



MESTRADO EM ENERGIA

MARIANA FERREIRA SANTOS

**PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO TÉCNICA DE RESÍDUOS PERIGOSOS PARA
REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM FORNOS DE CLÍNQUER**

Salvador
2021

MARIANA FERREIRA SANTOS

**PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO TÉCNICA DE RESÍDUOS PERIGOSOS PARA
REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM FORNOS DE CLÍNQUER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia – Mestrado em Energia da Universidade Salvador (UNIFACS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dr^a Leila Maria Aguilera Campos.

Salvador
2021

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIFACS Universidade
Salvador

Santos, Mariana Ferreira

Protocolo de avaliação técnica de resíduos perigosos para reaproveitamento energético em fornos de clínquer. / Mariana Ferreira Santos. – Salvador, 2021.

134 f.: il.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energia – Mestrado em Energia da UNIFACS Universidade Salvador, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dra. Leila Maria Aguilera Campos.

1. Resíduos perigosos. 2. Resíduos industriais. 3. Reaproveitamento energético. 4. Tratamento térmico. I. Campos, Leila Maria Aguilera, orient. II. Título.

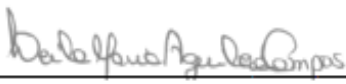
CDD:628.42

MARIANA FERREIRA SANTOS


PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO TÉCNICA DE RESÍDUOS PERIGOSOS PARA
REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM FORNOS DE CLÍNQUER

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia – Mestrado em Energia da Universidade Salvador (UNIFACS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre e aprovada pela seguinte banca examinadora:


Leila Maria Aguilera Campos


Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia, Brasil
Universidade Salvador - UNIFACS

Victor Menezes Vieira


Doutor em Geologia pela Universidade Federal da Bahia, Brasil
Universidade Salvador - UNIFACS

Marcelo Pestana Vieira


Gestão Ambiental pela CDG - Carl Duisberg Gesellschaft / Alemanha
Instituto Federal da Bahia

Salvador, 20 de maio de 2021.

À todas as mulheres da minha família, pela
coragem, dedicação, força e ternura.

AGRADECIMENTOS

Trabalhar com resíduos é um grande desafio devido às surpresas que a cada momento encontramos além de termos uma cultura de pouca valorização. Mas sempre encarei essas surpresas como um combustível para esse trabalho, pois reconheço o quanto ele é fundamental para a sociedade e meio ambiente. Em meio à tantas dificuldades, pessoas incríveis estiveram no meu caminho e que eu não tenho nem palavras para agradecer, mas vou tentar.

Inicialmente, à minha orientadora, Prof^ª. Dr^ª. Leila M. A. Campos, por todo apoio e paciência.

À toda equipe que trabalhou e trabalha comigo direta e indiretamente, vocês são especiais, dedicados e representam o real significado de resiliência.

À Maciel e Wilker que me abraçaram em meu primeiro grande desafio profissional e me ensinaram tudo que sei sobre como operar uma planta e liderar uma equipe.

À Adriano Perrone por ter me ensinado que podemos trabalhar com o olhar de processo químico. Sua animação e força de vontade são admiráveis.

À Carol, Diana, Joana, Lenise, Diana e Sintia por serem parceiras das dores e das comemorações.

À CETREL por ser uma grande escola, todo dia aprendo algo novo.

Aos meus amigos do mestrado que trouxeram diversão e boas discussões para esse momento desafiador. Em especial à Marcele, amiga de profissão e quem dividiu comigo as angústias de todo o processo.

Aos meus pais que sempre foram inspiração.

À todas as mulheres da minha família que sempre me ensinaram que não existe limites para os nossos objetivos.

À minha irmã, primas, primos e amigos que sempre estiveram comigo nos momentos de lazer me dando força.

À minha filha Amora por todos os momentos que eu precisei me ausentar, você é minha grande força!

RESUMO

As indústrias cimenteiras apresentam um impacto ambiental significativo através de elevadas emissões de gases de efeito estufa devido ao consumo de combustíveis fósseis. O co-processamento surge através da necessidade do reaproveitamento energético de resíduos industriais, aliado a um processo seguro de tratamento térmico desses resíduos. Trata-se de uma operação combinada entre as indústrias geradoras de resíduos e cimenteiras, nas quais o resíduo gerado é tratado termicamente com aproveitamento do seu poder calorífico, com consequente redução do consumo de combustíveis fósseis. Entretanto, esse processo pode trazer riscos para as empresas produtoras de clínquer e corresponsabilidade para as empresas geradoras devido à presença de componentes que conferem periculosidade aos resíduos tais como, metais pesados e substâncias orgânicas difíceis de serem tratadas. A atual resolução brasileira CONAMA 499/20, que dispõe sobre o licenciamento do co-processamento em fornos de clínquer, define parâmetros para avaliação dos riscos associados às emissões atmosféricas, porém não abrange os demais riscos. Desta forma, este trabalho tem como objetivo, apresentar uma proposta de protocolo para avaliação desses resíduos de forma a proporcionar segurança no reaproveitamento energético em fornos de clínquer. As avaliações realizadas foram nos âmbitos ambiental, de segurança de processo e saúde ocupacional, através da avaliação de leis, resoluções, diretrizes e normas, referentes à gestão de resíduos, co-processamento e avaliação de riscos. Para aplicação e avaliação da funcionalidade do protocolo foi realizado um estudo de caso que analisou dois tipos de resíduos de uma empresa gerenciadora de resíduos em Camaçari-BA. O protocolo elaborado se mostrou eficiente para análise dos resíduos industriais em questão, sendo capaz de identificar e mensurar qualitativamente os impactos presentes no processo das cimenteiras. Os resíduos avaliados pelo protocolo, a borra oleosa peneirada e o resíduo triturado, apresentaram viabilidade técnica para realizar o aproveitamento térmico. Foram identificados cenários de potencial risco baixo e médio, os quais geraram recomendações para serem aplicadas, antes de realizar o aproveitamento térmico.

Palavras-chave: Co-processamento, tratamento térmico, resíduos perigosos, resíduos industriais, análise de risco.

ABSTRACT

The cement industries have a significant environmental impact through high emissions of greenhouse gases due to the consumption of fossil fuels. Co-processing arises through the need for energy reuse of industrial waste combined with a safe process for the thermal treatment of this waste. It is a combined operation between the industries that generate waste and cement, in which the waste generated is heat treated with the use of its calorific value, with a consequent reduction in the consumption of fossil fuels. However, this process can bring risks for companies that produce clinker and co-responsibility for generating companies, due to the presence of components that make the waste dangerous, such as heavy metals and organic substances that are difficult to be destroyed. The current Brazilian resolution CONAMA 499/20, which provides for the licensing of co-processing in clinker kilns, defines parameters for assessing the risks associated with atmospheric emissions, but does not cover the other risks. In this way, this work has as objective, to present a proposal of protocol for evaluation of these residues in order to provide security in the energy reuse in clinker furnaces. The assessments carried out were in the areas of environment, process safety and occupational health, through the assessment of laws, resolutions, guidelines and standards, referring to waste management, co-processing and risk assessment. To apply and evaluate the protocol's functionality, a case study was carried out that analyzed two types of waste from a waste management company in Camaçari-BA. The protocol developed proved to be efficient for the analysis of the industrial waste in question, being able to identify and qualitatively measure the impacts present in the cement process. The residues evaluated by the protocol, the sieved oily sludge and the crushed residue, showed technical feasibility to carry out the thermal exploitation. Both were not technically unfeasible, although potential low and medium risk scenarios were identified. These risk scenarios generated recommendations to be applied before making thermal use.

Keywords: Co-processing, thermal treatment, hazardous waste, industrial waste, risk analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo de produção de clínquer.....	18
Figura 2 - Fluxo simplificado da operação combinada da tecnologia de co-processamento ...	21
Figura 3 - Pontos de alimentação de resíduos no forno de clínquer.....	22
Figura 4 - Composição dos combustíveis alternativos utilizados pelas indústrias cimenteiras no ano de 2018.....	24
Figura 5 - Unidades de coprocessamento localizadas no Brasil.....	25
Figura 6 - Gráfico comparativo entre países para emissão de CO ₂ por tonelada de cimento produzida	25
Figura 7 - Meta para substituição energética até o ano 2050 por região, no Brasil	26
Figura 8 - Prioridade na gestão de resíduos sólidos	29
Figura 9 - Percentual da contribuição da incineração de resíduos na geração de energia elétrica renovável.....	35
Figura 10 - Diagrama operacional de uma central de mistura de resíduos.....	37
Figura 11 - Exemplo de identificação de transporte de resíduos perigosos	41
Figura 12 - Resíduo borra oleosa peneirada	52
Figura 13 - Resíduo triturado.....	52
Figura 14 - Seções coletadas das amostras e quarteamento da amostra.....	53
Figura 15 - Amostra triturada	53
Figura 16 - Fluxograma para avaliação técnica de resíduos industriais visando seu reaproveitamento energético em fornos de clínquer.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais vantagens e desvantagens de tecnologias usuais de aproveitamento energético de resíduos	33
Quadro 2 - Classificação de resíduos por grupos de constituintes químicos.....	46
Quadro 3 - Incompatibilidade química entre componentes presentes nos resíduos (cont.)	47
Quadro 4 - Categorias de frequência para análises de riscos de processo.....	49
Quadro 5 - Categorias de severidade para análises de riscos de processo	50
Quadro 6 - Matriz de aceitabilidade para análises de riscos de processo.....	51
Quadro 7 - Parâmetros selecionados para compor o protocolo de avaliação técnica de resíduos	55
Quadro 8 - Avaliação completa do aceite técnico para o resíduo borra oleosa peneirada	64
Quadro 9 - Avaliação técnica do resíduo triturado.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metas de redução de emissão de toneladas CO ₂ por tonelada de cimento produzido para a indústria brasileira do cimento.....	20
Tabela 2 - Dados da geração de resíduos sólidos industriais no Brasil (toneladas)	28
Tabela 3 - Parâmetros analisados no protocolo do resíduo borra oleosa peneirada	60
Tabela 4 - Parâmetros analisados no protocolo do resíduo triturado	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
APP	Análise Preliminar de Risco
CAF	Com Afastamento
CEPRAM	Conselho Estadual do Meio Ambiente da Bahia
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Política Ambiental
DN	Deliberação Normativa
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler
GEE	Gases de Efeito Estufa
GTZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i>
HOLCIM	<i>Holcim Limited/Holcim Group</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LOPA	<i>Layer of Protection Analysis</i>
M	Mil

