Brasil.

Visto o potencial da tecnologia e os resíduos já utilizados, faltam estudos que busquem aqueles vindos de outros segmentos industriais. Sendo assim, a presente pesquisa procura identificar se resíduos advindos do polo moveleiro do estado de Santa Catarina possuem potencial calorífico com poucas impurezas que podem ser inseridas no processo de fabricação do cimento de modo a serem incorporados com garantias de segurança e qualidade do seu processo de fabricação.

## 1.1 HIPÓTESE

A pesquisa visa analisar algumas das substâncias presentes nos resíduos sólidos advindos da indústria moveleira (dentre tintas, cinzas, estopas e outros), e considerando o coprocessamento uma tecnologia altamente crescente, a hipótese levantada é que: tais resíduos possuem alta viabilidade para o uso no processo devido ao seu alto poder calorífico e presença de mercúrio e de cloro pouco significativa que prejudique a operação do forno na indústria cimenteira ou traga riscos ambientais no seu entorno.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar os principais parâmetros físico-químicos dos resíduos advindos da indústria moveleira e identificar se possuem características favoráveis para a tecnologia de coprocessamento.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os parâmetros físico-químicos dos resíduos a fim de determinar os níveis de cloro, mercúrio e poder calorífico superior dos resíduos da indústria moveleira;

- Comparar tais parâmetros dentro das legislações pertinentes e parâmetros de qualidade das indústrias cimenteiras;
- Apresentar um *blend* de resíduos com as melhores proporções dos resíduos estudados;
- Criar um modelo gráfico de fácil entendimento das características destes resíduos, do qual possa ser implementado em treinamentos com os funcionários dentro das unidades de blendagem e assim criar procedimentos de misturas homogêneas deste material;
- Analisar se os resíduos das indústrias moveleiras do planalto norte catarinense são considerados de grande valia comercial para a tecnologia de coprocessamento e implementar o processo de economia circular neste ramo da indústria no planalto norte de Santa Catarina.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreender a importância do estudo dentro da região de pesquisa é necessário entender o cenário de geração e destinação dos resíduos sólidos no estado de Santa Catarina, além dos setores industriais da região que são responsáveis por esta geração.

Sendo assim, o estudo buscou focar em somente um setor industrial para inicialmente compreender as demandas dele, e assim, utilizar as devidas técnicas, posteriormente nas demais indústrias da região, para concluir se há ou não a viabilidade de utilização de seus resíduos para a tecnologia de coprocessamento dentro de indústrias cimenteiras.

Por isso, o setor moveleiro do planalto norte catarinense foi o escolhido devido as características econômicas e produtivas da região em que está localizada a Unidade de Blendagem (UB) que é o objeto de estudo e, por principalmente, ser um polo industrial desse segmento na região.

### 2.1 INDÚSTRIA MOVELEIRA

De acordo com Moreira e Santos Filho (2020, p.15) o setor moveleiro do Brasil, no ano de 2017, era composto por 19,6 mil empresas, ocupando 268,9 mil pessoas em empregos diretos e indiretos. As empresas de móveis de madeira representam 85% do total de empresas do setor no Brasil, sendo que 41% destas se localizam na região Sul e 37% na região Sudeste (PRADO, 2020 apud MOREIRA; SANTOS FILHO, 2020).

Assim, Santa Catarina possui uma importante representatividade no setor em nível nacional, muito compreendida pelo polo moveleiro formado pelas cidades de Campo Alegre, Rio Negrinho e São Bento do Sul. Este último contendo 14,6% das unidades produtoras, 34,5% do pessoal ocupado pelo setor e 23,6% da produção no Estado (MOREIRA; SANTOS FILHO, 2020). De acordo com Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR) (2019) estes municípios ainda corroboram com a balança comercial estadual ao destinar grande parte de sua produção ao mercado internacional.

Devido à grande importância do setor moveleiro na região onde a UB está localizada, cerca de 35% dos resíduos destinados a ela são provenientes das indústrias moveleira, e por isso, houve a necessidade de caracterizar primeiramente os resíduos desse setor industrial de acordo com as características necessárias para coprocessamento dentro das indústrias cimenteiras para que, posteriormente, possa replicar o estudo com os demais setores importantes da região, como metalúrgico, cerâmico e de vestuário.

### **2.1.1 Etapas de Produção e Geração de Resíduos da Indústria Moveleira**

Há diversas etapas de produção dentro de uma indústria moveleira e algumas delas podem ser terceirizadas, porém de forma geral, o fluxo produtivo de uma indústria de móveis está destacado nas fases a seguir.

A recepção e armazenamento são o início do processo que consiste com a chegada, descarregamento e armazenamento da matéria prima, que pode ser madeira bruta, painéis de madeira reconstituída, placa de fibra de média densidade (MDF) ou painel de partículas de baixa densidade (MDP).

A preparação é a etapa de pré-corte do material conforme as especificações do móvel a ser trabalhado e a usinagem é o processo onde estas peças são trabalhadas com maior detalhamento. É nesta etapa que o produto é trabalhado de acordo com as medidas de cada projeto e os resíduos desta etapa podem ser as maravalhas, pó de MDF e restos de fita de borda (LOPES; FRITSCH; MEES, 2015). Segundo Maffessoni (2012) a usinagem faz parte de uma das etapas básicas de formação de um móvel e é compreendida pelos processos de serramento, fresamento e furação.

O lixamento é o processo de preparo da peça para receber a pintura de modo que a mesma não obtenha nenhum tipo de rebarba que possa ser salientado posteriormente. Normalmente este processo é realizado por máquinas do tipo plaina e os resíduos provenientes desta etapa são o pó de lixação e serragem (KOCH, 2012).

O processo de pintura pode ser realizado de diversas formas, porém as mais comuns são a manual, por pistola e a ultravioleta (UV). Os processos de pintura ocorrem com a utilização de variados compostos químicos. Estes compostos podem ser verniz, tingidor, thinner, primer, fundo, diluente, selante e, principalmente, o solvente e como resíduos dessa etapa há a geração de efluentes de solvente misturados com esses materiais (LOPES; FRITSCH; MEES, 2015).

O processo de secagem pode ser realizado de forma natural ou artificial. No primeiro caso a secagem é feita ao ar livre e no segundo são utilizadas câmaras isoladas do ambiente externo, conhecidas como secadores ou estufas (MELO, 2005). Geralmente, após esse processo são descartados plásticos e papelão contaminados com tintas e vernizes utilizados na etapa anterior de pintura.

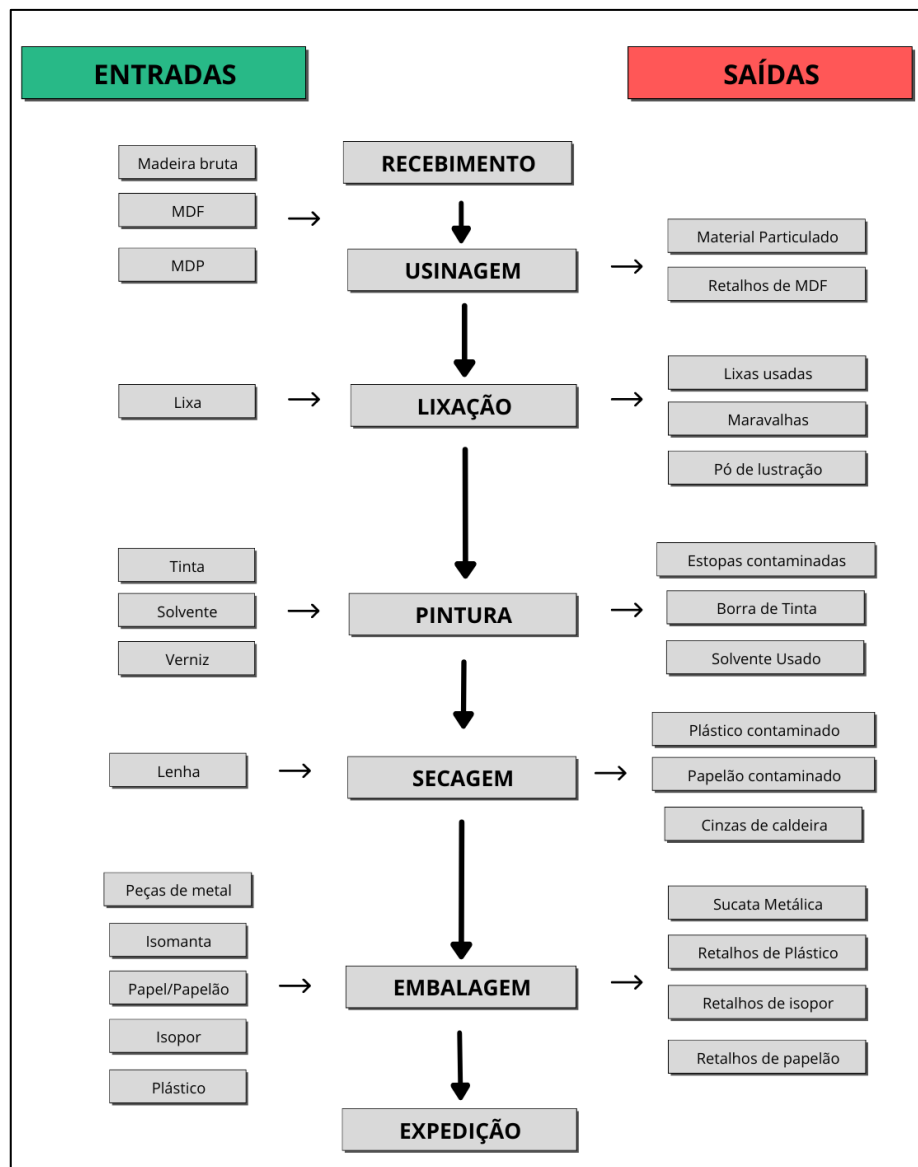
A embalagem é o processo responsável por garantir o acondicionamento do móvel de forma a não danificar o material, por isso, plásticos, isopor, fitas e papelão são utilizados para

proteger as peças. Durante esse processo, os resíduos sólidos gerados são embalagens de cola, sacos plásticos, restos de isopor e papelão.

Como etapa final do processo de uma indústria moveleira há o envio do material. A expedição se realiza depois do produto acabado ser vendido e devidamente embalado, deixando esse produto preparado para seu envio ao cliente (GIMENES et al., 2020).

Assim, a Figura 1 identifica o processo produtivo descrito acima conforme as matérias-primas utilizadas e os resíduos sólidos gerados em cada etapa de uma indústria moveleira.

**Figura 1:** Entradas e Saídas do processo produtivo da Indústria Moveleira.



FONTE: Adaptado de Lopes, Fritsch, Mees (2015).

## 2.2 PANORAMA DE GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Visto a importância do setor moveleiro na região de estudo e a alta diversidade dos resíduos gerados, é necessário entender a tecnologia de destinação utilizada pelas indústrias, tanto no estado de Santa Catarina quanto nos municípios do Planalto Norte Catarinense que compreendem este polo industrial moveleiro. Assim, é possível destacar importantes dados para o estudo, muito devido a escalabilidade da tecnologia na região. Por isso, o panorama de geração e destinação de resíduos do estado de Santa Catarina e o da região compreendida pela UB é destacado nos itens a seguir.

### 2.2.1 Panorama Catarinense

O Instituto do Meio Ambiente (IMA) de Santa Catarina oferece resultados mensais da geração e destinação dos resíduos promovidos pelo sistema de Manifesto de Transportes de Resíduos (MTR) do estado. Com estes boletins foi possível identificar a geração de resíduos por tonelada e as tecnologias de destinação mais utilizadas em Santa Catarina para assim identificar a relevância do estudo.

O IMA realiza a liberação dos dados de duas formas diferentes, a primeira relata os valores totais de geração e destinação (em toneladas), tecnologia de destinação (porcentagem), e total de cadastros de geradores, destinadores, emissão de MTRs e de armazenadores temporários. Já a segunda forma de divulgação é por meio da geração e destinação (em toneladas) das Coordenadorias de Desenvolvimento Ambiental (CODAM), sendo que no momento há dezesseis divisões delas pelo estado.

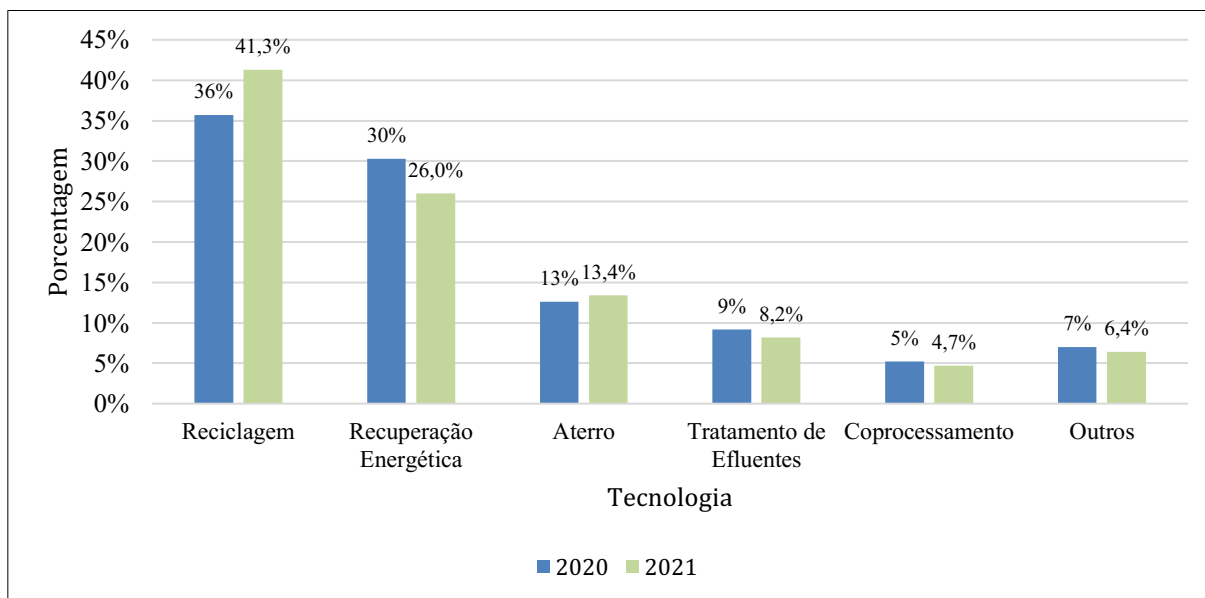
No mês de dezembro de 2021 havia o cadastro de 72.956 geradores, sendo que estes podem ser pessoas físicas e jurídicas que geram resíduos e de 3.390 empresas destinadoras, que obrigatoriamente devem oferecer alguma tecnologia de destinação final ou tratamento dos resíduos recebidos.

O MTR, documento obrigatório para o transporte de resíduos industriais e gerado pelo sistema do IMA no estado de SC, relata o tipo de resíduo de acordo com sua classe e código definido pela Lista Brasileira de Resíduos Sólidos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), além de constar o transportador, a tecnologia de destinação final e o armazenamento utilizado. Só no Estado de Santa Catarina, havia uma média mensal de 86.599 documentos emitidos no ano de 2020 e de 99.649 em 2021.

Ao todo, no estado de SC houve a geração de 6.289.105,26 toneladas de resíduos em 2020 e de 7.780.997,78 em 2021.

A partir destes documentos, foi possível fazer o levantamento das tecnologias mais utilizadas em SC o que gerou o gráfico representado na Figura 2, que compreende os anos de 2020 e 2021.

**Figura 2:** Tecnologias de destinação final no Estado de Santa Catarina - Anos de 2020 e 2021



**FONTE:** IMA (2021).

Com a figura acima, é possível identificar que a tecnologia de destinação mais utilizada é ainda a reciclagem, compreendendo mais de um terço da destinação de resíduos no estado. Já o coprocessamento ocupa a 5ª posição e a blendagem para coprocessamento menos que isto, visto que os dados disponibilizados como outros estão inseridos a ela juntamente com tecnologias como compostagem, incineração, uso agrícola e outras.

Sendo assim, a tecnologia de coprocessamento de resíduos juntamente com a pré- etapa de blendagem possuem alta possibilidade de amplitude dentro de Santa Catarina, já que pode ser considerada uma tecnologia alternativa ambientalmente adequada ao aterro, que ocupa o terceiro lugar no ranking das tecnologias de destinação mais utilizadas do estado.