MM	Milhões
MP	Material Particulado
NA	Não Aplicado
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PCBs	Bifenilas Policloradas
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PCOP	Principal Componente Orgânico Persistente
PCS	Potencial Calorífico Superior
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PRA	Potencial de Risco Alto
PRB	Potencial de Risco Baixo
PRM	Potencial de Risco Médio
SAA	Simple Atendimento Ambulatorial
SAF	Sem Afastamento
SVOC's	Compostos Orgânicos Semivoláteis
U\$	Dólar
VOC's	Compostos Orgânicos Voláteis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 A INDÚSTRIA DO CIMENTO.....	18
3.1.1 Co-processamento.....	20
3.1.2 Panorama do Co-processamento.....	24
3.2 RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....	27
3.2.1 Gerenciamento dos Resíduos.....	29
3.2.2 Tratamento Térmico	30
3.2.3 Reaproveitamento Energético de Resíduos (<i>Waste to Energy</i>).....	34
3.2.4 Mistura de Resíduos e Centrais de Mistura.....	36
3.2.5 Riscos no Reaproveitamento Térmico de Resíduos.....	38
3.2.5.1 Segurança de Processo	39
3.2.5.2 Transporte de Resíduos Perigosos	40
3.2.5.3 Exposição à Saúde Ocupacional.....	41
3.2.5.4 Meio Ambiente	42
3.2.5.5 Qualidade do Cimento.....	43
4 METODOLOGIA.....	45
4.1 ELABORAÇÃO DO PROTOCOLO	45
4.2 ESTUDO DE CASO	51
4.2.1 Origem e Descrições das Amostras	51
4.2.2 Preparo e Análise das Amostras.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.1 PROTOCOLO	55
5.2 ESTUDO DE CASO	59
5.2.1 Resíduo Borra Peneirada.....	59
5.2.2 Resíduo Triturado	67
6 CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS.....	76
ANEXO A.....	82

ANEXO B	83
ANEXO C	84
ANEXO D	89
ANEXO E	92
ANEXO F	95
ANEXO G	110
ANEXO H	111
ANEXO I	112
ANEXO J	126

1 INTRODUÇÃO

O advento da indústria química apresentou muitos ganhos para a população em geral, uma vez que contribuiu para o seu desenvolvimento através da disponibilização de produtos associados à segurança alimentar, saúde, mobilidade, construção, entre outros. No entanto, o processo produtivo desta mesma indústria acaba criando um problema significativo, a nível global, que consiste na geração de resíduos industriais perigosos, que impacta de sobremaneira o meio ambiente.

Anualmente, no Brasil são gerados cerca de quatro milhões de toneladas de resíduos perigosos. Segundo o IPEA (2012), a disposição adequada desses resíduos é uma importante estratégia de preservação do meio ambiente, assim como de promoção e proteção da saúde.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS 12.305/10) dispõe que, a priorização para o gerenciamento do resíduo sólido hierarquiza a prevenção e redução, seguida pela valorização do resíduo, antes de optar pela destinação final em aterros. Em complemento a PNRS 12.205/10 no que tange ao gerenciamento de resíduos, a Lei 9.487/1997 que institui a Política Energética Nacional, visa a valorização dos recursos energéticos, promovendo a sua conservação de energia. Desta forma, resíduos industriais perigosos, que apresentarem potencial energético, poderão ser reaproveitados agregando valor para toda a cadeia de gerenciamento de resíduos.

As indústrias cimenteiras, responsáveis também pelo desenvolvimento da infraestrutura de um país, impacta negativamente no meio ambiente, mediante o consumo de combustíveis fósseis e elevadas emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, sendo a etapa de clínquerização a maior responsável pelo consumo energético desta indústria, através do consumo do coque. O reaproveitamento energético de resíduos industriais surge como alternativa para a redução do consumo deste combustível, através do co-processamento (OLIVEIRA, 2019).

O co-processamento consiste em um tipo de tratamento térmico para resíduos realizado em fornos de produção de cimento e que, quando associado ao aproveitamento energético dos resíduos, apresenta diversos benefícios socioambientais, a exemplo da redução de emissão de GEE e a não disposição de resíduos em aterros. Trata-se de uma operação combinada entre as indústrias químicas e cimenteiras, cujos resíduos gerados são tratados termicamente, com consequente aproveitamento do seu poder calorífico (PENNA, 2020). Entretanto, caso haja variações no processo tais como, alterações na qualidade do cimento, devido a presença de componentes que conferem periculosidade aos resíduos, a exemplo de

metais pesados e substâncias orgânicas persistentes, ou emissões atmosféricas fora do padrão, o co-processamento pode trazer riscos para as cimenteiras e corresponsabilidade para as empresas geradoras de resíduos.

No Brasil, a resolução CONAMA 499/2020 dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer. Entretanto, esta resolução não se mostra abrangente para realizar a avaliação dos riscos desta operação, por conta das diversas vertentes envolvidas nesse processo.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo, apresentar uma proposta de protocolo para avaliação desses resíduos de forma a proporcionar segurança no reaproveitamento energético em fornos de clínquer. As avaliações dos resíduos foram realizadas levando-se em conta os âmbitos ambientais, de segurança de processo e saúde ocupacional, através da análise de leis, resoluções, diretrizes e normas, referentes à gestão de resíduos, co-processamento e avaliação de riscos.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Proposta de protocolo visando a avaliação técnica de resíduos perigosos, com foco no reaproveitamento energético em indústrias de produção de clínquer.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar os riscos associados ao tratamento térmico de resíduos perigosos utilizando a matriz de aceitabilidade de riscos para suporte do gerenciamento de resíduos perigosos industriais;
- Apresentar arcabouço regulatório referente à gestão de resíduos, co-processamento e avaliação de riscos, levando-se em conta o meio ambiente, a segurança do processo e a saúde ocupacional;
- Realizar estudos de caso utilizando resíduos industriais perigosos a fim de avaliar a eficiência da aplicação do protocolo.

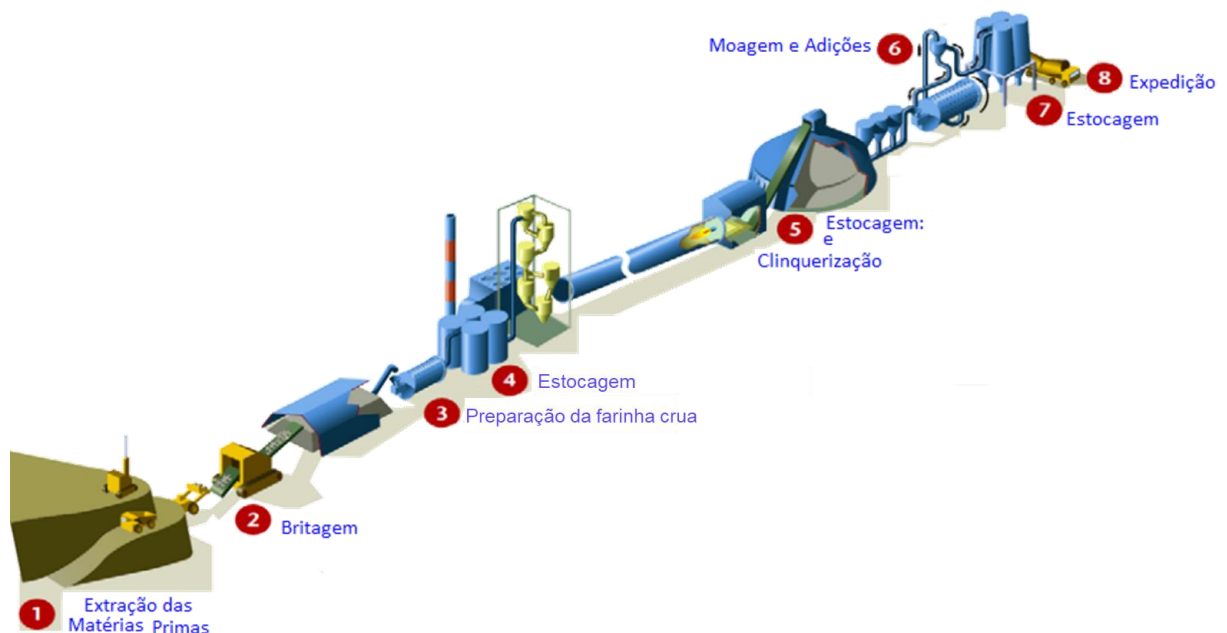
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A INDÚSTRIA DO CIMENTO

O cimento corresponde ao material mais produzido e mais consumido no mundo, sendo imprescindível para o desenvolvimento da infraestrutura de um país, pois constitui a base para proporcionar saúde e bem-estar à população através da construção de moradias, escolas, hospitais, estradas, obras de saneamento e energia. Responsável pela produção desse material, encontra-se uma indústria altamente complexa, de grande porte, intensiva em capital humano, financeiro e que apresenta um impacto ambiental significativo, com elevadas emissões de gás carbônico, um gás contribuinte para aceleração do efeito estufa (OLIVEIRA, 2019).

A Figura 1 mostra as diversas etapas do processo produtivo do clínquer que abrange, desde a extração de matéria prima, britagem, preparação da farinha crua, clinquerização, moagem e adição de aditivos, estocagem e expedição, as quais serão explicadas a seguir.

Figura 1 - Fluxo de produção de clínquer



Fonte: IEA/WBCSD (2009).

- **Etapas 1 e 2 - Extração e britagem das matérias-primas**

Para a produção do clínquer, composto cristalino precursor do cimento, faz-se necessária a extração de jazidas de carbonato de cálcio (CaCO_3) impuro, podendo conter possivelmente, pequenas proporções de minério de ferro, bauxita, xisto, argila e areia. Durante a britagem, a depender da composição da matéria-prima será necessário adicionar maiores quantidades de óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de alumínio (Al_2O_3) e/ou óxido de silício (SiO_2), com a finalidade de adequar a composição química da farinha crua, necessária ao processo de fabricação do cimento. Nesta etapa, os minérios extraídos são triturados de forma a se obter uma granulometria menor que 10 cm, para posterior encaminhamento para o doseamento.

- **Etapas 3 e 4 – Preparação da farinha crua**

O minério previamente britado, é dosado para o moinho até completa pulverização e assim obter a matéria-prima do clínquer, a farinha crua. Para garantir a qualidade do cimento, a composição química das matérias-primas deve ser monitorada e controlada. No preparo da farinha ainda são contempladas as etapas seguintes:

- a) Pré-aquecimento:

A farinha crua é transportada através de uma série de ciclones verticais, onde entra em contato com os gases já aquecidos do forno que se movem no sentido divergente. Nesses ciclones, a energia térmica dos gases quentes é recuperada e a farinha crua é pré-aquecida antes de entrar na câmara de combustão, onde ocorre a pré-calcinação.

- b) Pré-calcinação:

Nesta etapa, a farinha previamente aquecida, é alimentada em uma câmara de combustão situada antes do forno rotativo, onde o carbonato de cálcio sofre decomposição em óxido de cálcio e dióxido de carbono, sendo esta etapa, a responsável pelo maior percentual de emissão de CO_2 na produção do clínquer.

- **Etapa 5. Clinquerização**

A farinha pré-calcinada é alimentada no forno rotativo, no qual já tem coque queimando à $1.450\text{ }^\circ\text{C}$, cuja temperatura é suficiente para ocorrer reações entre os óxidos que compõe a farinha. Nesta etapa é produzido o clínquer, composto pelas seguintes substâncias: silicato tricálcico, aluminato tricálcico, silicato bicálcico, ferro aluminato tetracálcico, periclásio (óxido de magnésio), sulfatos, sulfetos e ferro metálico que, em seguida, é resfriado rapidamente para, cerca de, $100\text{ }^\circ\text{C}$ para posterior armazenamento e moagem.

- **Etapas 6 e 7 – Moagem, Adições e Estocagem**

O clínquer resfriado e moído é misturado com gesso produzindo o cimento Portland comum, contendo, aproximadamente 3% a 4% em peso de gesso. Outros aditivos e insumos também poderão ser adicionados nessa etapa, para a produção de diversas qualidades do cimento. O produto é homogeneizado e armazenado para as futuras aplicações.

Na produção do cimento são emitidos, cerca de, 60% a 70% de dióxido de carbono oriundos somente da etapa de calcinação. As demais emissões ocorrem na etapa da produção do clínquer através da queima de combustíveis fósseis (KARSTESSEN, 2008). Apesar do impacto ambiental ocasionado com a emissão atmosférica de GEE, a indústria de cimento nacional se comprometeu com a redução dessas emissões até o ano de 2030, através da substituição dos combustíveis convencionais pelos combustíveis alternativos, conforme mostra a Tabela 1 (OLIVEIRA, 2019).

Tabela 1 - Metas de redução de emissão de toneladas CO₂ por tonelada de cimento produzido para a indústria brasileira do cimento

Indicadores	2014	2030
Consumo Térmico (GJ/t clínquer)	3,5	3,47
Consumo Elétrico (kWh/t cimento)	113	106
Combustíveis Alternativos (% da substituição térmica)	15%	35%
Emissão Específica (t CO ₂ /t cimento)	0,56	0,48

Fonte: OECD/IEA (2016).

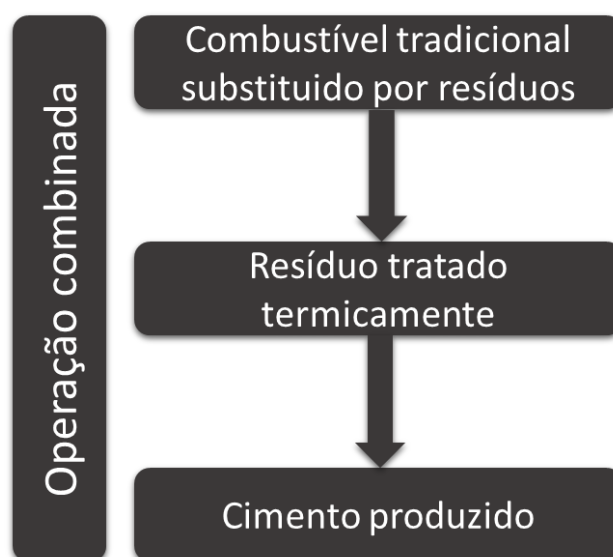
O compromisso para a redução de emissões de CO₂ demonstra a necessidade de investimento pela indústria cimenteira em melhorias de processo, a fim de minimizar as emissões de gases de efeito estufa. Um viés para essas melhorias e diminuição das emissões gasosas consiste na redução da dependência por combustíveis fósseis, através da sua substituição por resíduos energético, aliando, desta forma, a gestão adequada para destinação de resíduos perigosos à recuperação energética.

3.1.1 Co-processamento

O co-processamento é o tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer, sem a geração de subprodutos, no qual o coque é substituído por resíduos energéticos. Neste

processo, ocorre a destruição dos principais componentes orgânicos perigosos do resíduo, o que o torna uma alternativa para a redução do consumo de combustíveis fósseis tradicionais nas cimenteiras (BAYDIA, 2016). Portanto, trata-se de uma operação combinada, na qual a indústria cimenteira consegue reduzir, tanto o consumo de combustíveis tradicionais, quanto as emissões atmosféricas de GEE, além de destruir termicamente os resíduos. A Figura 2 mostra o fluxo simplificado da operação combinada referente à tecnologia de co-processamento.

Figura 2 - Fluxo simplificado da operação combinada da tecnologia de co-processamento



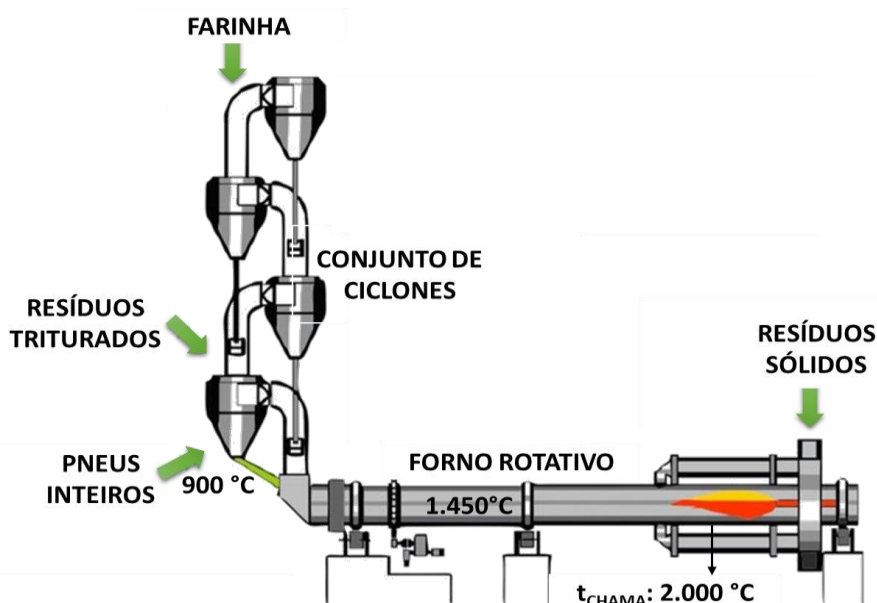
Fonte: Adaptado de Penna (2020).

Para que o resíduo seja co-processado, precisa primeiramente possuir quantidade de energia suficiente para realizar a substituição energética dos combustíveis convencionais. Comumente, as indústrias de cimento utilizam o coque de petróleo como combustível fóssil, cujo poder calorífico é maior que 8.400 kcal/kg. Para que o resíduo seja considerado um substituinte energético precisa ter um poder calorífico superior de, no mínimo, 2.500 kcal/kg (GEORGIPOULOU, 2017).

Diferente dos tratamentos térmicos convencionais a exemplo da incineração, o co-processamento é realizado em fornos de cimento sem necessitar da construção ou aquisição de um ativo específico para essa atividade. Os fornos de clínquer apresentam condições físico-químicas ideais para o tratamento térmico de resíduos por apresentarem um longo tempo de residência e boa turbulência dos gases, excesso de oxigênio no processo de combustão,

atmosfera alcalina e oxidante, além de temperatura do forno superior a 1.400 °C, o que garante a destruição completa da matéria orgânica (Figura 3). Em complemento, não há geração de cinzas e ou escórias pois os compostos inorgânicos, os quais não são destruídos termicamente, são incorporados na estrutura cristalina do clínquer (CHADBOURNE, 1997). A Figura 3 mostra os pontos de alimentação dos diferentes resíduos no forno de clínquer.

Figura 3 - Pontos de alimentação de resíduos no forno de clínquer



Fonte: Adaptado de Santos (2009).

Os resíduos a serem co-processados são aqueles que podem substituir a matéria-prima de fabricação do clínquer, por apresentar algum componente químico semelhante (óxido de ferro, de alumínio ou cálcio), ou substituintes energéticos, por possuírem potencial energético semelhante ao combustível utilizado no processo. São geralmente resíduos provenientes de atividades agrárias como embalagens e biomassas ou, de atividades industriais, plásticos, borrachas, madeiras, solventes, óleos, borras oleosas e de tintas (HANSEN, 1996). Os resíduos substituintes de matéria-prima são alimentados junto com as misturas na farinha e os resíduos substituintes de combustível são alimentados diretamente no forno (KASRSTENSEN, 2008).

Em 2006 a HOLCIM, uma das empresas líderes produtoras de cimento, junto com a GTZ, agência de cooperação técnica do governo alemão, publicou as “Diretrizes sobre Co-

processamento de Resíduos na Produção de Cimento”. Nessas diretrizes, foi ressaltado que para que haja o coprocessamento, deverá ser considerada:

- A hierarquia dos resíduos conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- As emissões adicionais e impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente devem ser evitados;
- Que a qualidade do cimento não seja alterada;
- Que as empresas envolvidas no co-processamento devem ser qualificadas;
- Que na implementação do co-processamento deve seguir as características do país.

As diretrizes incluem ainda princípios e requisitos específicos para o co-processamento de resíduos nos fornos de cimento, tais como: a observação e o cumprimento das leis e regulamentos que se aplicam ao assunto; aspectos ambientais da produção de cimento e do pré-processamento de matérias-primas e combustíveis alternativos; questões operacionais; segurança e saúde ocupacional; além de comunicação e responsabilidade social corporativa das indústrias de cimento.

Para que o resíduo seja co-processado, precisa apresentar pré-requisitos técnicos mínimos para seja substituído termicamente. Desta forma, para que ele seja utilizado como combustível alternativo é importante avaliar os seguintes itens:

- Capacidade da substituição energética, ou seja, a quantidade de calor liberado na combustão do resíduo. Esta avaliação é feita através do potencial calorífico do resíduo;
- Concentração de componentes inorgânicos que o resíduo apresenta, pois interferirá diretamente na qualidade do clínquer produzido. Esta avaliação é feita através do percentual em massa de cinzas do resíduo;
- Quantidade de umidade do resíduo, que é um parâmetro limitante operacional, por impactar no aumento da temperatura de combustão dos gases no interior do forno, além de ser um parâmetro indireto para avaliar o potencial calorífico do resíduo;
- Restrições legais, conforme definido pelo CONAMA 499/20, que dispõe sobre o licenciamento da atividade de co-processamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer;
- Presença de compostos como o cloro, flúor e enxofre, que podem alterar a qualidade do clínquer produzido e/ou as emissões atmosféricas.

Na maioria das vezes, esses resíduos não estão prontos ou adequados para serem alimentados diretamente nos fornos de clínquer. Desta forma, faz-se necessário algum tipo de

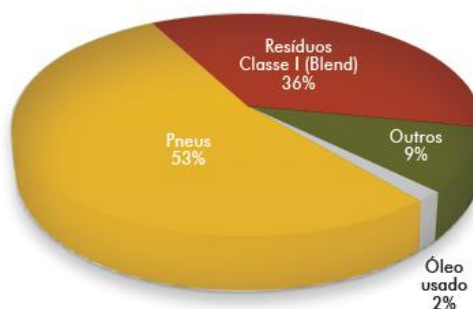
tratamento ou mistura (*Blend*), denominado blendagem, para que sejam especificados todos os parâmetros e requisitos mínimos para o seu coprocessamento.

3.1.2 Panorama do Co-processamento

De acordo com o relatório do Panorama do Coprocessamento 2020, realizado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), no Brasil foram coprocessados 1.258 milhões de toneladas de resíduos em 2018, um aumento de 400% quando comparado com o início das operações no Brasil no final da década de 90.