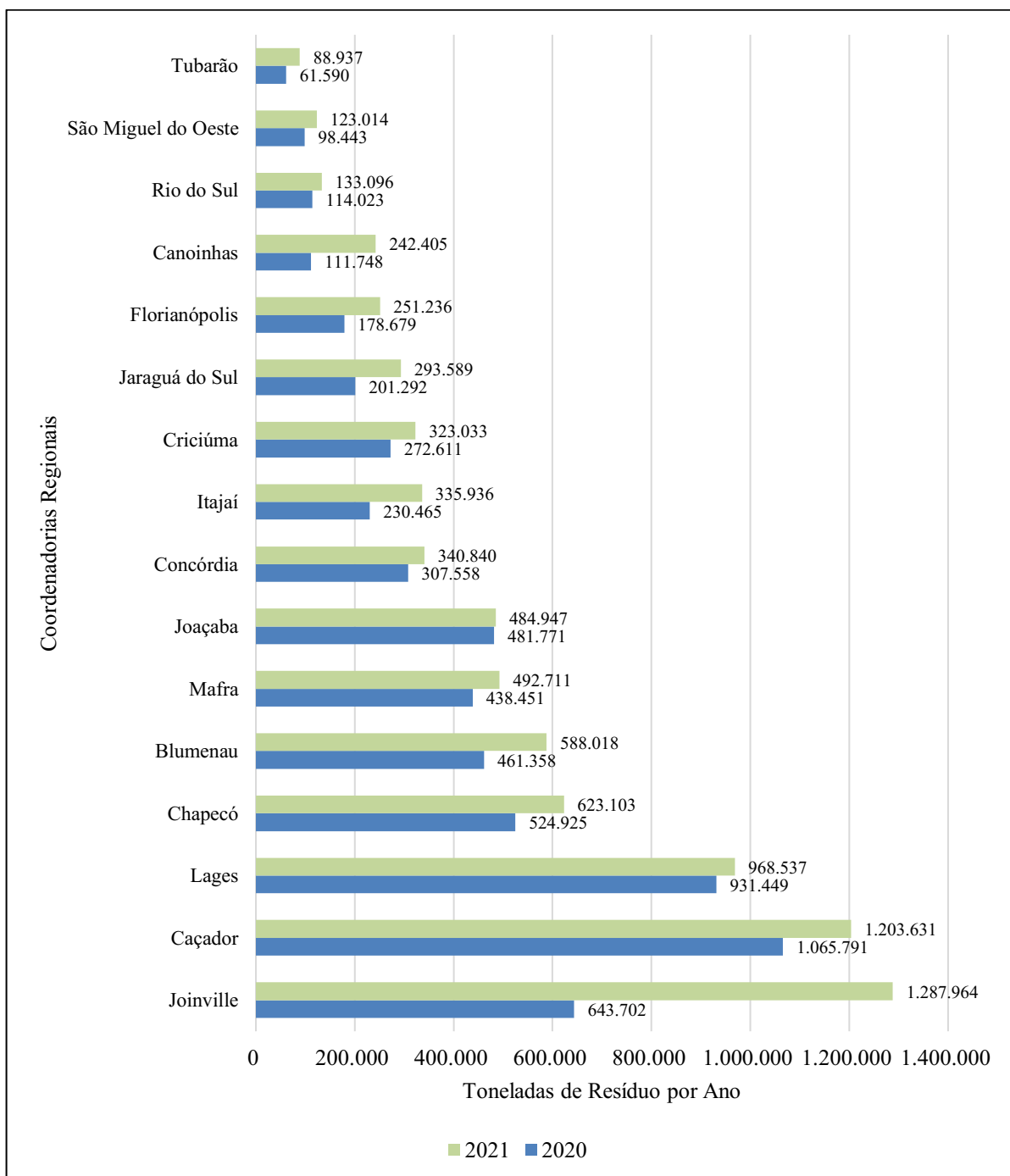
## 2.2.2 Panorama Regional

Como visto anteriormente, a UB atende principalmente a região do Planalto Norte Catarinense, pois é onde está se encontra localizada. Essa região compreende a Coordenadoria de Desenvolvimento Ambiental (CODAM) de Mafra do IMA de SC que abrange os três

municípios compreendidos pelo presente estudo juntamente com os de Mafra, Itaiópolis, Papanduva e Monte Castelo.

Ainda com os dados oferecidos pelo boletim mensal foi possível identificar que dentre as dezesseis regiões, a de Mafra é responsável por gerar um total de 438.451,95 e 492.771,38 toneladas de resíduos nos anos de 2020 e 2021, cumprindo as posições de sétimo e sexto lugar no ranking de geração do estado, respectivamente, como demonstra a Figura 3.

**Figura 3:** Ranking de geração por Coordenadoria Regional no Estado de Santa Catarina - Anos de 2020 e 2021.



FONTE: IMA (2022).



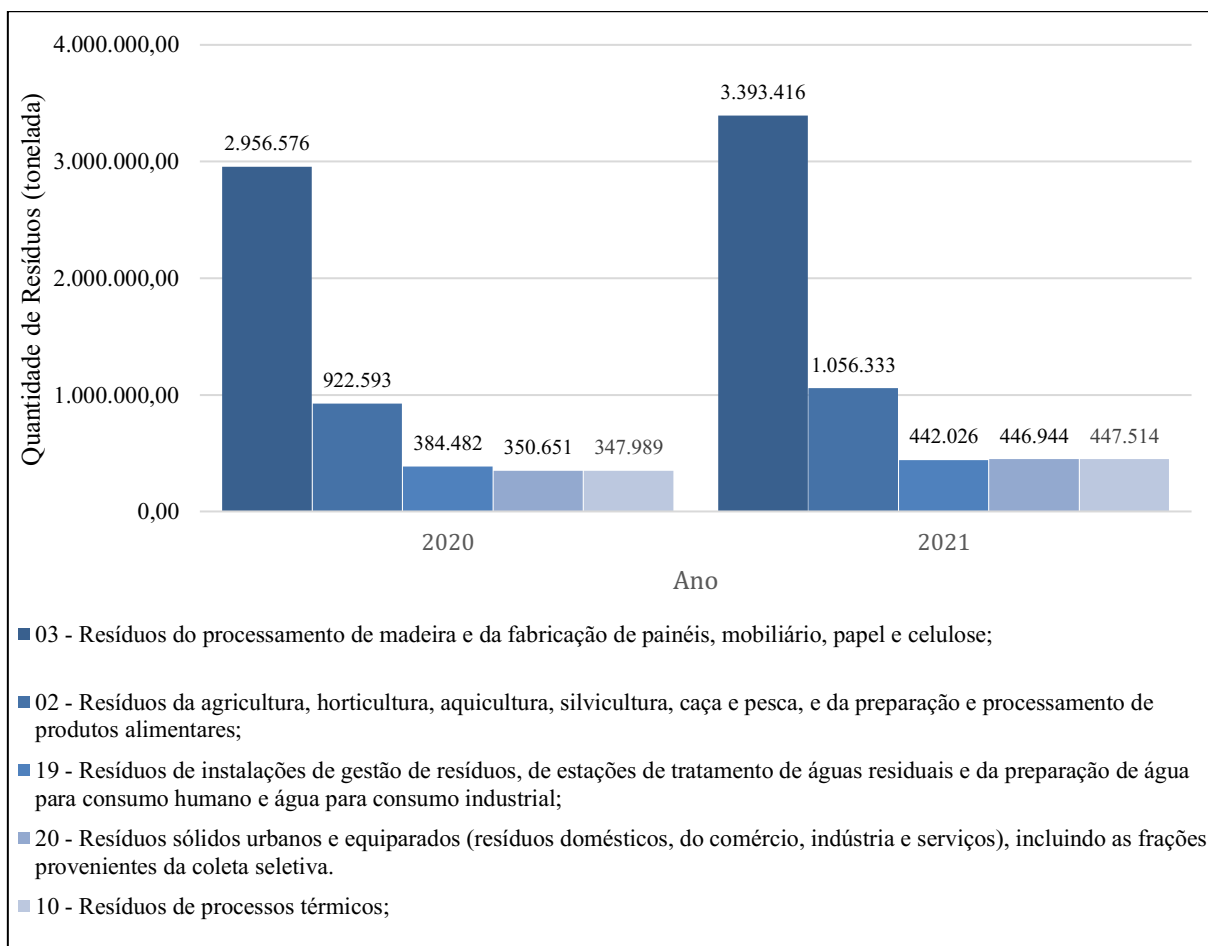
Portanto, a região de estudo, se mostra mais uma vez com alto potencial de geração de resíduos, o que reafirma a busca de novas tecnologias de destinação e aproveitamento destes resíduos.

### 2.2.3 Resíduos Gerados no Estado

Ainda pela análise dos boletins mensais disponibilizados pelo IMA foi possível identificar a porcentagem dos resíduos provenientes do processamento da madeira e da fabricação de painéis, mobiliário, papel e celulose, resíduos objeto de estudo da presente pesquisa.

Dentre os dez resíduos mais gerados no estado de Santa Catarina, os resíduos provenientes de indústrias do processamento da madeira se encontram na primeira posição, compreendendo uma porcentagem média de 48,28% e 43,61% nos anos de 2020 e 2021, respectivamente, como demonstra a Figura 4.

**Figura 4:** Ranking de geração por Classe de Resíduo (As cinco maiores gerações) - Anos de 2020 e 2021.



FONTE: IMA (2022).

Conforme o gráfico acima destaca, devido à alta geração de resíduos do setor de mobiliário, há a necessidade e viabilidade de estudos que destaquem múltiplas tecnologias de destinação, além das convencionais como reciclagem e aterro. Pensando-se nisso, o coprocessamento pode ser esta alternativa.

### 2.3 COPROCESSAMENTO

Como visto, a destinação de resíduos é um grande problema ambiental devido à natureza nociva que pode possuir no meio ambiente. Os aterros vieram com este propósito e problemática e foi aí que surgiu a preocupação de disposição e/ou tecnologias alternativas adequadas dos resíduos considerados perigosos.

Assim, segundo Santos (2020), novas formas de destinação foram buscadas, e uma delas foi a incineração, que eliminava grandes volumes do material indesejado, porém o investimento para instalar as plantas de incineração e a necessidade de destinar as cinzas se tornou desinteressante. Foi então que o coprocessamento começou a ser uma importante alternativa.

Segundo Maringolo (2001, p.4), coprocessamento é o processo que expressa a integração de dois processos em um, a utilização da manufatura industrial de um produto a altas temperaturas em fornos, fornalhas ou caldeiras, e a destruição de resíduos industriais.

O coprocessamento está ligado à conservação e racionalização do uso de recursos minerais e energéticos não-renováveis, através do reaproveitamento de resíduos. Porém, de acordo com Maringolo (2001) ainda é necessário a manutenção da qualidade do cimento Portland, pois interessa ao produtor e consumidor que o produto atenda às especificações normativas.

Há muitas contradições entre as diferenças entre coprocessamento e incineração. Segundo Brunner (1993), Dempsey e Oppelt (1995) e Niessen (1995) citados por Meystre e Silva (2013) os fornos de cimento geralmente têm temperaturas mais altas e tempos de residência mais longos do que os incineradores de resíduos.

Porém, de acordo com Cavalli (2015), o coprocessamento é um processo de incineração. Assim, pode-se entender que o coprocessamento é o processo de destruição térmica de resíduos de forma que as cinzas resultantes deste processo ainda sejam incorporadas num produto, deste modo todo o material considerado perigoso do início da operação torna-se inerte.

Resumidamente, o coprocessamento traz um valor agregado ao resíduo processado, e ainda, traz uma solução para as cinzas resultantes do processo.

Porém Maringolo (2001) discorda desta definição ao dizer que as legislações, ao exigirem que o coprocessamento agregue valor ao resíduo, de forma a utilizar aqueles que possuam alto PC, fornecendo assim, recuperação energética ao invés de somente destruí-lo, já não configura o forno rotativo como incinerador.

Os primeiros indícios de utilização de resíduos industriais para a produção de cimento foram datados nos anos 70, no Canadá. Os primeiros testes na Europa foram realizados em 1978 e nos EUA em 1979 (MARINGOLO, 2001). Após esse período, diversos países começaram a investir em coprocessamento de forma a substituir os combustíveis tradicionais como coque de petróleo, carvão, óleo combustível e gás natural.

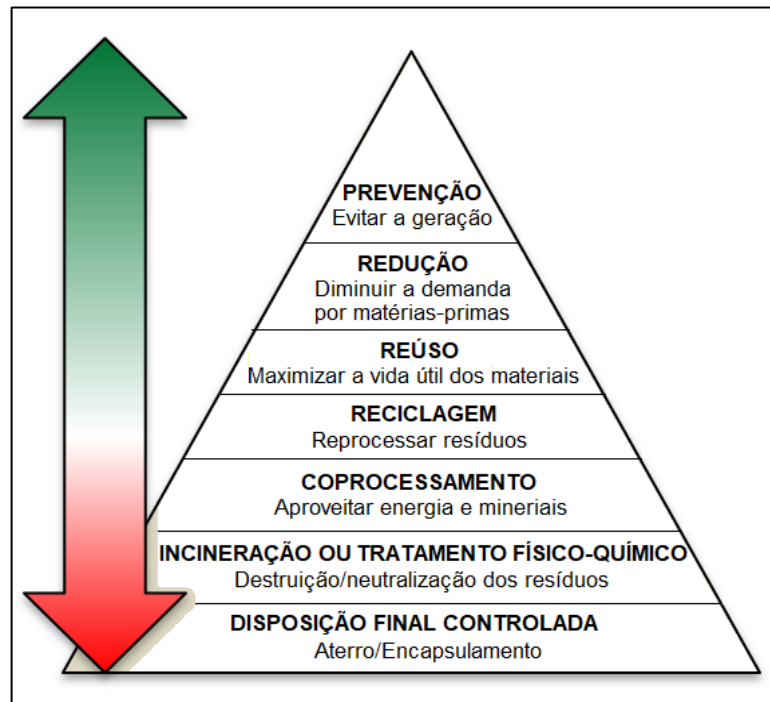
Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2020) na década de 70, as crises do petróleo que resultaram na elevação dos preços internacionais do mesmo levaram o Governo Federal a buscar soluções para conter a importação de petróleo e derivados, dos quais o Brasil era altamente dependente. Isto impulsionou novas tecnologias que reduzissem as emissões de carbono, porém, o coprocessamento começou a ser implementado com maiores demandas no Brasil apenas quase duas décadas depois.

As atividades de coprocessamento de resíduos industriais iniciaram-se no Brasil na década de 90, no Estado de São Paulo, estendendo-se posteriormente para o Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais (CAVALCANTI, 1996; CO- PROCESSAMENTO, 1995; COPROCESSAMENTO, 1998 apud MARINGOLO, 2001).

Em 1997, foram coprocessados na União Europeia mais de 400.000 toneladas de pneus inservíveis (OFICEMEN, 1998 apud MARINGOLO, 2001), número este que até 2019 o Brasil não tinha alcançado para o mesmo tipo de resíduo. Segundo ABCP (2020), em 2019, atingiu-se o patamar de 1.466 milhões de toneladas de resíduos coprocessados no país. Estes dados demonstram um crescimento da tecnologia no Brasil, porém ainda não comparável com a utilizada na Europa e América do Norte.

Portanto, dentro da hierarquia de disposição dos resíduos industriais proposta pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) segue a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Assim, o coprocessamento se qualifica como uma tecnologia antecessora à disposição de resíduos em aterros e à incineração, como demonstra a Figura 5, o que destaca a importância de estudos destinados a esta tecnologia no país.

**Figura 5:** Hierarquia de sustentabilidade no tratamento de resíduos.



**FONTE:** Kihara (2009) apud Pereira (2017).

Ao longo de todo esse processo, há diversas vantagens ambientais ao se utilizar esta tecnologia, mas ainda pode-se citar a geração de empregos indiretos proporcionados por indústrias terceirizadas que preparam o combustível, no caso os resíduos perigosos, para que posteriormente sejam encaminhados para as indústrias cimenteiras. Estas indústrias são chamadas de Blendeiras ou Unidades de Blendagem (UB).

## 2.4 UNIDADES DE BLENDAGEM

Com o objetivo de obter o produto enviado para a indústria cimenteira, existem indústrias intermediárias, receptoras de resíduos que formam o combustível para a fabricação do clínquer.

As UB formam um produto, que é o resultado de uma soma de resíduos industriais e que apresentam características que podem contribuir como fontes substitutas de matéria-prima ou combustível nos fornos de produção de cimento (SANTOS, 2020).

A blendagem visa criar uma mistura de diversos resíduos, provenientes de atividades industriais. Estes resíduos primários são descaracterizados por meio de trituração na maioria das blendeiras de forma a possuir uma menor granulometria e garantir maior facilidade de destruição dentro da indústria cimenteira. Além da granulometria, resíduos metálicos e

propriedades como umidade e PC podem ser contabilizadas na própria UB, de forma a quantificar e retirar possíveis complicações no processo de produção do cimento advindas dos diversos tipos de resíduos sólidos recebidos.

A UB que serviu como estudo para a presente pesquisa está localizada no município de São Bento do Sul, no planalto norte do estado de Santa Catarina.

O processo de blendagem se inicia nas indústrias primárias, sendo elas de diversos setores como moveleiras, metalúrgicas, mecânicas e outras. O resíduo produzido por elas é armazenado em tambores e/ou caçambas próprias para o transporte de resíduos contaminados. Quando agendada a coleta do resíduo, o transportador retira o material do cliente e encaminha o resíduo bruto para a UB.