Dos combustíveis utilizados pela indústria brasileira de cimentos, cerca de 15% é proveniente da substituição energética através do co-processamento de resíduos a exemplo dos resíduos de biomassa e combustíveis fósseis alternativos (resíduos energéticos). Dos resíduos substitutos de combustíveis destacam-se os pneus inservíveis (53%) e *blend* de resíduos (36%) conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Composição dos combustíveis alternativos utilizados pelas indústrias cimenteiras no ano de 2018



Fonte: Penna (2020).

O Brasil é um dos maiores produtores de cimento no mundo, sendo que em 2016, foi o sexto maior produtor e o oitavo maior consumidor mundial desse insumo. Atualmente no Brasil existem 100 unidades produtoras de cimento, das quais 37 unidades realizam o co-processamento (PENNA, 2020). As indústrias de cimento estão localizadas em sua maior parte na região costeira do país (Figura 5).

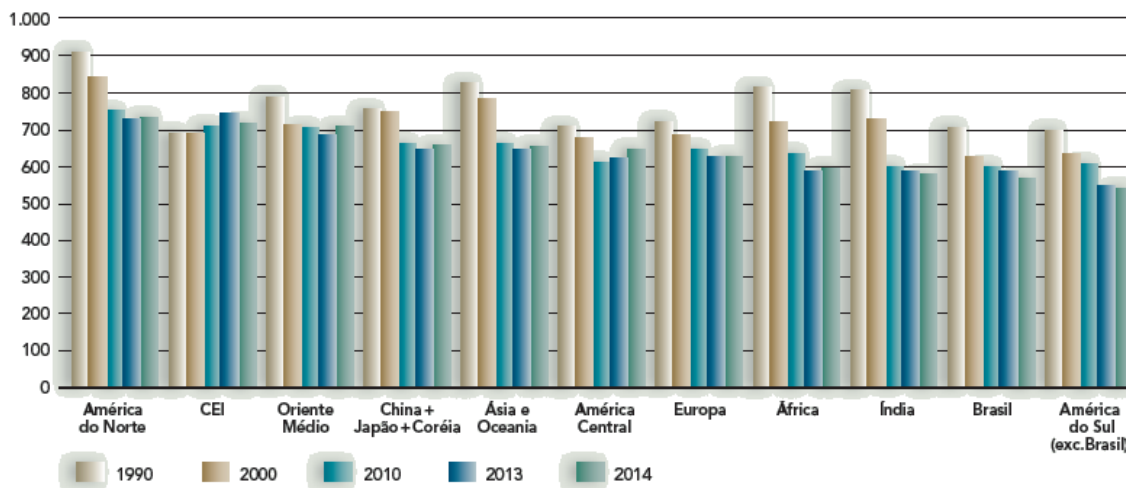
Figura 5 - Unidades de coprocessamento localizadas no Brasil



Fonte: ABCP/SNIC (2018).

Apesar de ser um dos maiores países produtores de cimento, o Brasil apresenta uma das menores emissões de CO₂ por tonelada de cimento produzido (Figura 6). Isso se deve ao fato da substituição do clínquer por outros materiais, pela eficiência térmica, elétrica e pela substituição energética através dos combustíveis alternativos (OLIVEIRA, 2019).

Figura 6 - Gráfico comparativo entre países para emissão de CO₂ por tonelada de cimento produzida
kg CO₂ / t cimento

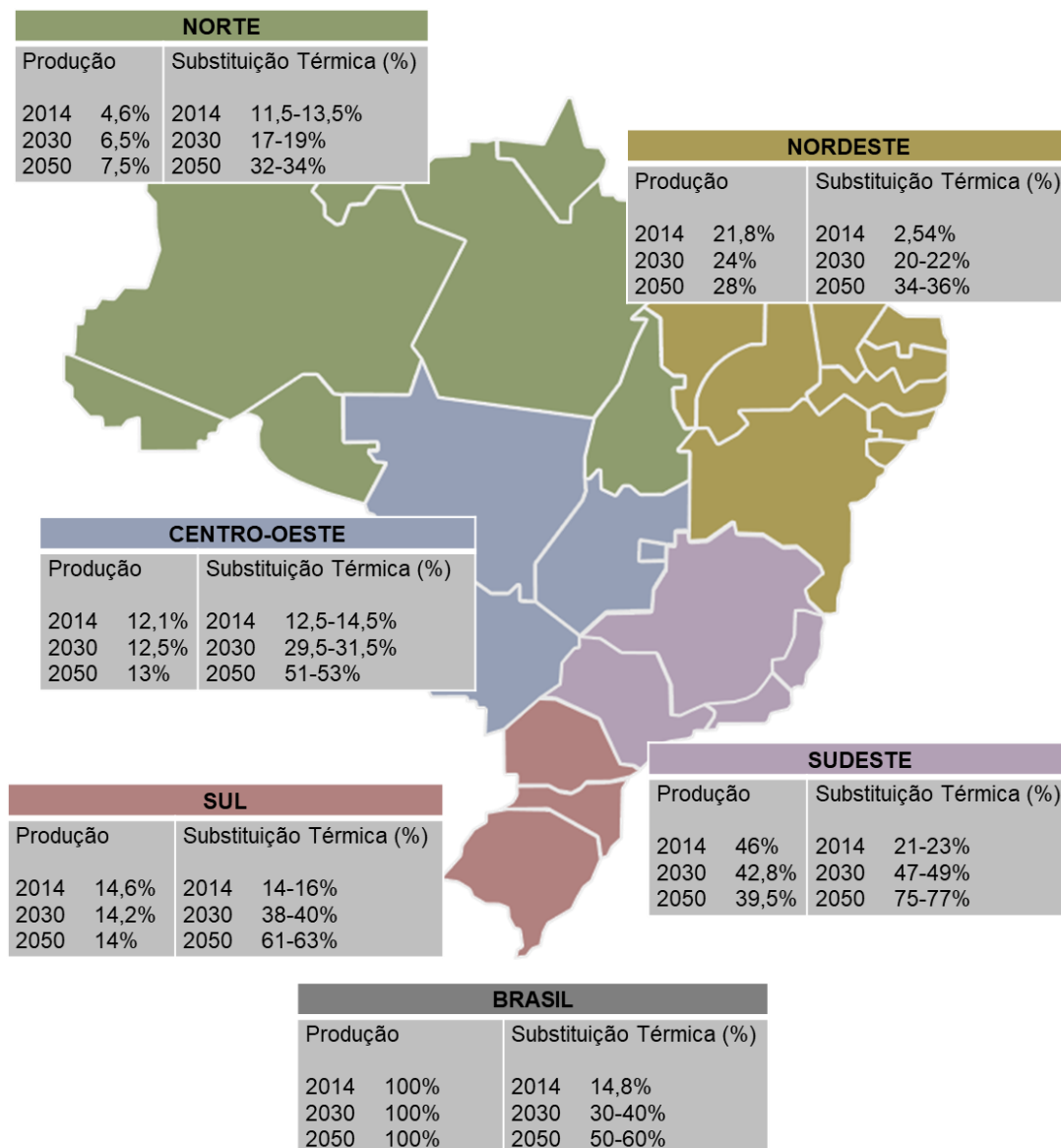


Fonte: ABCP/SNIC (2018).

Apesar do Brasil estar posicionando como um país com menores taxas de emissão de CO₂ por tonelada de cimento produzido, existe ainda uma necessidade de reduzir mais essa taxa devido ao atendimento das metas definidas no Acordo de Paris e pela elevada demanda

energética desta indústria. Como alternativa, uma das principais apostas da indústria cimenteira é o aumento da substituição energética de 15% atual para 60% em 2050 por combustíveis não convencionais, conforme mostra a Figura 7 (OLIVEIRA, 2019).

Figura 7 - Meta para substituição energética até o ano 2050 por região, no Brasil



Fonte: Adaptado de Oliveira (2019).

3.2 RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Segundo a Lei PNRS 12.305/2010, os resíduos sólidos correspondem a todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

A mesma Lei sanciona que, após a geração do resíduo, o gerador é o responsável pelo gerenciamento adequado do resíduo, que contempla coleta, transporte e destinação final de forma ambientalmente adequada.

Conforme a ABNT NBR 10.004/2004, a classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características. Em complemento a classificação da ABNT NBR 10.004/2004, o Art. 13 da PNRS 12.305/2010, classifica o resíduo sólido conforme sua origem sua periculosidade (ANEXO A).

A PNRS 12.305/2010 define que a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, inclui os processos de reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação, reaproveitamento energético e a disposição final, os quais precisam atender as normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, além de minimizar os impactos ambientais adversos.

A Portaria 313/2002 do CONAMA, que dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais, define que resíduo sólido industrial é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso - quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Conforme o Anexo B do CONAMA 313/2002, os resíduos industriais perigosos são classificados em função dos riscos à exposição, saúde e ao meio ambiente, sendo considerados aqueles que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade, dentre outras características.

Apesar de haver uma resolução específica para que sejam inventariados os resíduos gerados pelas indústrias, existe uma dificuldade na consolidação e apresentação desses dados

frente a ausência de um inventário nacional que consolide os dados de geração dos resíduos apresentados ao IBAMA pelas indústrias. Em complemento, existe uma falta de padronização dos inventários que são informados aos órgãos ambientais (IPEA, 2012).

Independente da dificuldade para consolidação dos inventários, algumas associações nacionais como a ABELPRE (Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos) e o IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) elaboraram um diagnóstico dos resíduos industriais produzidos no Brasil. É um diagnóstico incompleto o qual é necessário cautela nas interpretações uma vez que apenas treze estados brasileiros disponibilizam publicamente as informações.

Entretanto, observa-se que mesmo com quantidade de informações limitadas é possível ter um panorama da quantidade de resíduos industriais perigosos que são gerados no Brasil, anualmente. Conforme mostra a Tabela 2, apenas em treze estados, foram gerados, aproximadamente, quatro milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos, o que representa uma elevada demanda para tratamentos especiais destes resíduos com potenciais impactos para a saúde e meio ambiente (IPEA, 2012).

Tabela 2 - Dados da geração de resíduos sólidos industriais no Brasil (toneladas)

Estado	Resíduo perigoso	Resíduo não perigoso	Total
Acre	5.500	112.765	118.265
Amapá	14.341	73.211	87.552
Ceará	115.238	393.831	509.069
Goiás	1.044.947	12.657.326	13.702.273
Mato Grosso	46.298	3.448.856	3.495.154
Minas Gerais	828.183	14.337.011	15.165.194
Paraíba	657	6.128.750	6.129.407
Pernambuco	81.583	7.267.930	7.349.513
Paraná	634.543	15.106.393	15.740.936
Rio Grande do Norte	3.363	1.543.450	1.546.813
Rio Grande do Sul	182.170	946.900	1.129.070
Rio de Janeiro	293.953	5.768.562	6.062.515
São Paulo	535.615	26.084.062	26.619.677
Total	3.786.391	93.869.046	97.655.438

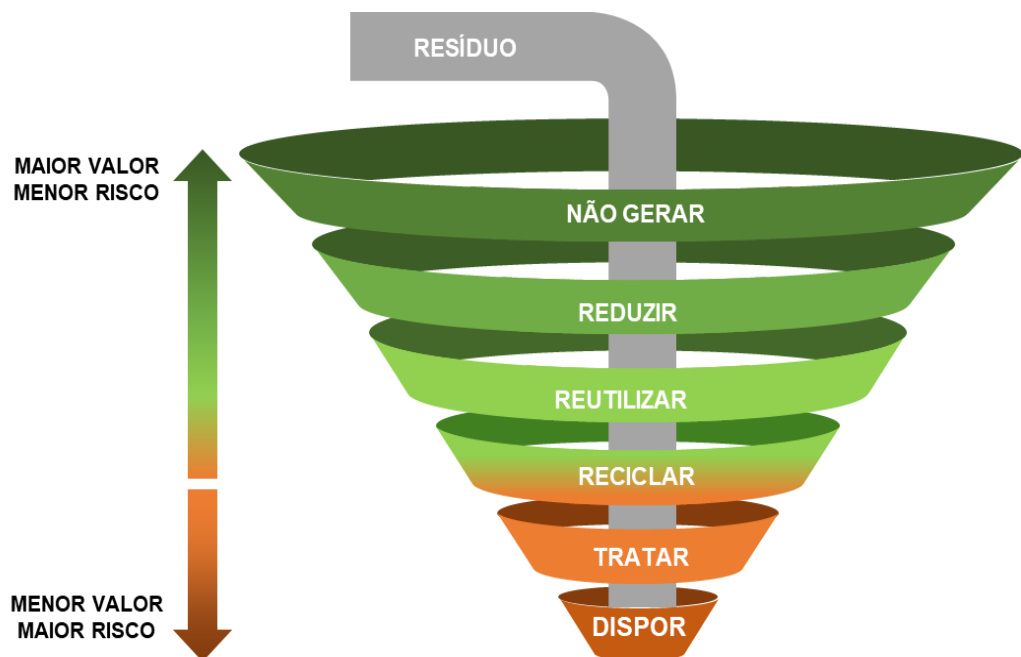
Fonte: IPEA (2012).

3.2.1 Gerenciamento dos Resíduos

A disposição adequada dos resíduos é uma importante estratégia de preservação do meio ambiente, assim como de promoção e proteção da saúde. Uma vez acondicionados inadequadamente, dispostos em aterros de forma não controlada, ou até submetidos a tratamentos térmicos mal dimensionados, os resíduos sólidos podem comprometer a qualidade do solo, da água e do ar, por serem fontes primárias de contaminação, a exemplo de lixiviação de chumbo para solo e corpos hídricos, emissões de gases de efeito estufa devido a decomposição da matéria orgânica e, alteração da qualidade do ar pela incineração não controlada de resíduos. De modo geral, os impactos dessa degradação estendem-se para além das áreas de disposição final dos resíduos, afetando toda a população (GOUVEIA, 2012).

Desde a década de 1990, o PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) conceitua que, para o gerenciamento de resíduos sólidos existe uma hierarquia que precisa ser respeitada preferencialmente. A Lei PNRS 12.305/2010 dispõe sobre a prioridade no gerenciamento do resíduo partindo da não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final (aterro), conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 - Prioridade na gestão de resíduos sólidos



Fonte: Adaptado de Fagundes (2015).

- **Não gerar:** atividade produtiva sem produção de resíduos;
- **Reduzir:** otimização da atividade produtiva, incluindo reavaliação de processos e equipamentos com foco na minimização dos resíduos;
- **Reutilizar:** viabilizar tecnicamente a reutilização dos resíduos gerados no próprio processo produtivo;
- **Reciclar:** viabilizar tecnicamente e economicamente as perdas nos processos e/ou produtos gerados transformando-os em insumos e novos produtos, após transformações físicas;
- **Tratar:** aplicação de técnicas, tais como a compostagem, recuperação, aproveitamento energético, coprocessamento, incineração, entre outras admitidas pelos órgãos competentes, de modo a valorizar o resíduo.
- **Dispor:** disposição de resíduos que não possuem viabilidade técnica ou econômica para a realização de nenhuma das etapas anteriores, em aterros controlados.

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2020), existe um grande potencial energético e econômico associado aos resíduos, no que diz respeito ao reaproveitamento e reciclagem, conferindo-lhes uma maior valorização. e que vem sendo desperdiçado, dada a forma inadequada com que os mesmos têm sido descartados nos aterros. Além do reaproveitamento ser dificultado com a descumprimento da PNRS 12.305/2010, outros fatores corroboram para a não reutilização dos resíduos como matéria-prima ou fonte energética, a exemplo de elevados custos de logística e o desconhecimento do seu potencial energético.

3.2.2 Tratamento Térmico

O tratamento térmico é uma das ações consideradas pela Lei PNRS 12.305/2010 como possibilidade adequada no gerenciamento de resíduos. O CONAMA 316/2016 dispõe sobre os procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos e define que, tratamento térmico é todo e qualquer processo cuja operação seja realizada em temperaturas superiores a 800 °C.

Entretanto, a literatura apresenta inúmeras definições, inclusive mais restritivas em termos de processo e, mais abrangente em faixas de temperatura para o tratamento térmico. Uma definição usual em complemento ao CONAMA 316/2016, é a de que o tratamento térmico é um processo termoquímico de conversão dos principais componentes persistentes de um resíduo através da aplicação de energia em forma de calor a uma elevada temperatura,

tendo todos os padrões de emissões controlados pelas legislações vigentes. É importante ressaltar que a temperatura mínima de reação assim como o tempo do processo irá variar conforme o tratamento térmico aplicado (LOMBARDI, 2015).

O tratamento térmico de resíduos pode ser aplicado como forma de gerenciamento de resíduos perigosos os quais possuam, em sua composição, elementos constituídos basicamente por carbono, hidrogênio e oxigênio para que seja realizado o processo de combustão (FEAM, 2012). Esta forma de tratamento é recomendada como alternativa à disposição final de resíduos em aterros pelo fato de o resíduo ter o seu volume reduzido (redução de 80 a 90%), seus compostos perigosos destruídos e emissões de subprodutos controladas (efluentes, emissões gasosas e resíduos – cinzas) (GOHLKE, 2007).

A depender da temperatura de combustão e quantidade de oxigênio envolvido no processo, o tratamento térmico poderá ser classificado em dessorção térmica, pirólise, gaseificação, incineração e co-incineração ou co-processamento, conforme descritos a seguir:

a) Pirólise: É um tratamento realizado na ausência ou quase ausência de oxigênio. A temperatura de reação ocorre entre 400 °C e 800 °C, de forma que seja suficiente para a conversão da matéria orgânica em outros subprodutos, geralmente produtos líquidos. Quanto maior a temperatura do processo, maior a fração gasosa obtida (LOMBARDI, 2015). O balanço energético desse processo geralmente é positivo, devido ao fato dos seus produtos serem mais energéticos do que os resíduos pirolisados. Entretanto, vale ressaltar que se o resíduo precisar de preparo antes de ser pirolisado o consumo energético nesta etapa precisará ser contemplado no balanço energético (FEAM, 2012).

b) Gaseificação: Processo no qual o resíduo é transformado em um gás combustível, denominado gás de síntese (*syngas*), através da oxidação parcial da matéria orgânica, normalmente a temperaturas superiores a 600 °C, a depender da tecnologia aplicada e da qualidade dos gases requeridos (ARENA, 2012). O gás de síntese não possui uma composição específica para a obtenção dos resíduos, devido às variações de processos e de matéria-prima, sendo constituído por uma mistura (monóxido de carbono, hidrogênio e baixa concentração de metano), originados de uma combustão incompleta o que lhe confere o elevado poder calorífico. Entretanto, o grande problema na utilização desse gás, obtido pelo processamento de resíduos, são as impurezas presentes tais como, o alcatrão, metais alcalinos, cloretos e sulfetos, que geram dificuldades para a sua aplicação devido às incrustações formadas nas tubulações e partes móveis dos equipamentos (BEBAR, 2005).

c) Incineração: Processo de combustão controlada que ocorre na presença de oxigênio, com o objetivo de degradação térmica dos principais compostos orgânicos persistentes do

resíduo, tornando o resíduo inerte, e com pouco volume podendo, em alguns casos, gerar energia a partir do reaproveitamento do calor liberado na combustão (VIEIRA, 2012; SCHMIDL, 2018). Segundo Li et al. (2021), esse processo é comumente criticado pela possibilidade de gerar e emitir dioxinas e furanos no processo de combustão de resíduos que contenham cloro em sua composição e o tipo de tratamento térmico que mais gera gases de efeito estufa. Normalmente essa tecnologia é mais aplicada para resíduos complexos (resíduos agrotóxicos, organoclorados, resíduos de saúde...) ou quando há viabilidade técnica para reaproveitamento energético dos resíduos (CUDJOE, 2021).

d) Co-incineração: Mais comumente conhecida como coprocessamento, trata-se de um processo de combustão, que ocorre com excesso de oxigênio, realizado em fornos rotativos de produção de clínquer. A temperatura de combustão acima de 1.500 °C e o ambiente oxidante do forno rotativo garantem que a matéria orgânica seja destruída termicamente e, os compostos inorgânicos sejam incorporados no clínquer (SOBIK-SZOLTYSEK; WYSTALSKA, 2019).

Dentre as opções de tratamento térmico de resíduos, o co-processamento destaca-se em relação às outras tecnologias, por promover a destruição completa da matéria orgânica que ocorre através do reaproveitamento energético, sem gerar subprodutos, apresentando baixo custo e dispensando investimentos em ativos específicos. O Quadro 1 mostra um resumo das vantagens e desvantagens das tecnologias mais usuais de tratamento térmico de resíduos nos quais são realizados o aproveitamento energético.

Quadro 1 - Principais vantagens e desvantagens de tecnologias usuais de aproveitamento energético de resíduos

Tratamento Térmico	Vantagens	Desvantagens
Pirólise	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de modularidade das plantas industriais conforme demandas locais; • Combustíveis resultantes podem ser transportados até as centrais termelétricas; • Menor emissão de poluentes atmosféricos, em relação à incineração; • Possibilidade de utilização de combustível auxiliar de baixo custo (como biomassa ou biogás); 	<ul style="list-style-type: none"> • Heterogeneidade do resíduo dificulta o controle de variáveis operacionais; • Tecnologia não consolidada em escala comercial; • Processo mais lento que a incineração e com maior consumo de combustível auxiliar; • Elevado custo operacional e de manutenção;
Gaseificação	<ul style="list-style-type: none"> • As cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador, diminuindo assim a emissão de particulados; • Alta eficiência térmica, variando de 60% a 90%, conforme o sistema implementado; • A taxa de gaseificação pode ser facilmente monitorada e controlada. 	<ul style="list-style-type: none"> • O resíduo deve estar limpo, sem a presença, por exemplo, de sólidos; • Potencial de fusão das cinzas a temperaturas acima de 900 °C, que pode aumentar corrosão no equipamento; • O alcatrão formado durante o processo de gaseificação, se não completamente queimado, pode limitar as aplicações do gás de síntese.
Incineração	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do volume e massa dos resíduos; • Destruição completa da maioria dos resíduos orgânicos perigosos; • Recuperação de energia (elétrica e/ou vapor d'água), que pode permitir a redução de custos operacionais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo elevado de implantação e operação, devido principalmente aos controles ambientais; • Necessidade de mão de obra qualificada; • Gestão rigorosa dos riscos à saúde devido às emissões de dioxinas e furanos.
Coprocessamento	<ul style="list-style-type: none"> • Decomposição completa da matéria orgânica; • Fração inorgânica é incorporada ao clínquer, não gerando resíduos adicionais; • Baixo custos em comparação com os outros tratamentos térmicos; • Não é necessário investimento em ativos específicos para realizar o tratamento térmico; • Aproveitamento energético do resíduo; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitações técnicas operacionais devido a heterogeneidade do resíduo; • Controle rigoroso das emissões atmosféricas e de controle de qualidade do cimento.