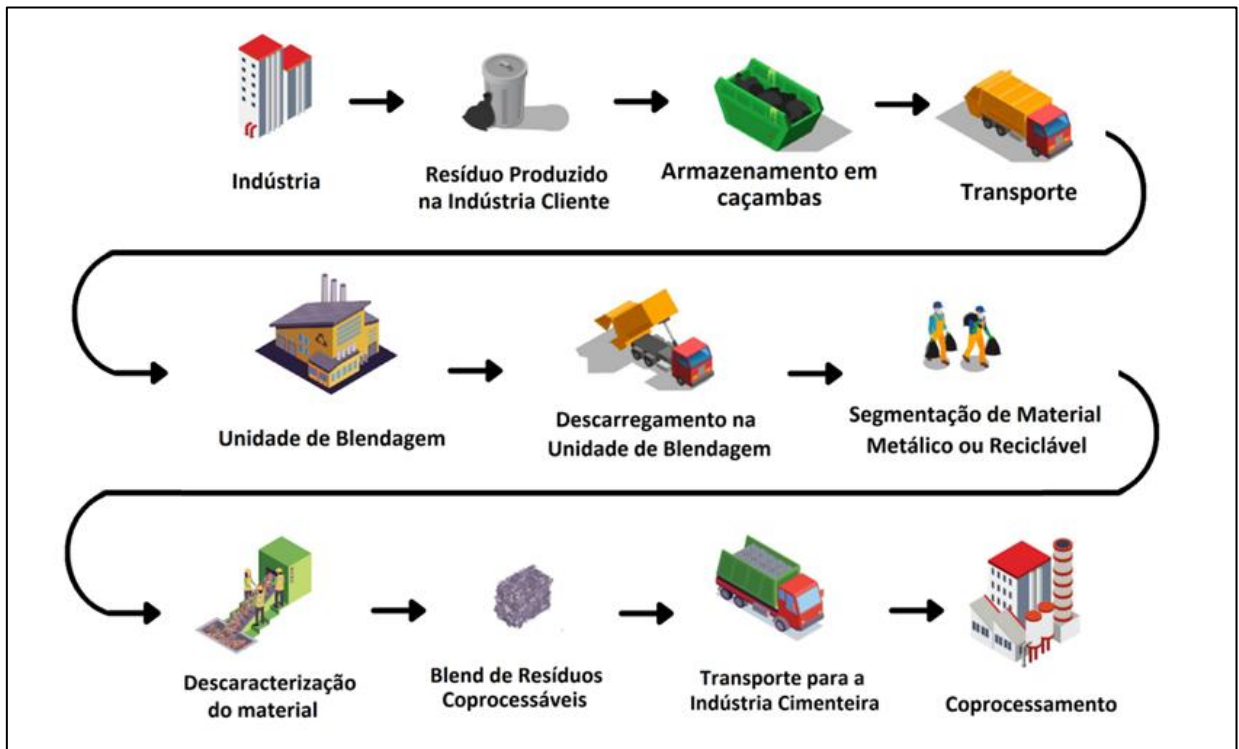
Após uma segregação primária do material, elementos metálicos ou que possuam potencial de reciclagem são retirados do resíduo bruto manualmente pelos operadores de produção, e assim, seguem para a descaracterização do material por meio de trituração. Nesta etapa, todo o procedimento é realizado mecanicamente através de retroescavadeira e triturador próprio para o este processo.

Depois de triturado, o material é armazenado em baia própria até o volume adequado para envio à cimenteira. Neste armazenamento, há caixa de contenção e piso impermeável, para que haja todo o adequado procedimento ambiental possível de não vazamento ou contaminação.

Assim, após inspeções periódicas de qualidade como umidade e teores de cloro o material é encaminhado para a indústria cimenteira onde é fonte de alimentação do forno rotativo para produção do clínquer, processo este que será descrito adiante.

O processo de blendagem dentro da empresa é então representado na Figura 6 que demonstra o fluxograma de processo dentro destas indústrias.

**Figura 6:** Fluxograma de produção de uma Unidade de Blendagem.



FONTE: Autor (2022).

Conforme o demonstrado acima, a Figura 7 representada a seguir, destaca o resíduo bruto e o *blend* de resíduos proveniente do processo da unidade.

**Figura 7:** Resíduo bruto proveniente do cliente x *Blend* de resíduos já processado.



FONTE: Autor (2022).

A maior problemática destas indústrias intermediárias é que, em muitos casos, não possuem capacidade monetária para instalação de equipamentos e laboratórios próprios que facilitariam as análises do seu material, o que acabam por se fazer em laboratórios externos ou somente quando o material chega na indústria cimenteira.

Quando realizados por laboratórios externos, os valores das análises de cada resíduo são altos e muitas vezes é inviável uma análise isolada de cada tipo de material. Já quando realizadas pelas cimenteiras, as análises, em muitos casos, ocorrem somente no recebimento do material, quando uma alta quantidade dele é encaminhado já para a tecnologia de coprocessamento e a indústria realiza uma inspeção da carga, como padrão, todas elas possuem tais análises. Porém, quando este material não é considerado com os parâmetros adequados a cimenteira pode até mesmo recusar a carga gerando um alto prejuízo para a UB, que já gastou até este ponto com a trituração do material, manuseio e transporte até a indústria.

Outro ponto necessário é o de se conhecer que UBs em fases de iniciação cobram para que este material seja tratado e venha a se tornar um combustível alternativo e matéria-prima para outra indústria, porém estes valores cobram em muitos casos só as despesas de operação, visto que o maquinário, energia e operadores para separar e triturar o material é oneroso. Portanto considerar que um material enviado pode ser recusado na chegada a indústria cimenteira é uma situação a ser descartada.

Além disso, é de se imaginar que indústrias cimenteiras pagam para o material entrar como combustível alternativo, porém isto ainda pouco acontece no Brasil. A UB necessita trazer uma garantia constante de que o material possui características que não irão influenciar no processo da cimenteira para que muitas vezes ela deixe a custo zero a entrada do material.

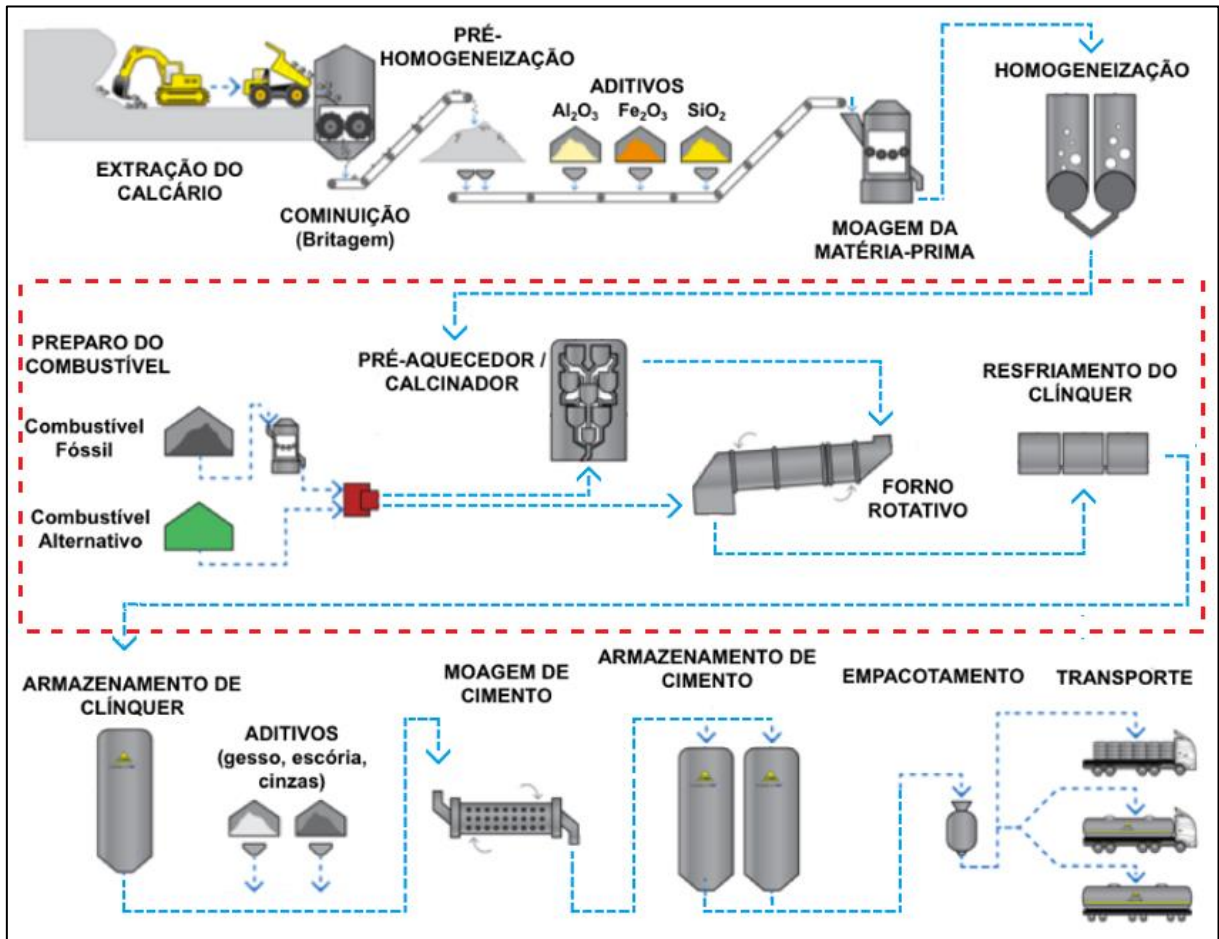
Portanto, quanto mais uma UB conhecer as características de cada resíduo recebido isoladamente, melhor será o seu conhecimento para criar um *blend* de maior qualidade e mais garantias e parcerias pode-se criar com as indústrias cimenteiras.

## 2.5 INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Como mencionado, o *blend* de resíduos é utilizado na indústria cimenteira como substituinte de combustíveis convencionais, sendo que os mais utilizados nos dias de hoje são o coque de petróleo e o carvão mineral. Assim, o *blend* entra no processo como um combustível alternativo ao processo. Porém, o processo para tornar tais resíduos industriais em energia para a fabricação do clínquer é mais oneroso do que simplesmente trocar a fonte energética.

O processo de formação do clínquer, material essencial na constituição do cimento, envolve basicamente carbonato de cálcio, dióxido de silício e óxidos de alumínio em altas temperaturas. Estes materiais, previamente moídos, dosados e homogeneizados, formam o que é chamado de farinha, que é submetida ao tratamento térmico em forno rotativo (MOCHIZUKI, 2017). Na Figura 8 é descrito o fluxograma do processo de produção do cimento Portland.

**Figura 8:** Fluxograma de produção do cimento Portland.



FONTE: Adaptado de Faria (2018).

Dentro de uma indústria cimenteira podem existir quatro técnicas de alimentação utilizadas para a fabricação do clínquer, sendo eles os processos via seca e o de via úmida, que segmentam os dois métodos opostos, e os processos intermediários que são o semisseco e o semi-úmido. Segundo Pereira (2017), no Brasil, o mais utilizado é o processo via seco ou até mesmo o semisseco, visto que são os que mais economizam recursos energéticos, pois o vapor presente na água na farinha no processo úmido aumenta o volume de gases e o consumo de energia para evaporação.



Para a formação do clínquer existem resumidamente quatro etapas, o aquecimento ou evaporação da água, a calcinação, a sinterização e, por fim, o resfriamento.

A primeira é realizada quando há a necessidade de a matéria prima ser moída juntamente com água, e por isso, o dever de extrair a umidade do material.

A segunda é realizada através da descarbonatação do material calcário por meio de uma transferência de calor entre os gases de exaustão do forno, por volta de 800 °C. Esta separação de carbonato de cálcio para óxido de cálcio e monóxido de carbono é uma das fases de maior preocupação do sistema visto a alta liberação deste poluente. Segundo Karstesen (2008) e Faria (2018) 60% do CO<sub>2</sub> liberado pela indústria cimenteira tem origem na calcinação do calcário e os 40% restantes devem-se à combustão de combustível fóssil.

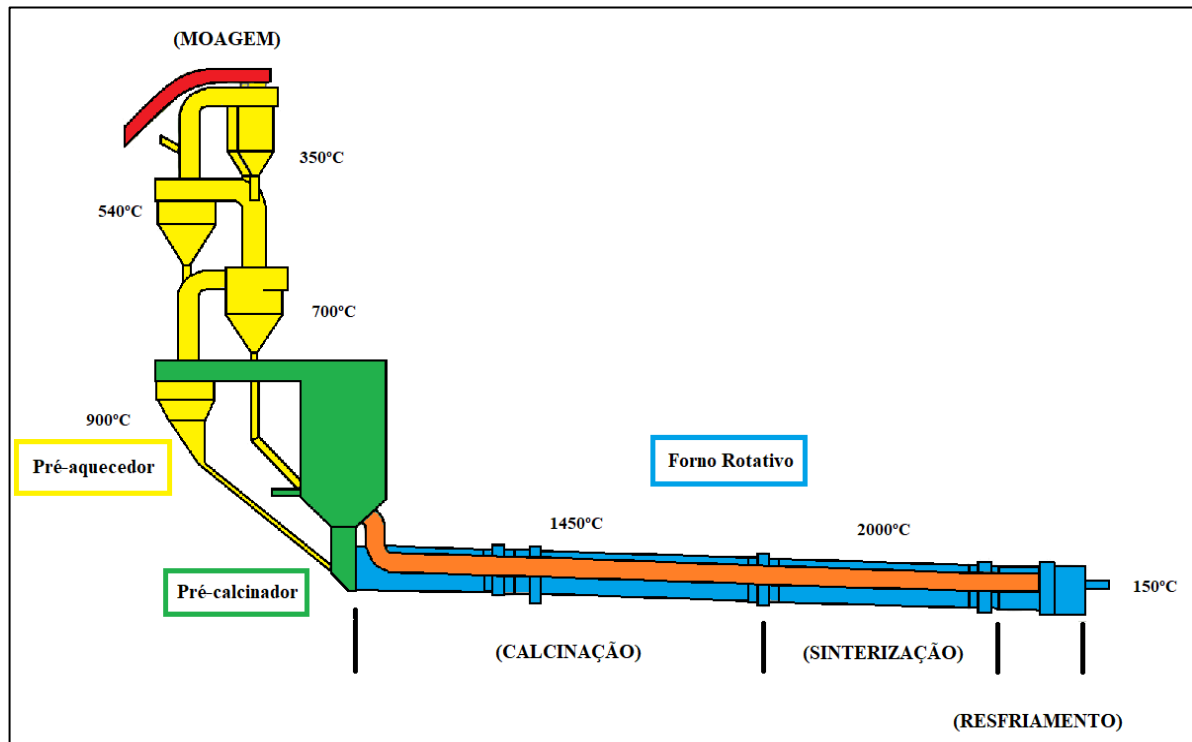
A penúltima fase é denominada sinterização, ou até mesmo clíquerização, sendo esta a fase de maior temperatura do processo que inicia com temperaturas entre 1260 °C e 1310 °C e pode chegar a 2000°C e é onde ocorre a maioria das reações químicas de formação do clínquer (LIMA, 2012).

Já o resfriamento é o arrefecimento do material de forma rápida para estabilizar as reações contidas no clínquer de modo a não dissipar as características construídas ao longo de todo o processo.

Na área tracejada em vermelho na Figura 8 estão destacados os processos dentro da indústria cimenteira que são de interesse para o presente estudo. O preparo do combustível alternativo e a sua função dentro dos equipamentos pré-calcinador, aquecedor e forno rotativo é o que determina a qualidade do *blend* utilizado.

Estes equipamentos são demonstrados mais detalhadamente na Figura 9 que também destaca a temperatura em cada um dos estágios.

**Figura 9:** Esquema de funcionamento dos equipamentos de formação do Clínquer.



**FONTE:** Adaptado de Lima (2012), Meystre e Silva (2013) e Merizak(2018).

Visando o exposto acima, todo o processo é realizado nos equipamentos descritos nos itens a seguir, que possuem funções próprias dentro da indústria cimenteira e importância específica na fabricação do clínquer com a utilização de combustíveis alternativos como alimentação.

### 2.5.1 Pré-aquecedor

Os pré-aquecedores são um conjunto de ciclones comuns, de quatro a seis estágios, alocados em vertical e que tem por principal função permitir a evaporação da água e fornecer até 30% da calcinação da farinha anteriormente à entrada do forno. Os fluxos gerais na torre se apresentam em contra-corrente, ou seja, a farinha desce a torre por gravidade e os gases quentes provenientes do forno sobem a torre devido à pressão negativa (LIMA, 2012). Segundo Malard (2016) a faixa de temperatura de operação do pré-aquecedor é de 327°C a 927°C.

### 2.5.2 Pré-calcinador

O pré-calcinador é um equipamento localizado entre o pré-aquecedor e o forno rotativo. Sua função principal é distribuir a energia necessária para o processo de calcinação e

clínquerização e fornece até 80-95% da descarbonatação, algo que sem ele funciona com 45-50% da capacidade (MOCHIZUKI, 2017).

Segundo Maringolo (2001) o equipamento funciona como um forno que gera gás a uma temperatura na faixa de 850-1000°C, promovendo a rápida descarbonatação do  $\text{CaCO}_3$ .

De acordo com Farenzena (1995) citada por Mochizuki (2017) outra finalidade é proporcionar o uso de até 60% de combustíveis no pré-calcinador muitas vezes de baixo custo e ainda proporcionar o aumento da capacidade produtiva do sistema de até 100% em relação a uma instalação convencional.

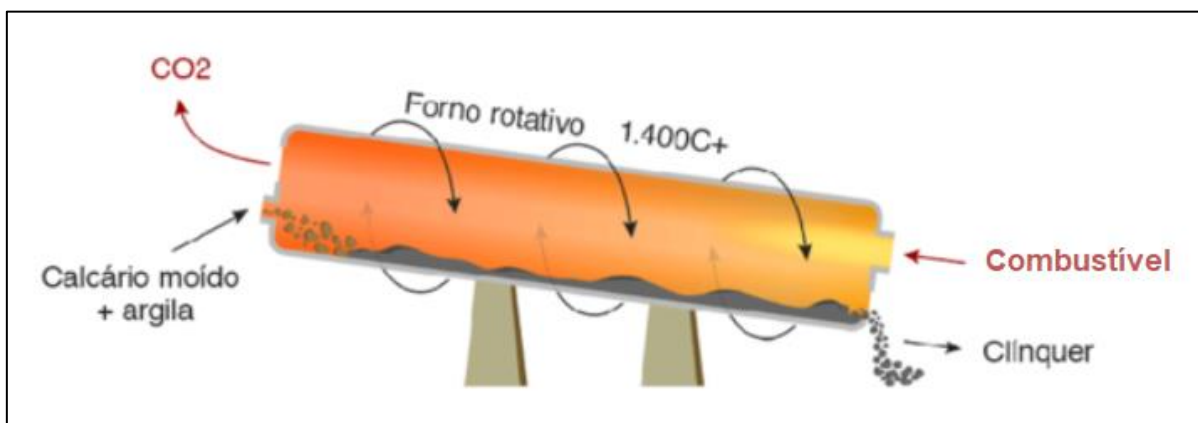
### 2.5.3 Forno Rotativo

Os fornos rotativos utilizados possuem razão de comprimento/diâmetro que varia de 10:1 e 38:1 e são posicionados na horizontal em uma inclinação de 2,5% a 4,5%, além disso, possuem rotação de 0,5 e 4,5 por minuto. A parte mais elevada do forno é a que possui a entrada de matéria-prima e a saída é por onde se dá a evasão do clínquer (LIMA, 2012). O combustível é fornecido pela saída do forno, o que exerce uma contracorrente com a matéria-prima.

Outra importante característica deste instrumento é a sua capacidade refratária, ou seja, de manter sua temperatura, visto que ao longo de sua estrutura as temperaturas variam de 400° a 2000° C (MARINGOLO, 2001).

Na Figura 10 a seguir, é possível identificar no forno rotativo onde há a entrada de combustível e da matéria-prima e a saída do clínquer

**Figura 10:** Vias de entrada e saída do forno rotativo.



**FONTE:** ROSAMUD (2018) apud TIMPERLEY (2018).

## 2.6 COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUOS (CDR)

O Combustível Derivado de Resíduo (CDR) é a designação genérica dos combustíveis obtidos a partir de resíduos que tem sido largamente utilizado como combustível de substituição (DIAS; SILVA, 2006, p.3).

As vantagens de se utilizar CDR são inúmeras devida a atual preocupação com a alta emissão de gases do efeito estufa presentes no meio ambiente. Segundo Pereira (2017) a utilização de combustíveis alternativos, como os derivados de resíduos sólidos, diminui a utilização de combustíveis fósseis tradicionais, e conseqüentemente, reduz a poluição gerada durante o processo de queima. Além de contribuir para o gerenciamento de resíduos direto na fonte geradora, o CDR fornece uma alternativa a aterros industriais que possuem potencial poluição do lençol freático e geração de metano (PRIES, 2017).

Na Europa, a indústria cimenteira é a maior consumidora de CDR, existindo atualmente mais de 100 fornos que coprocessam diferentes tipos de resíduos (PINTO, 2009, p.19). No Brasil, no ano 2016, existiam 36 plantas de coprocessamento funcionando (ABCP, 2017).

De acordo com Merizak (2018), fábricas de cimento podem criar condições e descrições mais detalhadas do combustível para decidir com quais classes deve-se trabalhar. Porém, a fim de conduzir o presente estudo, o mesmo irá se basear nos parâmetros técnicos já determinados nas resoluções, tanto brasileiras quanto internacionais.

No Brasil, os parâmetros de emissão para coprocessamento são estabelecidos pela Resolução CONAMA 499 (2020) que estabelece os limites de emissão nos fornos de produção de cimento para diversos deles, assim como os de cloro e mercúrio e ainda estabelece o PC como fator importante para o estudo de viabilidade de queima.

O Comitê Europeu de Normalização (CEN) em sua norma 15.359 (2005) considera os três parâmetros definidos como principais e os enquadra cada um com sua devida importância dentro do processo. O cloro como um parâmetro técnico, devido seu caráter de incrustação e conseqüentes paradas no processo. Já o mercúrio é classificado como um parâmetro ambiental em razão dos sérios problemas ao meio e o Poder Calorífico Inferior (PCI) como um parâmetro econômico, visto que é o fator determinante para o processo funcionar dentro do forno rotativo.

A partir desta classificação há um sistema de classificação dentro da normativa CEN 15359:2005 que especifica cinco classificações de combustível com base nos três parâmetros destacados. A Tabela 1 destaca estes parâmetros.

**Tabela 1:** Sistema de Classificação dos Combustíveis Derivados de Resíduos

Propriedade	Medida Estatística	Unidade	Classes				
			1	2	3	4	5
Poder Calorífico Inferior (PCI)	Média	MJ/kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Teor em Cloro (Cl)	Média	% (base seca)	≤0,2	≤0,6	≤1,0	≤1,5	≤3
Teor em Mercúrio (Hg)	Mediana	Mg/kg	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,50
	Percentil 80	Mg/kg	≤0,04	≤0,06	≤0,16	≤0,30	≤1,00

FONTE: CEN 15359:2005

De acordo com a classificação proposta acima, as classes 1 e 2 determinam CDR com as melhores características. Já a classe 5, qualifica o CDR com baixas características de qualidade dentro do processo de coprocessamento.

É importante ressaltar que além desta normativa, cada indústria cimenteira pode estabelecer critérios de aceitação de resíduos com base em seus estudos e especificações internas e legislações estaduais e federais às quais está inserida.

Portando, a Norma CEN citada acima, será uma das normas e legislações utilizadas neste estudo de forma a comparar os resultados de resíduos de ótima qualidade para a tecnologia de coprocessamento.

### 2.6.1 Poder Calorífico

A mais importante característica de um CDR é o PC. O PC é definido como a energia (bruta, líquida ou sob outra condição pré-definida) disponível em uma unidade de massa de um combustível (POLI et al., 2013). O PC pode ser dividido em duas variáveis, o Poder Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI).

A diferença entre o PCS e o PCI é que o primeiro pode ser descrito como a energia total liberada por um combustível e o segundo, por considerar suas perdas devido à evaporação da água, é caracterizado por ser a energia útil do combustível. Portanto, a diferença entre as duas definições é que toda a água resultante do processo esteja na forma líquida.

Normalmente, o PCS é medido em laboratório e o PCI é obtido através de equações matemáticas. Como nas máquinas térmicas, a temperatura é muito elevada e a água é encontrada em forma de vapor, considera-se sempre o PCI em termos de eficiência de um combustível.

Sendo assim, o PCS demonstra o potencial de calor do combustível, mas como na prática industrial não é possível diminuir a temperatura dos gases de combustão abaixo do ponto de condensação, o PCI fornece uma ideia mais exata do calor realmente obtido (TORRES, 2015).

O valor de PCI é assumido com base na equação abaixo.

$$PCI=PCS - (2440*((9*\%H)+\%U)) \quad (1)$$

Onde:

H = Teor de Hidrogênio;

U = Teor de Umidade do Material (base úmida).

Para as indústrias cimenteiras o valor de PCI é o valor de interesse de energia do material, porém, ao longo do desenvolvimento do trabalho, foi possível somente relacionar o valor de PCS, portanto, este último será o valor de referência utilizado para a qualidade do *blend* e a se considerar comparando-o com a legislação.

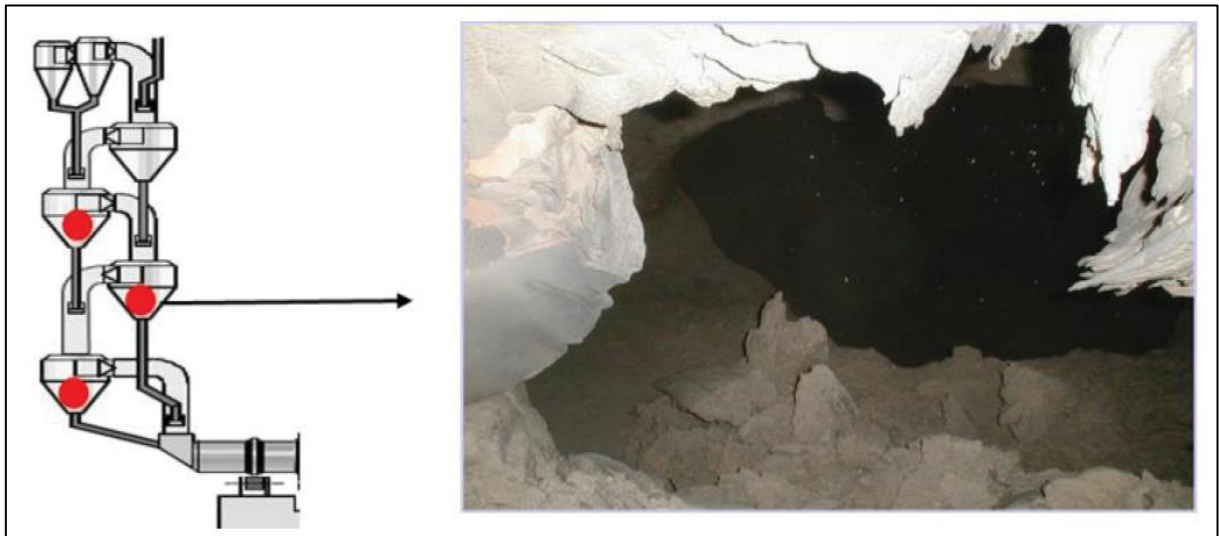
### 2.6.2 Cloro

O grande problema envolvendo o cloro dentro do sistema de produção é que durante a combustão este elemento pode causar uma diminuição na produção do forno e eventuais impactos fatais no sistema pré-aquecedor (MERIZAK, 2018).

Segundo Lanzerstorfer (2016) o cloro evapora nas zonas de sinterização e combustão e é transportado pelos gases para as zonas mais frias da entrada do forno e nos pré-aquecedores onde se condensam nas paredes. Esse processo é realizado de forma repetitiva até formar grossas camadas de incrustações, como demonstra a Figura 11, o que pode ocasionar entupimentos e até mesmo corrosões.

Assim, o cloro pode ser o responsável por paradas frequentes do forno, pois gera um maior consumo de calor e reduz sua produção máxima (MERIZAK, 2018). Tal situação é responsável pela interrupção do processo e conseqüente prejuízo para a indústria. Portanto, caracterizar os níveis de cloro desde a entrada do sistema como combustível alternativo é fundamental para que ao longo do processo não ocorra tais séries de problemas.

**Figura 11:** Incrustações provocadas por uso de cloro nos ciclones.



**FONTE:** FLSMidth (2015) apud. Merizak (2018).

### 2.6.3 Mercúrio

Como mencionado anteriormente, o mercúrio apresenta-se como importante elemento no sistema produtivo do clínquer pelas suas condições ambientais, sendo assim, segundo Ribeiro e Vieira (2004) os resíduos industriais são a principal fonte de contaminação dos rios por este elemento e a sua queima e incineração promove a volatilização dele.

Devido a sua alta capacidade volátil, o mercúrio não é incorporado ao clínquer ao fim do processo produtivo e é facilmente emitido pela atmosfera, devido a isso, seu controle é mais complexo (MALARD, 2016).

O mercúrio é um dos elementos mais perigosos por possuir características cumulativas que podem ficar adsorvidos na superfície do particulado emitido pela chaminé do sistema de despoeiramento e quando liberados entram em contato com a pele ou tecido do pulmão (MANTUS, 1992).

De acordo com Unep (2003, apud MALARD, 2016) existem equipamentos capazes de remover o mercúrio do material particulado, como filtros manga e precipitadores eletrostáticos, porém como uma taxa de eficiência de 25% a 50%.

Devido a estes diversos fatores, é essencial o controle de mercúrio na fonte energética de combustíveis derivados de resíduos industriais, tanto para termos ambientais quanto para saúde da população vizinha e trabalhadores.

## 2.7 LEGISLAÇÕES ESTADUAIS E BRASILEIRAS REFERENTES AO COPROCESSAMENTO

No ano de 1999 houve a publicação da primeira legislação sobre coprocessamento em âmbito federal. A Resolução Conama 264/99 considerou a necessidade de ser definidos procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, para a fabricação de cimento (CONAMA, 1999).

Segundo Pries (2018) a CONAMA 264/99 foi a primeira legislação federal a fornecer as principais diretrizes relacionadas ao coprocessamento e a definir quais os resíduos que podem e não podem ser coprocessados, conforme suas características de destruição e periculosidade. Sendo assim, esta resolução foi o marco inicial para o estabelecimento de critérios específicos, o que auxiliou a tecnologia a ganhar mais espaço dentro da destinação e tratamento de resíduos.

A CONAMA 264/99 se atentava principalmente nos parâmetros relacionados às emissões atmosféricas da prática do coprocessamento em fornos de cimento, mas não estabelecia critérios específicos para o aceite de resíduos que possuem elementos perigosos em sua constituição. Porém, no ano de 2020, a Resolução 499 revoga a anterior e estabelece os limites de concentração de poluentes orgânicos persistentes na composição dos resíduos permitidos para fins de coprocessamento (CONAMA, 2020). O estabelecimento destes tipos de critérios só era visto nas legislações estaduais sobre coprocessamento dos estados do Paraná e Minas Gerais.

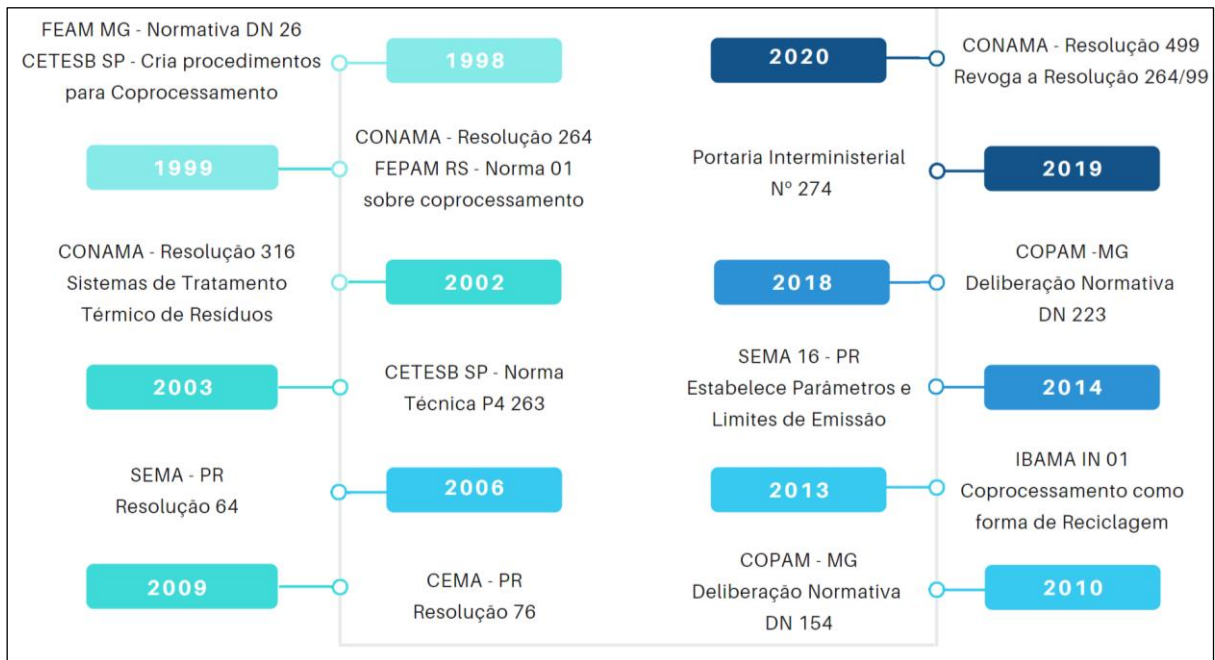
Na Figura 12 há a cronologia da legislação brasileira com o tema de coprocessamento.

Um ponto importante a destacar é que mesmo a Resolução CONAMA 499/2020 estabelecendo critérios de poluentes no resíduo bruto, ela não define limites para os parâmetros de cloro ou mercúrio e muito menos um valor base para o PC dos resíduos. Deixando, portanto, estes critérios serem ainda estabelecidos pelas legislações estaduais.

Sendo assim, como mencionado, os estados do Paraná e Minas Gerais são os únicos estados com resoluções mais completas e restritivas que estabelecem limites para o recebimento do resíduo, considerando análises laboratoriais de amostras brutas dos resíduos a serem recebidos pelas cimenteiras (PRIES, 2018).



**Figura 12:** Cronologia da Legislação sobre Coprocessamento.



**FONTE:** Adaptado de PRIES (2018).

De acordo com a Resolução 79 de 2009 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA) do Paraná, dentro do estado não poderão ser coprocessados resíduos com teores de mercúrio iguais ou acima de 10 mg/kg e deverão ter PCS acima de 1.500 kcal/kg (CEMA, 2009). Para teores de cloro, a citada resolução não aplica valores máximos de entrada.

Já a resolução do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) que trata do assunto no estado de Minas Gerais é a 154 de 2010 do que dispõe sobre o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer (COPAM, 2010). Esta resolução atribui que os resíduos utilizados para coprocessamento no estado devem possuir valores abaixo de 10 mg/kg e apresentar PCI mínimo de 2000 kcal/kg. E assim como o estado do Paraná, não existe limites para o parâmetro de cloro.

Os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, apesar de serem mais restritivos que a legislação federal, consideram apenas os parâmetros de emissões atmosféricas.

Sendo assim, a presente pesquisa, além de se basear nos limites estabelecidos pelo CEN descritos na Tabela 1, utilizará também os limites estabelecidos pelas resoluções CEMA 79/2009 e COPAM 154/2010 para os parâmetros de mercúrio e PCS.