Fonte: Adaptado de Feam (2012).

Schnell, Horst, Quicker (2020) afirmam que os tratamentos térmicos, por serem considerados complexos, exigem mão de obra especializada, pré-tratamento para os resíduos e um programa de gestão ambiental robusto, a fim de se controlar a qualidade dos subprodutos e das emissões para a atmosfera. Desta forma, apesar das especificidades de cada tipo de tratamento, alguns riscos devem ser considerados, a exemplo das possíveis contaminações atmosféricas decorrentes de substâncias contidas no resíduo ou, geradas no processo de combustão (dioxinas e furanos), além de riscos de incêndio e, contaminações durante a manipulação e o manuseio dos resíduos (KARSTENSEN, 2008).

Segundo Tocchetto (2005) os processos de tratamento térmico não são adequados para resíduos com altas concentrações de metais, uma vez que não são destruídos termicamente, tendendo a permanecer no resíduo ou então, ser liberado para o ambiente, através das emissões gasosas. Daí, a importância da criação de leis que estabeleçam os requisitos mínimos para a realização dos tratamentos térmicos.

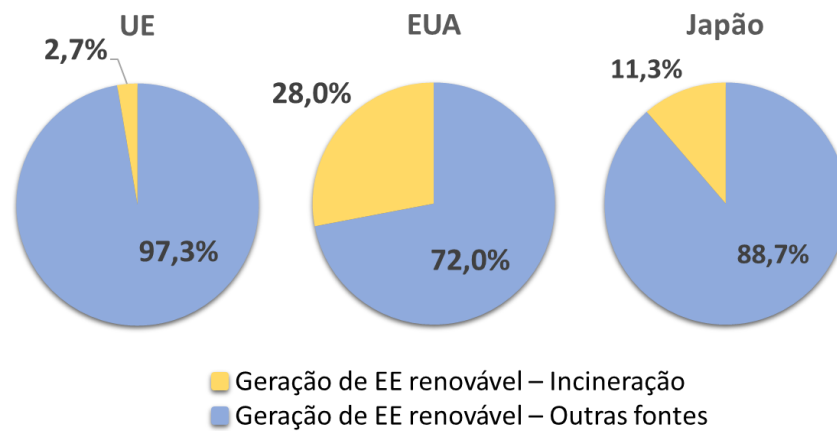
3.2.3 Reaproveitamento Energético de Resíduos (*Waste to Energy*)

Nas últimas décadas, o termo *Waste to Energy* vem sendo amplamente empregado para representar os processos de produção e recuperação de energia utilizando resíduos como insumos. Esse processo é comumente associado ao tratamento térmico de resíduos, pois é através desses processos de combustão que ocorre a recuperação energética, seja através da produção de energia, aproveitamento do potencial calorífico substituindo combustíveis convencionais ou através do consumo de vapor (KLINGHOFFER, 2013).

O reaproveitamento energético de resíduos urbanos tem crescido cada vez mais, principalmente em países desenvolvidos e com pequenas dimensões territoriais, os quais tem limitações para disposição desses resíduos em aterros. Para esses tipos de resíduos, o processo aplicado em maior proporção é a incineração com cogeração de energia elétrica e vapor para otimizar a eficiência energética (MICHAELS, 2013).

Conforme mostra a Figura 9, em alguns países a produção de energia elétrica, através da incineração de resíduos sólidos urbanos, já faz parte integrante da matriz elétrica renovável.

Figura 9 - Percentual da contribuição da incineração de resíduos na geração de energia elétrica renovável



Fonte: Adaptado de Lombardi (2015).

Entretanto, quando se trata de recuperação energética de resíduos perigosos, os quais estão inclusos os resíduos industriais, torna-se mais difícil o reaproveitamento através da incineração devido aos constituintes químicos presentes que conferem periculosidade ao resíduo e que poderá apresentar problemas na operação do processo, como corrosão de componentes mecânicos de turbinas e geradores (LOMBARDI, 2015).

A mesma lógica é aplicada para o reaproveitamento energético através da pirólise e gaseificação para resíduos industriais perigosos. Os produtos energéticos líquidos e o gás de síntese produzidos podem apresentar contaminantes que inviabilizem a sua aplicação. Desta forma, para resíduos classificados como perigosos, a recuperação energética é estimulada pelo processo de co-processamento (BELGIORNO, 2003).

Através do co-processamento, o resíduo poderá ter o seu principal composto persistente destruído termicamente e seu potencial calorífico reaproveitado como insumo energético para manter o aquecimento do forno de clínquer em substituição ao combustível fóssil convencional (SINGH, 2003).

Destaca-se que o tratamento associado à recuperação energética de resíduos é contemplado como uma etapa importante dentre as hierarquias dos processos de destinação de resíduos, conforme preconiza a PNRS 12.305/2010. Através desse processo, pode-se reduzir o consumo de insumos *in natura*, as emissões de gases de efeito estufa contribuindo para um tratamento adequado do resíduo (BELGIORNO, 2003).

3.2.4 Mistura de Resíduos e Centrais de Mistura

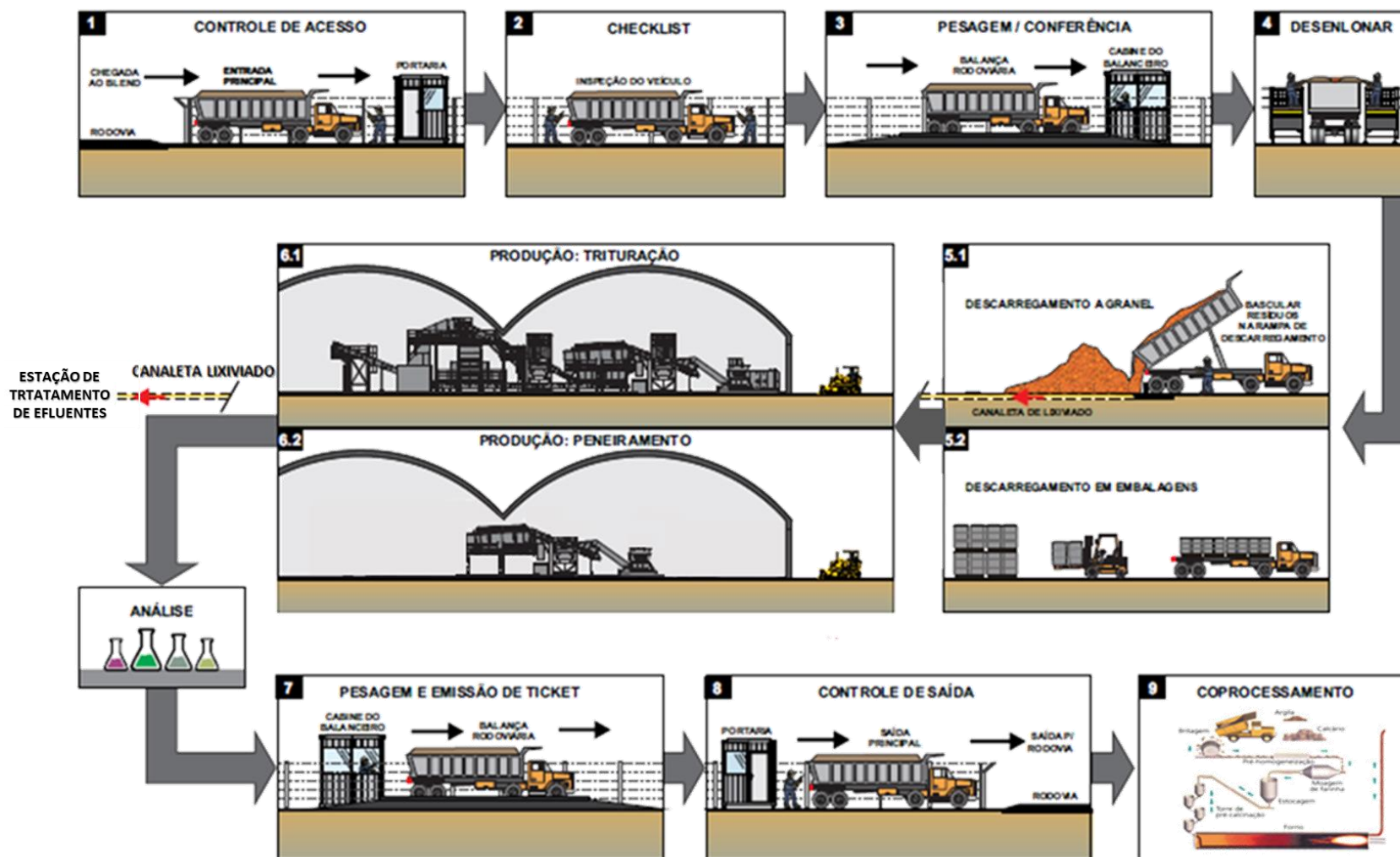
Apesar dos resíduos industriais serem aproveitados termicamente nas indústrias cimenteiras, alguns cuidados precisam ser levados em consideração para que não ocasione distúrbios nas operações. Os resíduos por melhor que sejam caracterizados, são materiais de refugo de processos produtivos e não possuem características homogêneas e perenes. O reaproveitamento energético de resíduos poderá ser fonte de riscos para o processo produtivo de uma indústria cimenteira, inclusive alterando a qualidade do seu produto (ROCHA, 2011).

Em complemento, existem resíduos que isoladamente não possuiriam características que viabilizasse o seu co-processamento, todavia quando misturado com outras frações de resíduos com características distintas podem apresentar essa viabilidade técnica. Desta forma, surge a necessidade de realizar a homogeneização e preparo destes resíduos antes de serem reaproveitados termicamente, sem que ocasione distúrbios nos processos das cimenteiras (ASAMANY, 2017).

O Artigo 11 do CONAMA 499/20 dispõe que, são permitidos, para fins de coprocessamento em fornos de produção de clínquer, resíduos ou misturas de resíduos passíveis de serem utilizados como substituto de combustível, desde que as condições do processo assegurem o atendimento às exigências técnicas e aos parâmetros fixados na presente resolução.