A Tabela 2 traz um resumo dos parâmetros a serem analisados de acordo com cada legislação para este estudo.

**Tabela 2: Valores dos parâmetros de acordo com as legislações vigentes.**

<b>Propriedade</b>	<b>CEN 15.359/2005</b>	<b>CEMA 79/2009</b>	<b>COPAM 154/2010</b>
Poder Calorífico Superior (PCS)	-	> 1.500 kcal/kg	-
Teor em Cloro (Cl)	<0,2 %	-	-
Teor em Mercúrio (Hg)	-	≤ 10 mg/kg	< 10 mg/kg

**FONTE:** CEN(2005), CEMA(2009) e COPAM (2010).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de alcançar os objetivos propostos, o projeto contou com a aplicação de um questionário, como apresenta-se no Apêndice A e visitas exploratórias em indústrias moveleiras que não necessariamente possuam todas as etapas de produção de um móvel, que são o corte da madeira, usinagem, pré-montagem do móvel, lixamento, revestimento, pintura e montagem.

No conjunto, seis indústrias serviram de base deste estudo, e assim, pode-se somar os processos para obter resíduos oriundos de todas as etapas de produção, visto que algumas das indústrias de objeto podem terceirizar uma ou mais etapas de fabricação. Este critério foi utilizado a fim de encontrar amostras universais de resíduos que contemplaram a maior geração já destinada para a UB de estudo. Os processos realizados pelas empresas de estudo são descritas no Quadro 1 a seguir:

**Quadro 1:** Etapas do processo produtivo de cada indústria de estudo.

<b>Empresa</b>	<b>Corte</b>	<b>Usinagem</b>	<b>Lixação</b>	<b>Pintura</b>	<b>Secagem</b>	<b>Embalagem</b>	<b>Expedição</b>
A		X	X			X	X
B	X	X	X		X	X	X
C				X	X		X
D	X	X	X	X	X	X	X
E	X	X	X	X		X	X
F	X	X	X	X	X	X	X

**FONTE:** Autor (2022).

Durante os meses de dezembro de 2020 a maio de 2021 a UB pode estimar a quantidade de resíduos destinada pelas indústrias de estudo e com base no questionário respondido por elas pôde identificar os resíduos de maior geração ao longo do processo.

Após a análise dos resíduos de maior geração pôde-se fazer um diagnóstico daqueles que possuem maior viabilidade de estudo.

Com os resíduos determinados, três lotes deles foram construídos de forma a analisar os três parâmetros principais para a elaboração de um CDR de qualidade com o auxílio de ferramentas fornecidas pelo Software R Studio.

Com software é possível analisar estatisticamente os dados e construir ferramentas gráficas de fácil interpretação dos mesmos. Assim, os resíduos analisados pelo estudo podem contribuir de forma a identificar a melhor localização em um espaço tridimensional contemplado pelos três parâmetros e analisar se há viabilidade ou não de utilização dos resíduos gerados pela indústria moveleira na aplicação como combustível na indústria cimenteira e ainda

servir como fonte norteadora para resíduos de outros segmentos com base no mesmo modelo de aplicação.

### 3.1 DETERMINAÇÃO DA AMOSTRA

É válido identificar que o *blend* de resíduos encaminhado para as indústrias cimenteiras é uma mistura dos mais diversos resíduos destinados para a UB. Porém, as amostras foram segmentadas por resíduo de modo a seguir o princípio da estratificação dentro de um conceito de ferramenta da qualidade.

O princípio da estratificação é dividir os dados levantados em grupos diferentes, neste modo, o resíduo mais individual possível produzido pela indústria, e assim identificar quais deles estão fora do padrão e identificar o problema.

Quando produtos fabricados com material proveniente de diferentes origens ou sob condições diversas são reunidos em um só conjunto, pode ficar impossível entender a variação (VIEIRA, 2011). Portanto, ao invés de estudar o *blend* dos resíduos, ou seja, o produto, o estudo baseou-se em determinar as partes que o determinam, e assim, identificar qual ou quais delas fazem o padrão e qualidade do *blend* de resíduos possuir garantias dentro da indústria cimenteira.

O método de determinação das amostras foi baseado primeiramente nos resultados obtidos pelo questionário respondido pelas seis indústrias moveleiras. O questionário validou que as indústrias de móveis produziam doze tipos de resíduos em conjunto. A partir dessa validação foi possível separar os resíduos recebidos pela UB e fazer uma estimativa de geração por seis meses de cada uma das indústrias.

Após a análise da quantidade dos resíduos recebidos foi possível estabelecer aqueles dos quais são de maior importância para o estudo. Assim, identificou-se que dos doze resíduos produzidos pelas indústrias moveleiras, seis seriam a base de estudo do presente trabalho.

A somatória dos seis meses de estudo, separados por indústria e pelos doze tipos de resíduos está descrita na Tabela 3.

**Tabela 3: Quantidade de Resíduos encaminhados para a UB por Indústria Moveleira em toneladas.**

Resíduo	Empresa	Empresa	Empresa	Empresa	Empresa	Empresa	Total (ton)
	A	B	C	D	E	F	
Água - Cabine de Pintura	-	-	-	32,00	-	-	<b>32,00</b>
Borra Oleosa	-	1,12	-	-	-	0,62	<b>1,74</b>
Cinzas de Caldeira	-	1,32	0,60	1,02	-	1,92	<b>4,86</b>
Papelão Contaminados	0,25	0,10	0,66	1,45	0,80	1,20	<b>4,46</b>
Plástico Contaminadas	0,70	1,11	1,32	3,96	1,71	2,58	<b>11,38</b>
EPI	1,70	2,32	1,32	6,77	6,60	3,42	<b>22,13</b>
Estopas	0,75	2,04	1,86	6,31	5,40	2,40	<b>18,76</b>
Isopor	0,03	-	-	-	0,02	0,12	<b>0,17</b>
Lixas Contaminadas	0,06	0,84	1,80	2,10	0,77	1,20	<b>6,77</b>
Pó de Tinta	-	6,72	13,80	4,25	1,85	-	<b>26,62</b>
Serragem/Pó de varrição	0,33	2,21	0,00	3,71	1,88	3,00	<b>11,13</b>
Thinner	0,00	0,00	0,00	1,03	0,78	1,80	<b>3,61</b>
<b>Total</b>	<b>3,82</b>	<b>17,78</b>	<b>21,36</b>	<b>62,60</b>	<b>19,81</b>	<b>18,26</b>	<b>146,64</b>

**FONTE:** Autor (2022).

Alguns critérios foram estabelecidos para retirar do estudo os resíduos compreendidos de água de cabine de pintura e equipamentos de proteção individual (EPI). O primeiro, por ser do estado líquido e ser em sua maioria utilizado para conter a poeira durante o descarregamento de cargas na própria UB e o segundo por conter diversos materiais como elástico, plástico, espumas e borracha em sua composição e ser de difícil caracterização unitária.

Sendo assim, os resíduos foco deste estudo estão destacados no Quadro 2 conforme a maior geração ao longo do processo interno de fabricação de móveis.

**Quadro 2:** Relação Amostra x Resíduo.

Amostra	Resíduo
Amostra 1	Pó de Tinta
Amostra 2	Estopas
Amostra 3	Embalagens de plástico Contaminadas
Amostra 4	Serragem - Pó de varrição
Amostra 5	Lixas Contaminadas
Amostra 6	Cinzas de Caldeira

**FONTE:** Autor (2022).

### 3.2 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

Das seis amostras, três apresentavam características granulométricas que permitiam a manipulação para a análise conforme os procedimentos já destacados.

O pó de tinta, a serragem contaminada e as cinzas de caldeira, por ter aspecto de pó não precisaram passar pela redução de granulometria. Na Figura 13 estão destacadas as amostras como são destinadas.

**Figura 13:** Amostras de resíduos da indústria moveleira.



**Fonte:** Autor (2022).

Já as estopas, embalagens de plástico e lixas passaram primeiramente pelo processo de trituração na própria máquina de blendagem e aqueles que ainda não obtinham o aspecto desejado passavam ainda por um liquidificador mecânico.

Após os processos destacados, as amostras 3,4 e 5 ficaram com o aspecto demonstrado na Figura 14.

**Figura 14:** Amostras de resíduos da indústria moveleira triturados.



**Fonte:** Autor (2022).

Vale destacar que os resíduos provenientes do processo madeireiro, como serragem, maravalhas e cavacos geralmente não são destinados à UB devido ao valor comercial proporcionado ao retorno energético nas próprias indústrias, como por exemplo, utilização nas caldeiras. Muitas vezes, se a indústria moveleira não utiliza esse resíduo em seu próprio processo, vende este material para outros setores industriais, o que gera receita e, portanto, não é considerado alternativa ao coprocessamento visto que a UB cobra pela destinação deste resíduo.

### 3.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

Com os resíduos de estudo reconhecidos é necessário realizar a análise dos parâmetros de PCS, cloro e mercúrio de forma a identificar se os mesmos possuem valores dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

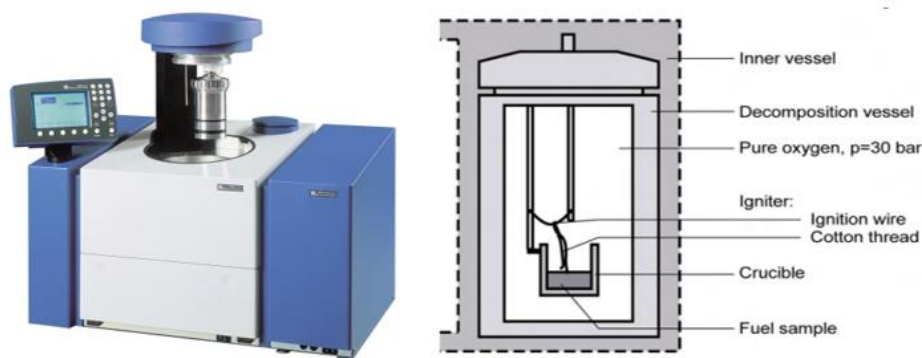
Os pontos a seguir destacam a metodologia de cada um dos parâmetros de modo a identifica-los em resíduos sólidos.

#### 3.3.1 Poder Calorífico

A técnica para obter o valor de PCS consiste em queimar uma amostra de combustível cuja massa é conhecida, em ambiente de oxigênio a alta pressão, em uma Bomba Calorimétrica (BC), e medir a diferença de temperatura ocorrida neste processo (PINTO, 2009).

A BC utilizada neste estudo é a de modelo IKA C5000 do laboratório de Coprocessamento da Supremo Secil Cimentos em Adrianópolis – PR. A Figura 14 demonstra o modelo do equipamento e o sistema do calorímetro presente dentro dele que realiza a combustão do material.

**Figura 15:** Bomba Calorimétrica e Sistema do Calorímetro.



**Fonte:** IKA (2007).

Para realizar a análise de PCS dos resíduos a BC foi previamente calibrada com uma solução de 1g de ácido benzoico que já possui PCS pré-definido. Este procedimento serve para identificar a capacidade térmica da bomba compreendida pela Equação (2).

$$C = \frac{(HoPad * mPad) + QF + QN}{\Delta T} \quad (2)$$

Onde: C = valor de calibração / capacidade térmica do sistema em J/K; HoPad = poder calorífico do padrão (ácido benzóico) em J/g; mPad = massa de ácido benzóico em g; QF = soma de todas as energias adicionais envolvidas, incluindo energia de ignição e poder calorífico do fio de algodão (em J); QN = energia envolvida na formação de ácido nítrico em J (determinado por titulação – dependendo da norma pode ser aplicável ou não); DT = diferença de temperatura final e inicial em K.

Posteriormente se fez a pesagem da amostra em um cadinho que pode ser de vidro ou de liga metálica em balança analítica. A massa da amostra deve ser de 0,5g a 1,5g. Dentro do cadinho é inserido um fio de algodão de 50 J que é responsável pela ignição da amostra. Dentro da bomba há oxigênio que garante a combustão completa do material.



### 3.3.2 Cloro

O cloro é um parâmetro de grande preocupação para a UB e por ocasionar em paradas à produção da indústria cimenteira há uma atenção maior de controlar este elemento dentro da planta, pois se este parâmetro possuir altos índices, a chance de a carga ser rejeitada mesmo possuindo valores dentro do esperado dos demais parâmetros é maior.

O método utilizado para a determinação de cloro foi realizado com a utilização de um titulador potenciométrico, semelhante ao da Figura 16.

**Figura 16:** Titulador Potenciométrico.



**Fonte:** Metrohm (2022).

O equipamento realiza, através de um sistema de buretas automáticas, o preenchimento dos reagentes na solução presente em um balão volumétrico. A solução padrão utilizada é o Nitrato de Prata 0,01 mol/L, que ao entrar em contato com cloretos, forma um precipitado branco.

A tecnologia empregada no titulador potenciométrico permite que a bureta de alta resolução e a agitação automática enviem as informações diretamente para um software interno.

A determinação da porcentagem de cloretos na amostra foi realizada com a lavagem com água destilada (aproximadamente 200ml) do cadinho e do vaso do calorímetro após a combustão do material na BC. Assim, se restasse algum resíduo da combustão completa do material o mesmo seria em forma de cloretos.

### 3.3.3 Mercúrio

O mercúrio em resíduos sólidos é determinado por meio de testes de lixiviação normatizados pela Norma Brasileira ABNT NBR 10005/2004 – Procedimento para a obtenção de extrato de lixiviado de resíduos sólidos (ABNT, 2004).

Como os resíduos do estudo contém teor de sólidos igual a 100%, o procedimento se concentra em obter um extrato de lixiviado proveniente da filtração do resíduo com uma solução de extração específica para pH abaixo ou igual a 5 e outra para acima desse valor, medindo assim o valor de mercúrio presente na amostra.

O primeiro passo é determinar a solução de extração. Essa determinação é realizada com a pesagem de 5g de amostra e adição de 96,5 mL de água deionizada em uma solução que é agitada vigorosamente por pelo menos 5 minutos. Se o pH da solução for menor ou igual a 5,0 deve-se utilizar uma solução de extração compreendida por 5,7 mL de ácido acético glacial (HOAc) e 64,3 mL de Hidróxido de Sódio (NaOH) e completar o volume a 1L. Se o pH for maior do que 5,0 deve-se adicionar 3,5 mL de Ácido Clorídrico (HCl), homogeneizar a solução e aquecer por 50°C durante 10 minutos, após o resfriamento se o pH for menor ou igual a 5,0 deve-se utilizar a solução anterior, porém se continuar maior que 5,0 é necessário utilizar somente 5,7 mL de ácido acético glacial (HOAc) e completar o volume de 1L.

Após fazer os testes das soluções de extração é necessário peneirar os resíduos em uma malha de 9,5 mm e pesar uma quantidade de 0,1 a 100 gramas de amostra. Após esse procedimento, é necessário transferir a amostra em frascos específicos para mercúrio, como os de polipropileno ou polietileno e assim, misturar com a solução de extração específica para cada resíduo conforme procedimento citado em uma proporção de 20:1.

É necessário vedar os frascos para que não haja vazamento das substâncias até o momento da obtenção do extrato de lixiviado e mantê-los por agitação pelo período de 4 horas a temperatura de 25°C e 15 rpm.

A filtração pode ser realizada por um aparelho de filtração a vácuo com um filtro de vidro com porosidade de 0,8µm. Cada lixiviado possui um tempo próprio. Por fim, é medido novamente o pH da solução.

Assim, é importante anotar o teor de sólidos secos (em %), o pH do extrato de lixiviado obtido, o tempo total de lixiviação e o volume de líquidos obtidos para continuar a análise deste elemento.

Com a solução resultante do processo, é realizada a análise através de espectrometria de absorção atômica por vapor a frio. Segundo (SOUZA, 2012) este método se baseia na

redução do  $\text{Hg}^{2+}$  (líquido) com cloreto estanoso ou borohidreto a  $\text{Hg}^0$  (vapor) que é arrastado por um gás inerte para um tubo de quartzo no caminho ótico do equipamento de absorção. Por chegar na sua forma atômica, o elemento não precisa ser aquecido e por isso, a técnica se chama de vapor a frio.

Com a solução extraída da lixiviação da amostra descrita anteriormente o equipamento denominado gerador de hidreto acoplado no instrumento realiza uma reação química com NaOH, HCl e  $\text{NaBH}_4$ . Dela, são gerados vapores que contém mercúrio que por fim são mensurados.

O equipamento utilizado para as análises de mercúrio é do modelo AA AGILENT do laboratório de Rotina para Análise de Água e Resíduos - LANAR vinculado ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

**Figura 17:** Espectrofotômetro de absorção atômica.



**Fonte:** Technologies (2022).

### 3.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Os parâmetros foram analisados em três lotes, destes a média foi contabilizada. Este valor foi utilizado para análise através de modelo tridimensional explicado a seguir.

Posteriormente, os resíduos foram misturados e analisados novamente com base na porcentagem de massa utilizada. Esta análise serve para fundamentar uma base de dados simples na qual a UB pode utilizar sem investir em equipamentos próprios e utilizar os recursos para este fim, em outros equipamentos de melhoria dela.

O modelo tridimensional proposto para análise dos parâmetros de maneira simples está descrito no tópico a seguir.

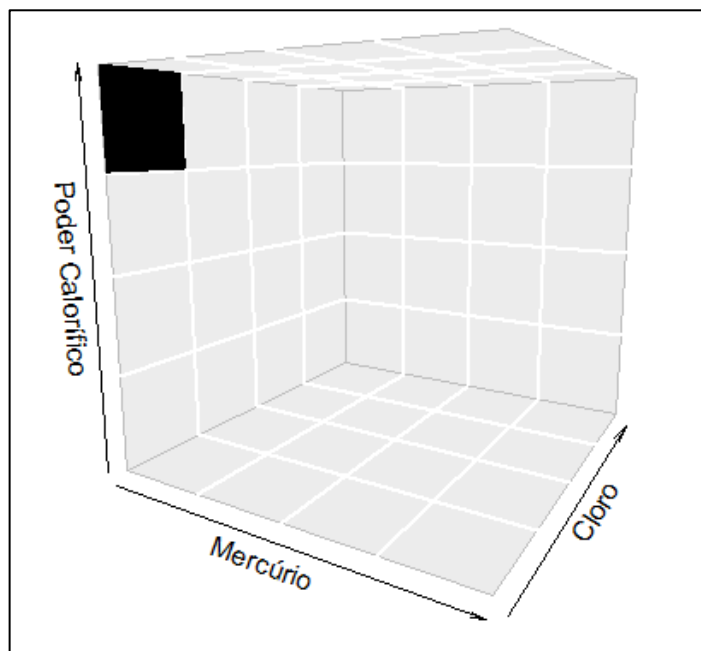
### 3.5 ANÁLISE PELO MODELO TRIDIMENSIONAL

De forma a visualizar de maneira simples a composição dos três elementos (cloro, mercúrio e poder calorífico) em um resíduo, foi optado por um modelo tridimensional, onde em um plano cartesiano, os eixos x, y e z, são representados respectivamente pelos parâmetros citados, e assim, quanto mais próximo a uma área determinada no plano, melhor qualidade demonstra para a formulação do *blend* de resíduos.

De forma resumida, quanto menor os valores de mercúrio e cloro em determinado resíduo melhor, ao contrário do Poder Calorífico, que deve ser alto para fornecer o calor necessário para o processo. Assim, quanto mais próximo a área destacada em preto do gráfico demonstrado na Figura 18, melhor a composição do resíduo.

Não necessariamente um resíduo de boa qualidade para a formulação do *blend* deverá estar na área demonstrada, porém resíduos que se localizam distantes da mesma devem possuir frações menores na composição da mistura, assim consegue-se priorizar os resíduos de melhor composição com uma maior porcentagem na carga enviada para consumo na cimenteira.

**Figura 18:** Modelo tridimensional de referência.



**FONTE:** Autor (2022).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Os resíduos foram caracterizados conforme o item 3.1 deste trabalho. Após a validação dos resíduos mais destinados à UB, foi possível fazer a análise dos três parâmetros foco do presente estudo em cada uma das seis amostras em três lotes, como já mencionado.

### 4.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Conforme a metodologia descrita no item 3.2, os valores de Poder Calorífico Superior, Cloro e Mercúrio foram determinados. A seguir encontram-se os resultados para cada um dos três parâmetros físico-químicos.

#### 4.2.1 Poder Calorífico Superior

Para a determinação de PCS, a massa utilizada de cada resíduo em cada uma das três campanhas está representada na Tabela 4.

**Tabela 4:** Massa para determinação do PCS.

Amostra	Tipo do resíduo	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	Massa 3 (g)
1	Serragem Contaminada	0,5032	0,4996	0,5012
2	Cinzas de Caldeira	0,5022	0,5201	0,5089
3	Estopas Contaminadas	0,5010	0,5104	0,5165
4	Lixas Contaminadas	0,5203	0,4898	0,4987
5	Mix de plásticos	0,5101	0,5042	0,4896
7	Pó de tinta	0,5039	0,5033	0,5021

**Fonte:** Autor (2022).

Por fim, o processo é totalmente automático e o resultado é dado em cal/g ou kcal/kg. Tais dados estão representados na Tabela 5 a seguir.

**Tabela 5:** Resultados de Poder Calorífico Superior nos resíduos analisados.

Amostra	Tipo do resíduo	Alíquota 1	Alíquota 2	Alíquota 3	Concentração
					Média de PCS (Kcal/kg)
1	Serragem Contaminada	4000	4248	3890	<b>4046,00</b>
2	Cinzas de Caldeira	1738	3602	2533	<b>2624,33</b>
3	Estopas Contaminadas	4066	5934	5064	<b>5021,33</b>
4	Lixas Contaminadas	3150	2880	3059	<b>3029,67</b>
5	Mix de plásticos	7556	8064	7685	<b>7768,33</b>
6	Pó de tinta	4454	3699	3189	<b>3780,67</b>

**FONTE:** Autor (2022).

#### 4.2.2 Cloro

Para determinar a porcentagem de cloro no resíduo, como descrito anteriormente, é necessária a combustão do material na BC, portanto, a massa de resíduo utilizada para esta análise é a mesma relatada na Tabela 3.

O método utilizado foi o descrito no item 3.2.2, sendo que, após a lavagem do vaso do calorímetro e do cadinho presente dentro dele com 200ml de água destilada esta solução foi enviada ao Titulador Potenciométrico que forneceu automaticamente os dados presentes na Tabela 6.

**Tabela 6:** Resultado de Cloro nos resíduos analisados.

Amostra	Tipo do resíduo	Alíquota 1	Alíquota 2	Alíquota 3	Concentração
					Média de Cloro (%)
1	Serragem Contaminada	0	0,03	0,03	<b>0,02</b>
2	Cinzas de Caldeira	0,16	0,07	0,16	<b>0,13</b>
3	Estopas Contaminadas	0,09	0,06	0,09	<b>0,08</b>
4	Lixas Contaminadas	0,06	0,03	0,06	<b>0,05</b>
5	Mix de plásticos	0,16	0,14	0,15	<b>0,15</b>
6	Pó de tinta	0,08	0,06	0,05	<b>0,06</b>

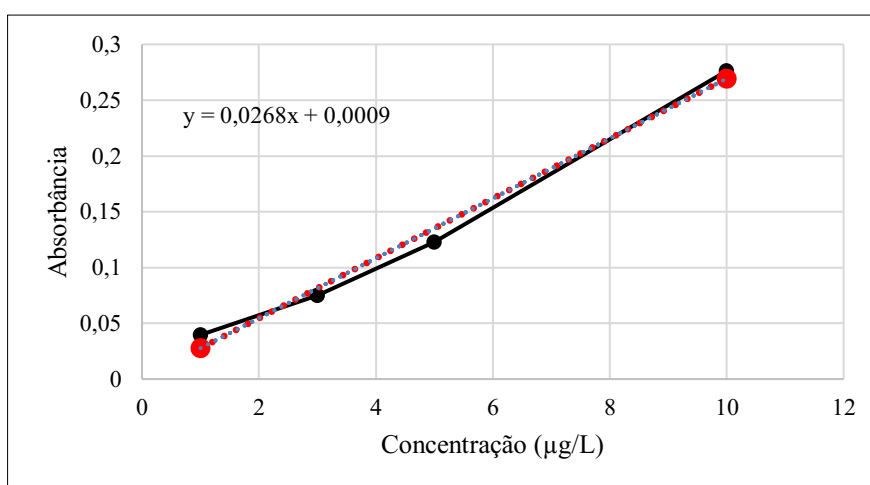
**FONTE:** Autor (2022).

### 4.2.3 Mercúrio

O teor de mercúrio nos resíduos foi determinado seguindo os métodos propostos em 3.2.3. Todas as amostras obtiveram pH maior que 5 quando em contato com a água destilada, porém ao adicionar HCl o mesmo teve valor abaixo de 5 e pode-se utilizar a mesma solução de extração para todos os tipos de resíduos.

Com todas as etapas realizadas, foi possível determinar a absorbância através do equipamento, e com ela, a concentração de mercúrio em  $\mu\text{g/L}$  conforme a curva de calibração a seguir.

**Figura 19:** Curva de Calibração Espectrofotométrica.



**FONTE:** Autor (2022).

Com base na curva de calibração foi possível estabelecer a equação da reta e assim identificar na absorbância de cada resíduo o valor da concentração de mercúrio presente nele.

Os resultados da concentração de mercúrio em cada resíduo estão descritos na tabela a seguir para os três lotes estudados.

**Tabela 7:** Resultado de Mercúrio nos resíduos analisados.

Amostra	Tipo do resíduo	Alíquota 1	Alíquota 2	Alíquota 3	Concentração Média de Mercúrio (mg/kg)
1	Serragem Contaminada	0,416	0,378	0,425	<b>0,41</b>
2	Cinzas de Caldeira	0,289	0,385	0,436	<b>0,37</b>
3	Estopas Contaminadas	0,188	0,457	0,388	<b>0,34</b>
4	Lixas Contaminadas	0,121	0,408	0,352	<b>0,29</b>
5	Mix de plásticos	0,235	0,449	0,379	<b>0,35</b>
6	Pó de tinta	0,048	0,363	0,325	<b>0,25</b>

**FONTE:** Autor (2022).

### 4.3 ANÁLISE INDIVIDUAL

A seguir os resíduos são analisados de modo individual e comparados com bibliografia do tema, de modo a salientar se os resultados encontrados se diferem muito do já encontrado em trabalhos semelhantes.

#### 4.3.1 Serragem contaminada

O processo de produção do móvel acaba por retirar partes de madeira e a depender do tamanho desta, podem ter nomenclaturas diferentes. O mais fino fragmento da madeira e suas lascas são chamadas de serragem e é um subproduto muito utilizado para geração de energia ou subcomposto.

Quando utilizada em processos de fabricação de móveis, há uma série de compostos químicos nela que a deixa inviável para recebimento quando considerada a geração de energia em caldeiras, por exemplo, que devido à baixa temperatura, quando comparada com os fornos de coprocessamento, traz diversos perigos.

Por isso, o encaminhamento de serragem contaminada com produtos químicos, e muitas vezes até contendo pó de varrição presente nas fábricas moveleiras, para a UB é frequentemente visto.

Segundo Diniz (2004) o PCS de serragem de madeira do tipo eucalipto é de 4.100 kcal/kg. Já o valor para a serragem de madeira do tipo Pinus é de 1615 kcal/kg (CANDÉO et al., 2012). Os valores de estudo do PCS (4046,00 kcal/kg) se assemelham ao valor obtido por Diniz, mas se diferem dos propostos por Candéo.

Já a concentração de mercúrio e porcentagem de cloro presente neste resíduo se mostraram satisfatórias neste estudo, não sendo consideradas de perigo tanto operacional quanto ambiental.

#### 4.3.2 Cinzas de Caldeira

As cinzas são produtos da combustão em caldeiras de madeira bruta, geralmente do *Pinus taeda*, muito utilizada para fornecer calor nas estufas de secagem das indústrias de estudo.

As cinzas agregam todos os elementos que não são relevantes nas reações de combustão, como o fósforo, o potássio e o cálcio, além de serem materiais inorgânicos



constituídos por Ca, Si, Mg, K e S (GIMENES, 2012). Segundo Branco (2012, apud GIMENES, 2012) o teor de cinzas presente na biomassa reduz seu poder calorífico.

O descrito acima, se confirma com o resultado de PCS das cinzas sendo o menor dos resíduos estudados (2624,33 kcal/kg), além de ter a segunda porcentagem de cloro mais elevada nos resíduos estudados (0,13%), porém, ainda se encontra dentro dos limites estabelecidos pelo estudo. Já os teores de mercúrio presente nas cinzas de caldeira se encontram dentro dos limites.

Sendo assim, as cinzas de caldeira obtiveram o pior desempenho nos resíduos analisados e, portanto, é necessário considerar apenas uma pequena parcela das mesmas no *blend* enviado às indústrias cimenteiras.

### **4.3.3 Estopas Contaminadas**

As estopas são materiais absorventes que possuem a função de limpeza dos produtos e do ambiente de trabalho. As estopas geralmente são produzidas com retalhos de tecidos descartados ou com resíduos de fiação e tecelagem.

Ao realizar a tarefa de limpeza, as estopas absorvem materiais que muitas vezes são considerados perigosos, como thinner, tintas, óleos e graxas da superfície aplicada. Sendo assim não foi possível identificar o material ao qual contamina a estopa, porém devido a sua alta geração dentro das indústrias moveleiras se tornou um resíduo de grande importância no estudo.

Segundo Pereira (2017), resíduos têxteis como estes tem valor de PCS por volta de 4241,22 kcal/kg e teores de cloro de 0,24%.

No presente estudo, as estopas obtiveram valores de PCS de 5021 kcal/kg, sendo próximos do estudo citado e satisfatórios quando comparados com a legislação. Já o teor de cloro no presente estudo se difere do proposto por Pereira (2017). A porcentagem de cloro nas estopas contaminadas das indústrias moveleiras foi de 0,08%.

O valor de mercúrio, assim como o dos demais resíduos de estudo não se mostrou de preocupação, visto que o valor de 0,34mg/kg é abaixo do limite estabelecido pela COPAM de 10mg/kg.

### **4.3.4 Lixas contaminadas**

As lixas são materiais utilizados para dar acabamento ao móvel ou chapas que foram anteriormente tratadas com produtos químicos, por isso absorvem tais partículas. Ela é

composta basicamente por um costado, duas camadas de adesivo e uma camada de grãos abrasivos (COSTA, 2013).

Não foi possível identificar outros trabalhos para comparação deste tipo de material em relação a PCS, cloro e mercúrio, porém os dados do estudo se mostraram favoráveis ao uso deste tipo de material na tecnologia de coprocessamento. Sendo que o mesmo possui todas os seus parâmetros dentro dos limites de qualidade impostos.

#### **4.3.5 Mix de Plásticos**

Os plásticos são utilizados em uma série de processos dentro da indústria moveleira, porém, assim como os demais resíduos do presente estudo, foram os contaminados que muitas vezes não possuem viabilidade de reciclagem que foram considerados para a unidade de blendagem.

Segundo um estudo proposto por De Carvalho, Da Costa e Pfeiffer (2018) onde diversos resíduos de plástico foram analisados foi constatado que as concentrações de cloro das amostras estudadas possuem valores muito acima do exigido pelas indústrias cimenteiras. Por isso, a necessidade de entender a concentração de cloro nesses materiais gera o desafio de diluir esta concentração com a mistura de resíduos isentos ou com baixo teor de cloro (DE CARVALHO; DA COSTA; PFEIFFER, 2018).

Segundo Pereira (2017), um mix de plásticos composto por sacos, sacolas, embalagens de refrigerantes, água e leite, recipientes de produtos de limpeza, , utensílios de cozinha, látex, sacos de rafia possui valor de 3851,11 kcal/kg. Este valor se mostrou muito distinto do valor médio de 7768,33 kcal/kg compreendido pelo presente estudo, fato este que pode ser destacado pela alta variedade de plásticos presentes na amostra.

E assim como os outros resíduos, os teores de cloro e mercúrio do mesmo se encontram dentro do proposto pela legislação, sendo de 0,15% para o primeiro parâmetro e 0,35mg/kg para o segundo.

#### **4.3.6 Pó de Tinta**

Para o acabamento de peças metálicas, como puxadores e pés de móveis é comum o uso de tinta do tipo pó, pois este produto garante a melhor aplicação em materiais tubulares. Em sua maioria, as tintas em pó utilizadas pelas indústrias de estudo são do tipo epóxi ou híbrida com resinas específicas. Este tipo de produto garante uma excelente resistência química e

anticorrosiva, além de proporcionar maior produtividade e um menor consumo de energia (WEG TINTAS, 2021).

A composição mais usual dessa matéria-prima contém 50 a 65% de veículo (resina + agente de cura), 33 a 46% de pigmentos e cargas e 2 a 4% de agente nivelante e outros aditivos (CAMARGO, 2002).

Dentro do presente estudo, este resíduo teve valores muito satisfatórios, sendo o valor de PCS de 3780 kcal/kg, além da terceira menor porcentagem de cloro (0,06%) e a menor quantidade de mercúrio (0,25 mg/kg).

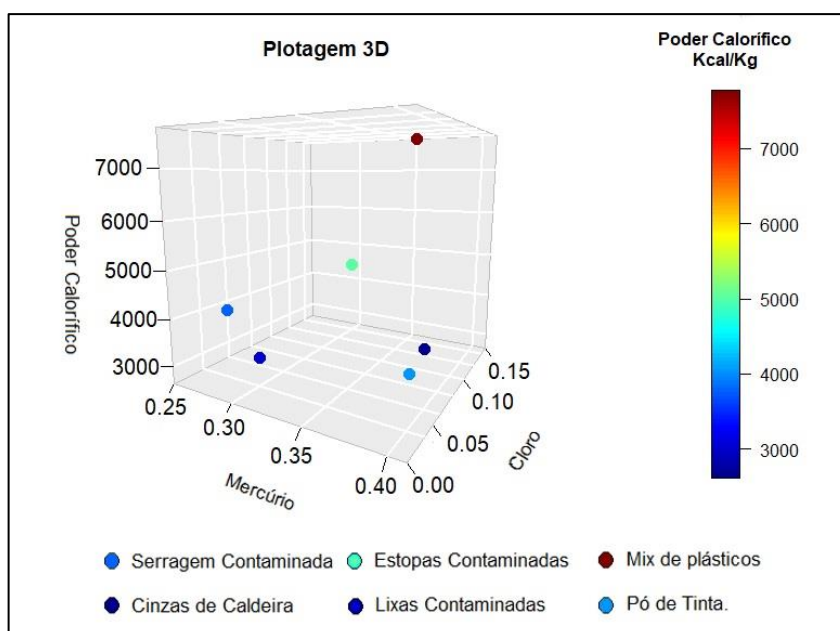
Com tais resultados, o pó de tinta entra no estudo como um resíduo de muita importância na composição do *blend* da indústria moveleira para envio para a tecnologia de coprocessamento.