As unidades produtivas que realizam a mistura, homogeneização e garantia de qualidade e atendimento às legislações dos resíduos industriais, que serão futuramente co-processados, são denominadas unidades de *blend*, nas quais são recebidos os resíduos dos geradores e, em seguida, realizadas a triagem, segregação e armazenamento, submetendo os resíduos a um processo de redução de granulometria através do peneiramento ou trituração, homogeneização, análise química e transporte para as unidades cimenteiras (SANTOS, 2009). A Figura 10 mostra um diagrama operacional de uma central de mistura de resíduos.

Figura 10 - Diagrama operacional de uma central de mistura de resíduos



Fonte: Elaboração própria da autora desta dissertação (2021).

3.2.5 Riscos no Reaproveitamento Térmico de Resíduos

Nas últimas décadas, as indústrias químicas e de energia testemunharam um significativo número de incidentes graves envolvendo óbitos de trabalhadores. Uma compreensão básica de segurança do processo poderia ter evitado os acidentes ou minimizado suas consequências. Somente nos Estados Unidos entre os anos de 2011 e 2014 foram registradas aproximadamente 4.000 fatalidades por ano, em ambientes industriais (TAMIM, 2017).

Não é difícil associar que os problemas de segurança de processo enfrentados pelas indústrias petroquímicas sejam transpassados no fim de seus processos, na geração de resíduos. Os resíduos gerados são parte integrante dos processos produtivos dessas industriais e podem conter na sua composição produtos fora de especificação e compostos químicos que conferem algum grau de risco para meio ambiente, saúde ocupacional e de segurança de processo (TOPUZ, 2010).

Para auxiliar no gerenciamento dos riscos associados às operações industriais, existe a técnica denominada Análise Preliminar de Perigos (APP), que consiste em uma técnica básica de análise de riscos para avaliação qualitativa de riscos de processo.

A partir de sua utilização poderá ser necessária a complementação da avaliação de riscos com a utilização de outras técnicas como Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP) ou Análise de Camadas de Proteção (LOPA). O critério de aceitabilidade de riscos definido para a APP determinará esta necessidade, cuja metodologia consiste na execução das seguintes etapas (CHANG, 2016):

- a) Definição das fronteiras das instalações analisadas;
- b) Coleta de informações sobre as instalações e as características da substância perigosas envolvidas;
- c) Definição dos módulos de análise;
- d) Realização da APP (preenchimento da planilha para cada módulo de análise);
- e) Elaboração das estatísticas dos cenários por categorias de frequência e de severidade e da lista de sugestões gerados no estudo;
- f) Análise dos resultados e preparação do relatório.

O escopo da APP abrange todos os eventos perigosos cujas causas tenham origem nas instalações analisadas, englobando tanto as falhas intrínsecas de componentes ou sistemas, como eventuais falhas operacionais (falhas humanas), principalmente aqueles decorrentes de

falhas nos procedimentos ou na execução deles. Ficam excluídos da análise os eventos perigosos causados por agentes externos, tais como catástrofes ambientais. Tais eventos externos foram excluídos por serem as suas frequências de ocorrência consideradas extremamente remotas (AMYOTTE, 2017).

Apesar de ser uma técnica para análise preliminar e avaliação da aceitabilidade do risco, é importante ressaltar que independente de cada situação avaliada, o processo detentor do risco deverá ter suas hierarquias de aceitabilidade (FEPAM, 2016).

No âmbito federal brasileiro não existe uma resolução que disponha sobre os graus de aceitabilidade dos riscos pelas atividades industriais. Neste cenário, os conselhos estaduais de meio ambiente realizam essa função, dentre eles destacam-se a CETESB em São Paulo, a FEPAM no Rio Grande do Sul, FEEMA no Rio de Janeiro e o CEPRAM na Bahia.

No estado da Bahia, a resolução CEPRAM 3.965/2009 dispõe sobre o gerenciamento de riscos no estado da Bahia após a análise da APP e, recomenda que os riscos classificados como “não aceito” ou “potencial de risco alto” (PRA), deverão ter obrigatoriamente ações que realizem sua mitigação para reclassificação como potencial risco moderado (PRM).

Os resultados dos estudos qualitativos das Análise de Risco de Processo são apresentados por meio de estimativas qualitativas dos indicadores de risco. A ferramenta utilizada para essa estimativa é a Matriz de Risco, cuja classificação do risco é determinada pela classificação da frequência (probabilidade de ocorrência do cenário), e da severidade (consequência). A associação da frequência com a consequência pode resultar em três categorias de Potencial de Risco: baixo, médio e alto (CEPRAM, 2009).

3.2.5.1 Segurança de Processo

Um dos maiores problemas de segurança de processo quando se trata de resíduos industriais são os relacionados com o descarte impróprio ou de armazenamento inadequado, o que têm se tornado cada vez mais grave, e continua sendo um desafio lidar com estes problemas. As causas associadas ao armazenamento e descarte inadequado são reações químicas indesejadas e incêndios (YANG, 2020).

A norma regulamentadora NR-20 (Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis) define a faixa de ponto de fulgor e o produto químico, como inflamável ou combustível:

- Líquidos inflamáveis: são líquidos que possuem ponto de fulgor menor ou igual a 60°C;

- Líquidos combustíveis: são líquidos com ponto de fulgor maior que 60°C e menor ou igual a 93 °C.

Esse é um parâmetro necessário para ser acompanhado no resíduo para avaliar a facilidade de entrar em ignição espontaneamente, em condições ambientes.

Atualmente a única instituição brasileira que fornece instruções e orientações para um armazenamento adequado de resíduos é a ABNT NBR 12.235/1192 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – procedimento ABNT (BORGES, 2018), cuja norma foi elaborada a 30 anos atrás e carece de algumas revisões por conta da evolução de alguns conceitos, a exemplo da ABNT NBR 10.0004, de 2004, que classifica os resíduos conforme sua periculosidade; diversificação dos resíduos ao longo desses 30 anos; diversificação dos processos industriais e evolução dos conceitos de riscos de processo.

A ABNT NBR 12.235/1192 aplica-se aos resíduos perigosos e orienta que o seu armazenamento seja feito de forma a não alterar a sua qualidade, e proibido sem que seja feita uma avaliação prévia das suas propriedades. No ANEXO B é apresentado um resumo das informações relevantes da norma regulamentadora ABNT NBR 12.235/1992.

3.2.5.2 Transporte de Resíduos Perigosos

O transporte é um dos grandes desafios no gerenciamento de resíduos devido a habitual distância dos geradores aos tratadores de resíduos. Além do elevado custo de logística é sempre um risco realizar a movimentação de produtos perigosos através de rodovias (DOBROSELSKYI, 2019).

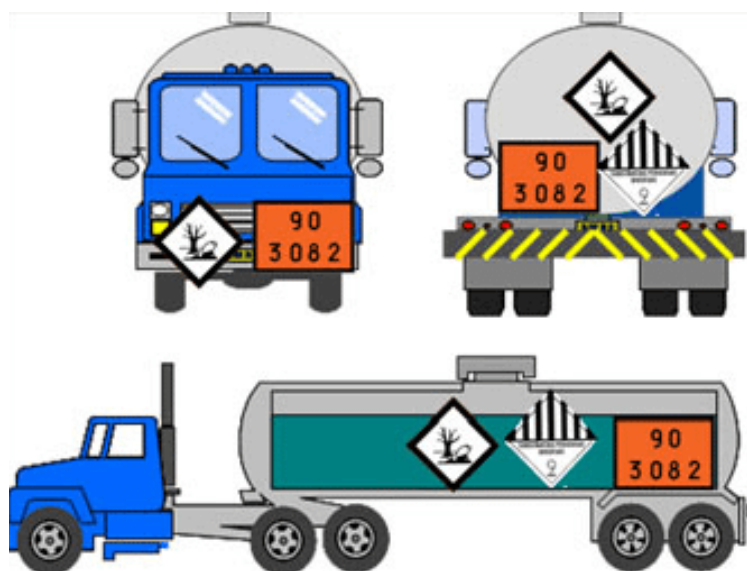
Essa é uma atividade que apresenta riscos para população e meio ambiente. Se não realizado com os cuidados necessários, o transporte de resíduos perigosos pode ocasionar acidentes graves com derramamento de produtos tóxicos.

A resolução ANTT 5848/2019 que atualiza o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos e dá outras providências, complementa a Resolução ANTT nº 5.232, de 14 de dezembro de 2016, a qual aprova as instruções complementares ao regulamento terrestre do transporte de produtos perigosos. Ambas as legislações têm como objetivo orientar o transportador de produtos perigosos referente ao acondicionamento e simbologias para identificação das embalagens e veículos que serão utilizados para o armazenamento e transporte.

Para estas legislações, o conceito de produto perigoso é qualquer produto que tenha potencial de causar dano ou apresentar risco à saúde, segurança e meio ambiente, classificado

conforme os critérios estabelecidos neste regulamentos e no Manual de Ensaio e Critérios publicado pela ONU. Desta forma, para acondicionamento e transporte, os resíduos deverão seguir a identificação conforme numeração definida pela ONU, contendo as placas de identificação dos produtos, contendo número do risco, número da ONU, classe ou subclasse de risco e símbolo de substâncias perigosas para o meio ambiente, conforme ANTT 5.848/2019 (Figura 11).

Figura 11 - Exemplo de identificação de transporte de resíduos perigosos



Fonte: Adaptado de ANTT 5.232 (2016).

3.2.5.3 Exposição à Saúde Ocupacional

Assim como em outros processos industriais, os trabalhadores que manuseiam resíduos podem ser expostos a fatores físicos, químicos e agentes biológicos ou materiais que representam riscos para a saúde. Na indústria do cimento, soma-se a exposição à poeira, poeira contendo sílica cristalina respirável e ruído (GUIMARÃES, 2018).

Garantir condições de trabalho saudáveis e seguras para os trabalhadores desses processos é de fundamental importância. A taxa de fatalidade e lesão na indústria de cimento é maior do que em outras indústrias, como petroquímica e refino de petróleo (WBCSD, 2013). Portanto, quando se associa ao processo de manuseio de resíduos perigosos nessa indústria, a atenção de um programa de prevenção ao risco do trabalhador deve ser ainda mais robusta (GUIMARÃES, 2018).

A norma regulamentadora NR-9 estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA, visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais.

Esta mesma norma estabelece que quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores dos limites previstos na NR-15 (atividades e operações insalubres), deverão ser adotadas as medidas necessárias suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais.

Desta forma, faz-se importante a identificação e monitoramento dos agentes químicos presentes nos resíduos que confirmam periculosidade e risco à saúde do trabalhador. Destaca-se os componentes químicos que são listados no Anexo 11 da NR-15 (ANEXO C). Em sua maioria, são citados riscos à exposição à metais pesados como arsênio, mercúrio e chumbo e à compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, como o benzeno.