#### 4.4 ANÁLISE PELO MODELO TRIDIMENSIONAL

Conforme os dados analisados e comentados acima foi possível estabelecer a análise tridimensional proposta no item 3.3 dos seis resíduos de estudo. Como já comentado, quanto mais próxima da área destacada na Figura 17 melhor a qualidade para o resíduo para a indústria cimenteira.

Com o programa RStudio, os três parâmetros foram alocados em um script de plotagem em 3D que retornou no gráfico demonstrado na Figura 20 a seguir.

**Figura 20:** Análise Tridimensional dos Resíduos Moveleiros.

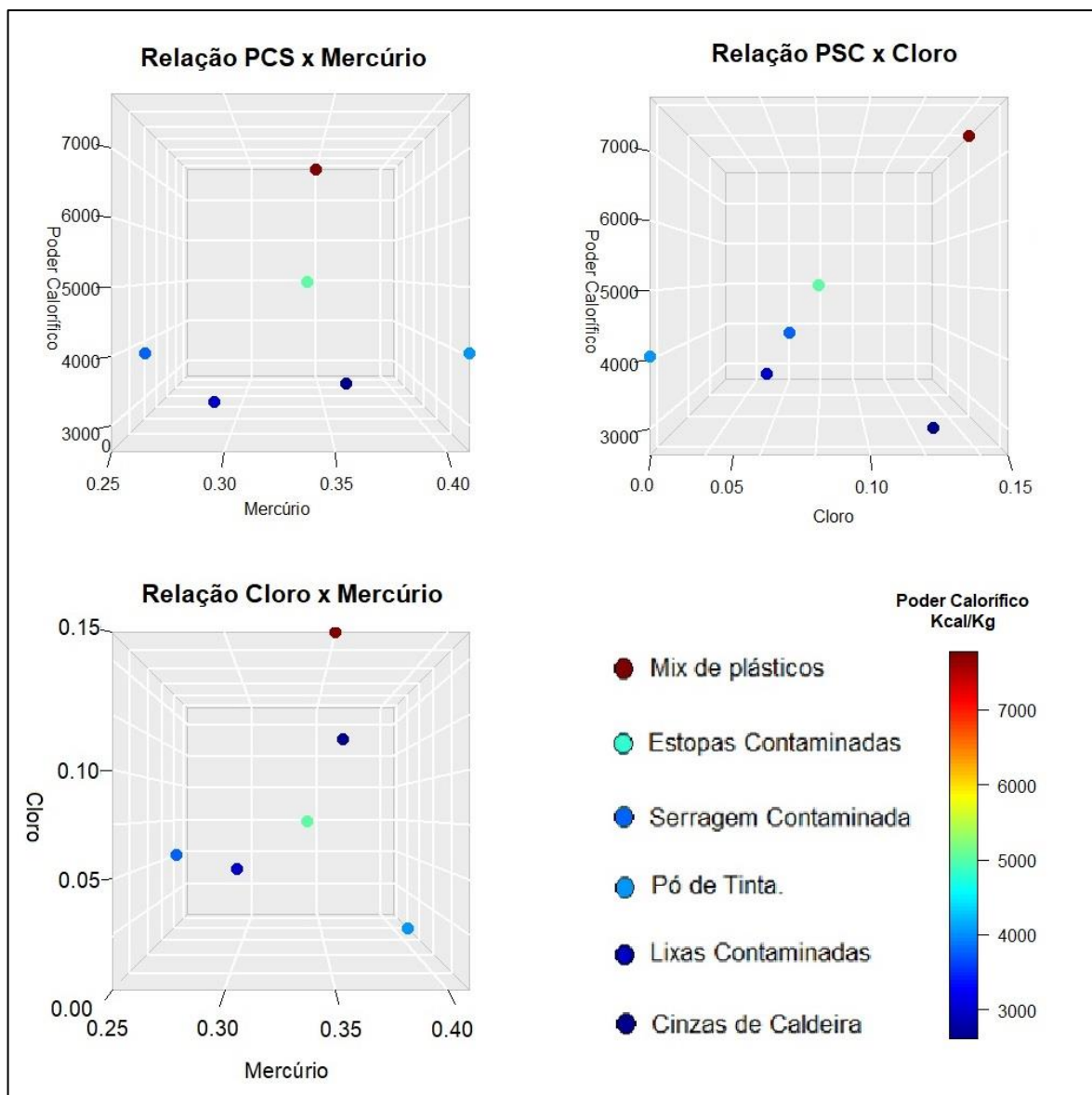


FONTE: Autor (2022).

Como é possível identificar na Figura 20, nenhum dos resíduos se encontra próximo à área destacada pela Figura 18. O mix de plásticos por exemplo, apresentou o melhor valor de PCS, porém, mesmo dentro da legislação, o valor de cloro foi o maior dos resíduos relacionados. O mesmo pode destacar para a serragem contaminada, na qual apresentou a menor porcentagem de cloro, porém a maior concentração de mercúrio. Porém ressalta-se que mesmo assim, tais parâmetros se encontram dentro da legislação aplicada.

Os gráficos bidimensionais que relacionam cada parâmetro, para melhor entendimento estão demonstrados na Figura 21.

**Figura 21:** Relação dos parâmetros em gráficos bidimensionais.



FONTE: Autor (2022).

#### 4.5 ANÁLISE DO BLEND DOS RESÍDUOS ANTERIORMENTE CITADOS

Como mencionado anteriormente, os resíduos das indústrias ao serem triturados passam pelo processo de blendagem, que é uma mistura do material a fim de homogeneidade do material de envio para a indústria cimenteira. Pensando-se nisso, o presente estudo também propôs fazer uma análise da mistura do material anteriormente apresentado a fim de identificar se os parâmetros da mistura são proporcionais aos identificados nos resíduos individuais.

Sendo assim, quatro misturas dos resíduos foram realizadas, são elas:

- Mistura contendo 50% de pó de tinta e 50% de cinzas de caldeira;
- Mistura contendo 50% de serragem contaminada e 50% de lixas;
- Mistura contendo 25% de serragem contaminada, 25% de plásticos e 50% de cinzas de caldeira;
- Mistura contendo 25% de lixas, 25% de serragem contaminada e 50% de cinzas de caldeira.

As análises do *blend* dos resíduos mencionados acima só foram possíveis com os parâmetros de cloro e PCS, pois como todos os resultados de mercúrio analisados foram bem abaixo do recomendado pela legislação tal parâmetro não foi considerado.

Cada análise é descrita nos tópicos a seguir.

##### 4.5.1. Mistura contendo 50% de pó de tinta e 50% de cinzas de caldeira

O pó de tinta obteve resultados bem favoráveis quando analisados PCS e cloro, sendo o terceiro maior valor do primeiro parâmetro e obteve uma média de 0,06% de cloro. Já as cinzas de caldeira obtiveram os piores valores de PCS e a segunda maior porcentagem de cloro dos resíduos analisados.

Os valores para PCS para o *blend* 1 estão na Tabela 8 a seguir.

**Tabela 8:** Comparação da medição de PCS com a média matemática do *Blend* 1.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Média</b>
PCS Cinzas de Caldeira	1738,00	3602,00	2533,00	2624,33
PCS Pó de tinta	4454,00	3699,00	3189,00	3780,67
Médias Matemática	3096,00	3650,50	2861,00	3202,5
Valor análises	3023,00	3610,00	2632,00	3088,333
<b>Desvio padrão amostral</b>	<b>51,61</b>	<b>28,63</b>	<b>161,90</b>	<b>80,72</b>

FONTE: Autor (2022).

Os valores de cloro para o *blend* 1 estão destacados na Tabela 9.

**Tabela 9:** Comparação da análise da porcentagem de cloro com a média matemática do *Blend* 1.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Média</b>
PCS Cinzas de Caldeira	0,16	0,07	0,16	0,13
PCS Pó de tinta	0,08	0,06	0,05	0,06
Médias Matemática	0,12	0,065	0,105	0,095
Valor análises	0,12	0,04	0,09	0,08
<b>Desvio padrão amostral</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

**FONTE:** Autor (2022).

Como é possível observar nas Tabelas 8 e 9, para o *blend* 1, as análises obtiveram valores menores do que média matemática dos valores obtidos pela análise individual dos resíduos. Porém, tais valores não são discrepantes ao considerar os valores de PCS e cloro e pode-se considerar a média como forma de previsão dos parâmetros da mistura 1.

#### 4.5.2. Mistura contendo 50% de serragem contaminada e 50% de lixas

Como a serragem obteve um dos maiores valores de PCS e uma das menores porcentagens de cloro das amostras coletadas, o segundo *blend* objetivou misturá-la com as lixas, que tiveram seu PCS como o segundo menor.

**Tabela 10:** Comparação da medição de PCS com a média matemática do *Blend* 2.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Média</b>
PCS Serragem Contaminada	4000,00	4248,00	3890,00	4046,00
PCS Lixas Contaminadas	3150,00	2880,00	3059,00	3029,67
Médias	3575,00	3564,00	3475,00	3537,83
Análises	3098,00	3231,00	3425,00	3251,33
<b>Desvio padrão amostral</b>	<b>337,29</b>	<b>235,47</b>	<b>35,36</b>	<b>202,59</b>

**FONTE:** Autor (2022).

Já os valores de cloro para a mistura do *blend* 2 estão destacados na Tabela 11.

**Tabela 11:** Comparação da análise da porcentagem de cloro com a média matemática do *Blend 2*.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Média</b>
(% Cloro) Serragem Contaminada	0,00	0,03	0,03	0,02
(% Cloro) Lixas Contaminadas	0,06	0,03	0,06	0,05
Médias	0,03	0,03	0,05	0,04
Análises	0,03	0,02	0,04	0,03
<b>Desvio padrão amostral</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

**FONTE:** Autor (2022).

Como pode-se observar nos dados das Tabelas 10 e 11, assim como nos das Tabelas 8 e 9, os valores da média matemática para PCS e Cloro, apesar de serem mais baixas do que os resultados feitos pelas análises, foram muito próximos dos realizado por elas.

#### **4.5.3. Mistura contendo 25% de serragem contaminada, 25% de plásticos e 50% de cinzas de caldeira**

Pensando que o mix de plásticos e a serragem contaminada foram dois dos resíduos que mais obtiveram PCS, a mistura com as cinzas de caldeira, o que menor PCS obteve, pareceu ser viável para analisar o comportamento do material quando formado o terceiro *blend*.

**Tabela 12:** Comparação da medição de PCS com a média matemática do *Blend 3*.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Média</b>
PCS Serragem Contaminada	4000,00	4248,00	3890,00	4046,00
PCS Cinzas de Caldeira	1738,00	3602,00	2533,00	2624,33
PCS Mix de plásticos	7556,00	8064,00	7685,00	7768,33
Médias	3758,00	4879,00	4160,25	4265,75
Análises	4256,00	5276,00	4176,00	4569,33
<b>Desvio padrão amostral</b>	<b>352,14</b>	<b>280,72</b>	<b>11,14</b>	<b>214,67</b>

**FONTE:** Autor (2022).

Os valores de cloro para o *blend 3* estão destacados na Tabela 13.

**Tabela 13:** Comparação da análise da porcentagem de cloro com a média matemática do *Blend 3*.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Média</b>
(% Cloro) Serragem Contaminada	0,00	0,03	0,03	0,02
(% Cloro) Cinzas de Caldeira	0,16	0,07	0,16	0,13
(% Cloro) Mix de plásticos	0,16	0,14	0,15	0,15
Médias	0,12	0,08	0,13	0,11
Análises	0,13	0,05	0,09	0,09
<b>Desvio padrão amostral</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>

**FONTE:** Autor (2022).

Diferente das misturas anteriores, onde os valores das análises, em sua maioria, foram menores do que os calculados, os resíduos do terceiro *blend* obtiveram valores maiores na análise.

#### **4.5.4. Mistura contendo 25% de lixas, 25% de serragem contaminada e 50% de cinzas de caldeira**

Por fim, a quarta mistura de resíduos foi realizada com 25% de lixas e 50% de cinzas, dois dos resíduos com menores PCS, e com 25% de serragem contaminada, um resíduo que obteve bons valores do mesmo parâmetro e ainda, pouca porcentagem de cloro em sua composição. Os valores desta comparação se encontram nas Tabela 14 e 15.

**Tabela 14:** Comparação da medição de PCS com a média matemática do *Blend 4*.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Média</b>
(PCS) Serragem Contaminada	4000,00	4248,00	3890,00	4046,00
(PCS) Cinzas de Caldeira	1738,00	3602,00	2533,00	2624,00
(PCS) Lixas contaminadas	3150,00	2880,00	3059,00	3030,00
Médias	2656,50	3583,00	3004,00	3081,00
Análises	2956,00	3743,00	3030,00	3243,00
<b>Desvio padrão amostral</b>	<b>211,78</b>	<b>113,14</b>	<b>18,38</b>	<b>114,55</b>

**FONTE:** Autor (2022).

Os valores de cloro para o *blend 4* estão destacados na Tabela 15.



**Tabela 15:** Comparação da análise da porcentagem de cloro com a média matemática do *Blend 4*.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Média</b>
(% Cloro) Serragem Contaminada	0	0,03	0,03	0,02
(% Cloro) Cinzas de Caldeira	0,16	0,07	0,16	0,13
(% Cloro) Lixas contaminadas	0,06	0,03	0,06	0,05
Médias	0,10	0,05	0,10	0,08
Análises	0,08	0,09	0,09	0,09
<b>Desvio padrão amostral</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

**FONTE:** Autor (2022).

Assim como o terceiro *blend*, que também obteve três resíduos em sua composição, a quarta mistura obteve os valores das análises, em sua maioria, maiores do que os valores calculados matematicamente.

#### 4.6 BASE DE DADOS COM OS RESULTADOS ATINGIDOS

Como o apresentado, a análise dos parâmetros exerce um importante papel na criação de uma base de dados para a UB que pode utilizá-los para criar misturas de resíduos com menor probabilidade de recusa da indústria cimenteira e, posteriormente, para agregar valor ao combustível alternativo criado.

Com base nos parâmetros analisados da indústria moveleira, outros segmentos de mercado da própria região podem ser utilizados, como indústrias cerâmicas, têxteis e metalúrgicas, para misturar aos resíduos que já possuem parâmetros aferidos segundo legislação e qualidade na indústria recebedora.

Há ainda a se considerar que outros resíduos da própria indústria moveleira podem ser analisados, porém, por possuírem pouco volume de recebimento, não foram contabilizados, entretanto, é de extrema importância a análise e adequação dentro da base de dados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o descrito no item 1.2.2, o presente trabalho cumpriu com seus objetivos específicos com forte destaque à inovação do tema proposto na região do Planalto Norte de Santa Catarina, ainda considerando o polo moveleiro dele.

Ao identificar a indústria moveleira de grande representatividade na geração de resíduos no estado de Santa Catarina há a necessidade de criar tecnologias alternativas ao Aterro Industrial, visto que além dos diversos passivos ambientais, a alta destinação de material para estes ambientes diminui sua vida útil, e conseqüentemente, criando outras demandas da mesma destinação final.

Uma destas alternativas é o coprocessamento, que além de incluir os resíduos de indústrias primárias como combustível alternativo e matéria-prima na fabricação do cimento, também auxilia na geração de empregos de indústrias intermediárias, chamadas de Unidades de Blendagem, que fazem o papel de preparar o material para servir para este fim.

Porém, para o combustível derivado de resíduo servir realmente como alternativa, parâmetros físico-químicos que influenciam no processo devem ser medidos e monitorados e, portanto, o cloro, mercúrio e poder calorífico superior são características essenciais para este processo. O cloro como um parâmetro técnico, devido seu caráter de incrustação e conseqüentes paradas no processo. Já o mercúrio é classificado como um parâmetro ambiental em razão dos sérios problemas ao meio e o poder calorífico como um parâmetro econômico, visto que é o fator determinante para o processo funcionar dentro do forno rotativo.

Assim, após uma pesquisa quantitativa e qualitativa dentro de seis indústrias moveleiras localizadas no planalto norte catarinense, foi possível considerar seis dos resíduos de maior geração e homogeneidade. Estes resíduos foram o pó de lustração, as cinzas de caldeira, as estopas contaminadas, lixas, mix de plásticos e o pó de tinta. E assim, parâmetros físico-químicos de cloro, mercúrio e PCS destes resíduos foram analisados.

Considerando-se a legislação pertinente sobre coprocessamento de Minas Gerais e Paraná, que são as únicas a emitirem limites de tais parâmetros em resíduos sólidos destinados a coprocessamento, nenhum dos resíduos estudados se encontrou fora do recomendado por elas, porém, alguns deles obtiveram resultados melhores que outros quando se trata de qualidade de combustível derivado de resíduo.

O PCS considerado como valor aceitável de estudo foi estabelecido pela Resolução CEMA 79/2009 a qual determinou que um resíduo para ser considerado CDR deve possuir ao mínimo 1.500 kcal/kg. No estudo, portanto, apenas as cinzas de caldeira não obtiveram tal

valor, classificando este material de baixa qualidade para ser considerado um CDR isoladamente, porém é de interesse do estudo não descartar o material e sim encontrar uma mistura que ainda consiga o classificar como tal.

Os demais resíduos tiveram bons rendimentos em relação ao PCS, em destaque o mix de plásticos e o pó de tinta.

O parâmetro de cloro teve como valor de referência os relatados na Norma CEN 15359/2005 de classe 1, ou seja, resíduos de melhor características para coprocessamento. A referida norma toma como base para o parâmetro de cloro o valor de  $< 0,20\%$ . Valor este também considerado para a maioria das cimenteiras.

Apesar de todos os resíduos obterem valores abaixo do estabelecido, dois deles, as cinzas de caldeira e os plásticos, são materiais dos quais a UB deve manter cuidado ao balancear na mistura, pois tais resíduos tiveram o valor de  $0,16\%$ , ou seja, muito próximo do limite.

Para o mercúrio foi considerado as Resoluções Estaduais COPAM 79/2009 e CEMA 154/2010 sendo que a primeira considera que este parâmetro pode possuir igual ou menor valor a  $10\text{mg/kg}$  e a segunda considera que somente pode possuir valores menores que o mesmo. Sendo assim, todos os resíduos de estudo obtiveram valores satisfatórios a este parâmetro, pois a quantidade de todos ficou abaixo de  $0,5\text{ mg/kg}$ , não tendo, portanto, nenhum dos resíduos características preocupantes para o parâmetro de mercúrio.

Com as análises dos parâmetros de cada resíduo isolado, foi possível fazer uma mistura dos mesmo de modo a observar se estas características se complementam proporcionalmente de acordo com a massa, pois assim seria possível estimar as características do *blend* de resíduos encaminhado para coprocessamento, caso contrário, alguma reação inesperada acontecia.

Os resultados destas misturas foram favoráveis quanto a hipótese analisada. Os valores das análises se aproximam dos calculados matematicamente, tendo um desvio pouco significativo que seja capaz de influenciar no processo total.

Com tais resultados é possível criar uma base de dados dentro da UB que possa fornecer ao longo de sua produção dados para estimar os parâmetros das cargas enviadas à tecnologia de coprocessamento. Além do modelo tridimensional acima comentado ser possível de interpretação e indicação com os funcionários da produção, facilitando assim a homogeneidade do material.

Dentre as limitações e dificuldades encontradas no estudo pode-se considerar a não mensuração do PCI, valor mais aplicável dentro das indústrias cimenteiras, podendo variar muito com o destacado na legislação. Há cimenteiras que não aceitam resíduos com PCI menor

que 4.000 kcal/kg, e não veem no mercúrio, por exemplo, valores de qualificação para a entrada ou saída do material.

Por isso, considerar o valor mínimo de PCS de 1500 kcal como característica de qualidade pode ser um critério errôneo a depender dos estabelecidos pela própria indústria.

Outra dificuldade encontrada é a divergência de informações e até mesmo falta de parâmetros estaduais para coprocessamento dentro de Santa Catarina. Quando o assunto é Blendagem a falta deles ainda é maior.

O fato de as análises serem contabilizadas com unidades milimétricas pode ser um grande fator de erro deste estudo, pois considerando a grandiosidade e porte das indústrias cimenteiras, as cargas recebidas por elas através das UB são na ordem das toneladas. Sendo assim, um resíduo analisado em proporções muito menores das quais é realmente quantificado pode trazer falhas no processo.

Além disso, ao realizar a mistura dos resíduos deve-se considerar uma certa homogeneidade, pois ao serem recebidos na cimenteira, quando não realizada esta ação pode-se ocorrer falhas na coleta de amostra e conseqüentemente recusa do material no destino para coprocessamento.

Não é de se negar que o tema de coprocessamento e principalmente a blendagem de resíduos é um tema em expansão, por isso, as linhas futuras de pesquisa para o tema incluem principalmente na implementação do estudo em outras classes de indústrias, como metalúrgicas, cerâmicas, têxteis e outras, ainda de importância para a região. Além de considerar para elas parâmetros de qualidade diretamente tratados com as indústrias de cimento, pois estes valores podem diferenciar muito dos considerados pela legislação estadual utilizada neste estudo.

Ainda é possível fazer um estudo da viabilidade econômica da implementação das UB e o custeio dos equipamentos com a qualidade do material em função do recebimento dele na indústria do cimento.

Por fim, os resultados colaboram para tornar a hipótese do presente trabalho verdadeira, porém, os valores de PCS devem ser avaliados com cuidado, pois apesar de estarem dentro das legislações estaduais, podem estar fora dos critérios internos das mesmas. Ainda assim, há cimenteiras que utilizam o valor de PCI para monitoramento da qualidade de entrada do resíduo. Mesmo assim, a presença de mercúrio e de cloro é pouco significativa e não prejudica a operação do forno na indústria cimenteira ou traz riscos ambientais no seu entorno.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos Norma Brasileira ABNT NBR 10005.** [s.l: s.n.].

ACR - ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS. Anuários Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina. v. 2019, p. 118, 2019.

ARAÚJO, G. J. O coprocessamento na indústria de cimento: definição, oportunidades e vantagem competitiva. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 57, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, A. **Panorama do Coprocessamento Brasil 2017**, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, A. **Panorama do Coprocessamento 2019**. 2020.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. . 2010, p. 1–19.

CAMARGO, M. DE. **Resinas poliésteres Carboxifuncionais para Tinta em Pó: Caracterização e Estudo Cinético da Reação de Cura.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

CANDÉO, R. A. et al. Classificação energética dos resíduos de madeira de Pinus utilizados para a geração de energia calorífica em função do poder calorífico e teor de umidade. **II Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, 2012.

CAVALLI, C. O Desafio Do Gerenciamento Dos Resíduos Sólidos Industriais No Rio Grande Do Sul Frente À Legislação Ambiental : Um Estudo Para O. **Dissertação**, n. UFRGS, 2015.

CEMA CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CEMA nº 76 de 30/11/2009. Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético.**, 2009.

CEN, E. C. FOR S. Solid recovered fuels - Specifications and classes. **Solid recovered fuels - Specifications and classes Combustibles**, p. 21, 2005.

CONAMA CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 264, de 26 de agosto de 1999** Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos, 1999. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262>>

CONAMA CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA/MMA Nº 499, DE 6 DE OUTUBRO DE 2020. Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.**, 2020.

COPAM CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Dispõe sobre o Coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer.**, 2010.

COSTA, A. P. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. **Efeito do condicionamento ambiental em compósitos soldados de PPS/fibras contínuas**, p. 129, 2013.

DE CARVALHO, E.; DA COSTA, C.; PFEIFFER, S. Determinação do teor de cloro em resíduos de embalagens de plástico. n. 1, p. 575–582, 2018.

DIAS, S. M.; SILVA, R. B. Avaliação Do Potencial De Produção. 2006.

DINIZ, J. et al. Gem De Eucalipto E De Seus Produtos De Pirólise. **Ciência e Natureza**, v. 26, n. 2, p. 25–32, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas da Eficiência Energética-Brasil | 2020**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020>>.

ESTADO DE SANTA CATARINA. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Santa Catarina** Julho Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/recursos-hidricos-e-saneamento/plano-estadual-de-residuos-solidos-de-santa-catarina/1367-plano-estadual-de-residuos-solidos-de-santa-catarina/file>>

FARIA, D. G. **Captura, armazenamento e utilização de dióxido de carbono na indústria de cimento**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

FIN, E. et al. **Panorama Do Coprocessamento De Resíduos Industriais Com**

**Características De Inflamabilidade No Rio Grande Do Sul.** 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. **Anais...** Gramado: 2018

GIMENES, A. M. et al. Como funciona recebimento, armazenamento e expedição. **Revista Eletrônica da Universidade de Ensino Superior de Londrina**, v. 52, p. 12, 2020.

GIMENES, J. **Análise da Geração, Recuperação e Destinação de Cinzas em Caldeiras – O Caso de uma Indústria.** [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2012.

IKA. **IKA Calorimeter System C 5000 Control.** In: USA. Operating Instructions. 10. ed. rev: USA, 2007.

KARSTENSEN, K. H. Formação, liberação e controle de dioxinas em fornos de cimento. v. 70, n. 0045, p. 543–560, 2008.

KOCH, M. R. Gestão De Resíduos Sólidos De Uma Indústria De Aglomerados E Moveleira - Um Olhar Para Sustentabilidade. p. 1–125, 2012.

LANZERSTORFER, C. Residue from the chloride bypass de-dusting of cement kilns: Reduction of the chloride content by air classification for improved utilisation. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 104, p. 444–450, 2016.

LIMA, R. N. **Avaliação da incorporação de enxofre no clínquer em um forno de cimento.** [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

LOPES, T. R.; FRITSCH, S. A.; MEES, J. B. R. Metodologias e medidas para a minimização de resíduos em uma indústria moveleira. **Tecno-Lógica**, v. 19, n. 1, p. 06, 2015.

MAFFESSIONI, D. Análise da situação ambiental das indústrias do pólo moveleiro de Bento Gonçalves. **Экономика Региона**, p. 32, 2012.

MALARD, A. A. M. **Avaliação Ambiental do Setor de Coprocessamento no Estado de Minas Gerais.** [s.l.: s.n.].

MANTUS, E. K. **All Fired Up - Burning Hazardous Waste in Cement Kilns.** Seattle: [s.n.].

MARINGOLO, V. Clínquer co-processado: produto de tecnologia integrada para a sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento. p. 174, 2001.



MELO, R. C. De Secagem De Madeira Na Indústria. 2005.

MERIZAK, M. Chlorine in Cement Manufacturing Using Co-Processing of Waste Curitiba  
Marouane Merizak Chlorine in Cement Manufacturing Using Co-Processing of Waste. p. 55,  
2018.

METROHM (org.). **Titulador com potenciômetro 848 Titrino plus**. Disponível em:  
<https://www.directindustry.com/pt/prod/metrohm/product-15372-724109.html>. Acesso em: 22  
abr. 2022.

MEYSTRE, J. A.; SILVA, R. J. The Possibility of Coprocessing Municipal Solid Waste - Msw  
in Clinker Kilns To Cement Production. **Revista de Engenharia Térmica**, v. 12, n. 2, p. 34,  
2013.

MMA, M. DO M. A.; CONAMA, C. N. DO M. A. RESOLUÇÃO CONAMA/MMA Nº 499,  
DE 6 DE OUTUBRO DE 2020. . 2020, p. 1–12.

MOCHIZUKI, V. DE L. **Balanco Térmico do Forno Rotativo e do Resfriador da Fábrica  
Elizabeth Cimento LTDA**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2017.

MOREIRA, J. M. M. Á. P.; SANTOS FILHO, J. I. DOS. O Setor Moveleiro como parte  
integrante da cadeia produtiva florestal de florestas plantadas na região de São Bento do Sul em  
Santa Catarina. p. 36, 2020.

PEREIRA, T. H. M. **Determinação das Características Ótimas do Blend de Resíduos do  
município de Betim/MG para coprocessamento em cimenteiras Bambuí/MG**, 2017.

PINTO, S. Caracterização de Combustíveis Derivados de Resíduos Obtidos a Partir de  
Resíduos Industriais Não Perigosos. **Tese de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade Nova de Lisboa**, 2009.

POLI, D. DE C. R. et al. Uma avaliação das metodologias para determinação do poder calorífico  
dos resíduos sólidos urbanos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 8, n. 8, p. 9–31,  
2013.

PRIES, R. A. **RISCOS QUÍMICOS NO PROCESSO DE BLENDAÇÃO DE RESÍDUOS  
INDUSTRIAIS PARA COPROCESSAMENTO**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná, 2017.

PRIES, R. T. A. **Uso do Lodo de Esgoto para Coprocessamento em Fornos de Clínquer.** [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2018.

RIBEIRO, A. S.; VIEIRA, M. A. Amostragem de lama para determinação de Hg em sedimentos, lamas de esgoto e amostras de carvão por espectrometria de absorção atômica com vapor frio Anderson. v. 15, n. 6, p. 825–831, 2004.

SANTOS, L. S. C. DOS. **Prejuízos ao meio ambiente e agravos na saúde das populações vizinhas às unidades de blendagem no município de Magé, Rio de Janeiro.** [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2020.

SELLITTO, M. A. et al. Coprocessamento de cascas de arroz e pneus inservíveis e logística reversa na fabricação de cimento. **Ambiente & Sociedade**, v. 16, n. 1, p. 141–162, 2013.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Coprocessamento.** 2011. Disponível em: <<http://snic.org.br/sustentabilidade-coprocessamento.php>>. Acesso em: 02 de outubro de 2020.

SOUZA, G. B. DE. **Mercúrio no Recife do Farol de São Tomé, Norte do Rio de Janeiro.** [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

SZIGETHY, Leonardo; ANTENOR, Samuel. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos.** 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 12 out. 2022.

TECNOLOGIES, Agilent (org.). Espectrômetro Agilent AA 240/280 Series. 59906707. ed. Brasil: Agilent Technologies, 2013.

TIMPERLEY, Jocelyn. Q&A: **Why cement emissions matter for climate change.** 2018. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/qa-why-cement-emissions-matter-for-climate-change/>. Acesso em: 05 dez. 2020.

TORRES, S. D. A. **Comparação da eficiência energética entre diferentes biomassas para cogeração de energia elétrica: estudo de caso aplicado em uma usina de açúcar e álcool.** [s.l.] Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, 2015.

VIEIRA, S. **Estatística para a Qualidade.** [s.l.: s.n.].

WEG TINTAS. **Catálogo de produtos e tintas - WEG 2021**: 30. Jaraguá do Sul: [s.n.].  
Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h35/hcb/WEG-tintas-isto-weg-tintas-50021400-catalogo-pt.pdf>>.

## 7. APÊNDICES

### APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO

**EMPRESA:** \_\_\_\_\_

**CNPJ:** \_\_\_\_\_

**ENDEREÇO:** \_\_\_\_\_

**ATIVIDADE PRINCIPAL:** \_\_\_\_\_

**ATIVIDADE SECUNDÁRIA:** \_\_\_\_\_

**RESPONSÁVEL:** \_\_\_\_\_

#### GERAÇÃO MENSAL

Menos que 1 tonelada.       De 1 a 2 toneladas.       De 3 a 4 toneladas.       Mais de 5 toneladas.

#### PROCESSO PRODUTIVO

Pré-corte                               Lixação                               Embalagem  
 Usinagem                               Pintura Manual                       Caldeira  
 Serra/Furação                       Pintura UV                               Lustração

#### RESÍDUOS PRODUZIDOS

Resíduo	Não encaminha para Blendagem para coprocessamento / não gera.	< 100 kg	De 100 a 500 kg	De 500 a 1 tonelada	> 1 tonelada.
Resíduos de plástico					
Resíduos de papel e papelão					
Sucata de latas de alumínio					
Restos de solvente, tintas e pigmentos					
Abrasivos e lixas de papel					
Isomanta/Isopor					
EPI usado					
Efluente resina uréia-formol					
Pó e serragem de MDF/Madeira Bruta					
Retalhos de madeira densificada (MDF)					
Restos de cola					

Fitolho de r�fia					
Estopas usadas					
P� de tinta					
Fita de borda PVC					

### SELECIONE O CÓDIGO UTILIZADO PARA OS RESÍDUOS PRODUZIDOS

<input type="checkbox"/>	01 - Resíduos da prospec�o e explora�o de minas e pedreiras, bem como de tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas;
<input type="checkbox"/>	02 - Resíduos da agricultura, horticultura, aquicultura, silvicultura, ca�a e pesca, e da prepara�o e processamento de produtos alimentares;
<input type="checkbox"/>	03 - Resíduos do processamento de madeira e da fabrica�o de painéis, mobiliário, papel e celulose;
<input type="checkbox"/>	04 - Resíduos da indústria do couro e produtos de couro e da indústria téxtil;
<input type="checkbox"/>	05 - Resíduos da refina�o de petróleo, da purifica�o de g�s natural e do tratamento pirol�tico do carvão;
<input type="checkbox"/>	06 - Resíduos de processos químicos inorg�nicos;
<input type="checkbox"/>	07 - Resíduos de processos químicos org�nicos;
<input type="checkbox"/>	08 - Resíduos da fabrica�o, formula�o, distribui�o e utiliza�o de revestimentos (tintas, vernizes e esmaltes v�treos), colas, vedantes e tintas de impress�o;
<input type="checkbox"/>	09 - Resíduos da indústria fotográfica;
<input type="checkbox"/>	10 - Resíduos de processos térmicos;
<input type="checkbox"/>	11 - Resíduos de tratamentos químicos e revestimentos de metais e outros materiais; resíduos da hidrometalurgia de metais n�o ferrosos;
<input type="checkbox"/>	12 - Resíduos da moldagem e do tratamento físico e mec�nico de superfície de metais e plásticos;
<input type="checkbox"/>	13 - óleos usados e resíduos de combustíveis líquidos (exceto óleos alimentares e capítulos 05, 12 e 19);
<input type="checkbox"/>	14 - Resíduos de solventes, fluidos de refrigera�o e gases propulsores org�nicos (exceto 07 e 08);
<input type="checkbox"/>	15 - Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestu�rio de prote�o n�o anteriormente especificados;
<input type="checkbox"/>	16 - Resíduos n�o especificados em outros capítulos desta Lista;
<input type="checkbox"/>	17 - Resíduos de constru�o e demoli�o (incluindo solos escavados de locais contaminados);
<input type="checkbox"/>	18 - Resíduos dos serviços de saúde;
<input type="checkbox"/>	19 - Resíduos de instala�es de gestão de resíduos, de esta�es de tratamento de �guas residuais e da prepara�o de água para consumo humano e água para consumo industrial;
<input type="checkbox"/>	20 - Resíduos sólidos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços), incluindo as fra�es provenientes da coleta seletiva.