3.2.5.4 Meio Ambiente

O processo de tratamento térmico de resíduos industriais perigosos aliado à recuperação energética em fornos de produção de clínquer, tem a sua participação destacada na hierarquia para gerenciamento de resíduos. Isso se deve aos benefícios ao meio ambiente, como a redução da emissão de gases estufa. Entretanto, faz-se necessário que esse processo seja realizado de tal forma que não gere riscos maiores ao meio ambiente. Pois através do processo de combustão, há a transformação dos componentes químicos que estão presentes em matrizes líquidas e sólidas dos resíduos para as emissões atmosféricas (KADDATZ, 2013).

Para identificar e minimizar esses impactos, o ministério de meio ambiente do Brasil, assim como os conselhos e secretarias estaduais dispõe de diretrizes e normas para a atividade de tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer.

Dessas diretrizes, ressalta-se o CONAMA 499/2020, que dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer e o CONAMA 316/2002, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Essas resoluções dispõem sobre os aspectos

gerais para licenciamento de empreendimentos que realizam a atividade de tratamento térmico, orientações para realização de testes de viabilidade para o tratamento do resíduo (teste de queima) e determina os padrões para as emissões atmosféricas.

Alguns estados brasileiros como Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul possuem portarias próprias de licenciamento para que empreendimento possam realizar o co-processamento. Ressalta-se que em algumas legislações estaduais os limites máximos para emissões são mais restritivos do que a legislação federal (ANEXO D), com destaque para a legislação do estado de Minas Gerais - a COPAM 154/2010 que apresenta maiores detalhes com relação às avaliações das emissões.

3.2.5.5 Qualidade do Cimento

De forma simplificada, o cimento Portland é composto pelos óxidos de silício, cálcio, alumínio e ferro, cujas concentrações poderão variar conforme a qualidade da sua matéria-prima - a farinha. Alguns elementos químicos podem estar presentes na composição da farinha como o enxofre, o fósforo, o cloreto e alguns metais (sódio, magnésio e o ferro), o que poderá conferir a variação na qualidade do cimento produzido (PECCHIO, 2013).

Outros fatores como a composição química do combustível, o grau de homogeneização e a temperatura a qual ocorre a clinquerização, também irão influenciar na qualidade final do cimento produzido (FERREIRA, 2012).

Desta forma, qualquer componente químico distinto que seja introduzido no processo de clinquerização poderá afetar a qualidade do cimento. Mesmo que estudos mostrem que é seguro para a qualidade do cimento realizar o reaproveitamento térmico de resíduos, se fazendo necessário o acompanhamento dos constituintes inorgânicos dos resíduos de forma rigorosa. Desta maneira busca-se garantir que não haja alteração na estrutura do clínquer ou alteração nas condições de processo (PARLIKAR, 2015).

Alguns elementos que podem alterar a qualidade do clínquer e devem ser monitorados nos resíduos são:

- Titânio: reduz a viscosidade da fase líquida do clínquer, tornando mais difícil a sua solidificação (MAGALHÃES, 2007);
- Cromo: interfere diretamente no aspecto do cimento (SORRENTINO, 1996);
- Enxofre, estrôncio e o fósforo: interferem na resistência do cimento (PECCHIO, 2013).

Vale ressaltar que para avaliação da influência do co-processamento na qualidade do produto, os elementos orgânicos não terão importância uma vez que são completamente destruídos às altas temperaturas do forno. Mesmo que alguns compostos inorgânicos sejam identificados no resíduo, não é necessário apontar a inviabilidade de imediato. Para esses casos, deve-se realizar simulações de processos levando em consideração a concentração do componente inorgânico identificado e, dessa forma, determinar a taxa de alimentação do resíduo no forno, sem que haja comprometimento da qualidade.

4 METODOLOGIA

4.1 ELABORAÇÃO DO PROTOCOLO

Como método de trabalho, na primeira parte foi realizado um levantamento das normas e legislações federais e estaduais aplicadas ao coprocessamento no Brasil, além de normas relacionadas à gestão de risco, segurança de processo, exposição à saúde ocupacional, transporte e armazenamento de produtos perigosos.

Na segunda parte, foi realizado o levantamento dos possíveis riscos associados ao coprocessamento de resíduos industriais, divididos da seguinte forma:

- **Restrição para coprocessamento:** Avaliação das restrições (resíduos radioativos, explosivos, serviços de saúde com algumas ressalvas) para o co-processamento de resíduos conforme CONAMA 499/2020, com o objetivo de avaliar se o resíduo teria alguma inviabilidade legal para ser tratado termicamente em fornos de clínquer;

- **Viabilidade operacional:** Avaliação dos parâmetros físico-químicos que possam conferir algum risco à substituição térmica produzido ou algum distúrbio operacional. Foram levados em consideração o potencial de substituição térmica do resíduo e componentes que interfiram interferem na qualidade do processo como a umidade, concentração de cloro e cinzas. O objetivo desta etapa consiste em avaliar a viabilidade técnica para substituição energética do resíduo nos fornos de clínquer sem apresentar distúrbios na operação;

- **Classificação da periculosidade do resíduo:** Avaliação do resíduo como resíduo não perigoso (classe II) ou perigoso (classe I), conforme a NBR 10.004/2004 e de qual propriedade perigosa corresponde à classificação do resíduo, com o objetivo de identificar as propriedades que conferem a periculosidade ao resíduo;

- **Riscos para saúde ocupacional:** Avaliação das restrições para saúde do trabalhador referente à exposição de componentes químicos presentes nos resíduos, utilizando como base o Anexo 11 da NR-15 (ANEXO C). Para avaliação deste risco faz-se necessário o conhecimento do PPRA da unidade onde será realizada o manuseio do resíduo. O objetivo desta etapa consiste em avaliar se o resíduo a ser manuseado apresenta exposição adicional aos trabalhadores, que já não esteja contemplado no PPRA;

- **Risco para segurança de processo:** Avaliação dos critérios de incompatibilidade química dos resíduos conforme a ABNT NBR 12.235/1992: Para esta avaliação, os resíduos foram classificados em grupos, conforme a sua composição química majoritária (Quadro 2) e posteriormente comparado com os grupos de resíduos que são incompatíveis (Quadro 3);

Quadro 2 - Classificação de resíduos por grupos de constituintes químicos

Grupo 1A	Grupo 2A	Grupo 3A
Lama de acetileno	Resíduos de asbesto	Alumínio
Líquidos fortemente alcalinos	Resíduos de berílio	Berílio
Líquidos de limpeza alcalinos	Embalagens vazias contaminadas com pesticidas	Cálcio
Líquidos alcalinos corrosivos	Resíduos de pesticidas	Lítio
Líquidos alcalinos de bateria	Outras quaisquer substâncias tóxicas	Magnésio
Águas residuárias alcalinas		Potássio
Lama de cal e outros álcalis corrosivos		Sódio
Soluções de cal		Zinco em pó, outros metais reativos e hidretos metálicos
Soluções de cáusticas gastas		
Grupo 4A	Grupo 5A	Grupo 6A
Álcoois	Aldeídos	Soluções gastas de cianetos e sulfetos
Soluções Aquosas em geral	Hidrocarbonetos halogenados	
	Hidrocarbonetos nitratos e outros compostos orgânicos reativos	
	Solventes	
	Hidrocarbonetos insaturados	
Grupo 7A	Grupo 1B	Grupo 2B
Cloratos e outros oxidantes fortes	Lamas ácidas	Solvente de limpeza de componentes eletrônicos
Cloro	Soluções ácidas	Explosivos obsoletos
Cloritos	Ácidos de baterias	Resíduos de petróleo
Ácido Crômico	Líquidos diversos de limpeza	Resíduos de refinaria
Hipoclorito	Eletrólitos ácidos	Solventes em geral
Nitratos	Líquidos utilizados para gravação em metais	Resíduos de óleo e outros resíduos inflamáveis e explosivos
Ácido nítrico fumegante	Componentes de líquidos de limpeza	
Perclorato	Banhos de Decapagem e outros ácidos corrosivos	
Permanganato	Ácidos gastos	
Peróxido	Misturas de ácidos residuais	
	Ácido sulfúrico residual	

Fonte: Adaptado de ABNT 12235/92.

Quadro 3 - Incompatibilidade química entre componentes presentes nos resíduos

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	1B	2B
1A			Fogo ou explosão/Geração de hidrogênio gasoso inflamável	Fogo, explosão ou geração de calor/Geração de gases inflamáveis tóxicos	Fogo, explosão ou reação violenta			Geração Calor/Reação Violenta	
2A									Geração substância tóxica em caso de fogo
3A				Fogo, explosão ou geração de calor/Geração de gases inflamáveis tóxicos	Fogo, explosão ou reação violenta		Fogo, explosão ou reação violenta	Fogo ou explosão/Geração de hidrogênio gasoso inflamável	
4A								Fogo, explosão ou geração de calor/Geração de gases inflamáveis tóxicos	
5A							Fogo, explosão ou reação violenta	Fogo, explosão ou reação violenta	
6A								Geração de Gás cianídrico ou gás sulfídrico	
7A									Fogo, explosão ou reação violenta
1B	Geração Calor/Reação Violenta		Fogo ou explosão/Geração de hidrogênio gasoso inflamável	Fogo, explosão ou geração de calor/Geração de gases inflamáveis tóxicos	Fogo, explosão ou reação violenta	Geração de Gás cianídrico ou gás sulfídrico			
2B		Geração substância tóxica em caso de fogo					Fogo, explosão ou reação violenta		

Fonte: Adaptada de ABNT 12235/92.

- Risco de incêndio:** Os resíduos serão avaliados conforme a NR-20. O resíduo será classificado como inflamável, se apresentar ponto de fulgor menor que 60°C ou não inflamável, se apresentar ponto de fulgor maior que 60°C. O objetivo desta classificação é avaliar os riscos para o processo em que o resíduo será manuseado, armazenado e processado;

- **Risco para o meio ambiente:** Nesta etapa foi desconsiderada a avaliação de riscos de contaminação ambiental devido ao armazenamento inadequado de resíduos perigosos e considerados o armazenamento dos resíduos em locais adequados, conforme a ABNT NBR 12.235/1992 com a finalidade de minimizar os impactos de riscos ambientais. Para elaboração do protocolo foi considerado os riscos referentes às emissões atmosféricas contemplados no CONAMA 499/2020;

- **Risco qualidade:** Avaliação dos parâmetros físico-químicos que possam conferir algum risco à qualidade do cimento produzido ou algum distúrbio operacional à unidade de tratamento térmico. Foram avaliados componentes que interfiram na qualidade do processo e cimento como concentração de metais, flúor total e enxofre. O objetivo desta etapa consiste em avaliar se há viabilidade técnica para substituição energética do resíduo nos fornos de clínquer sem apresentar distúrbios na qualidade do produto.

Dentre as consequências da exposição a tais riscos em função dos potenciais danos ao processo, destacam-se:

- Incêndios
- Reações químicas indesejáveis/violentas
- Inalação de poeira
- Inalação de compostos perigosos
- Queimaduras químicas
- Contaminações atmosféricas
- Alterações no processo de *blend*
- Alterações no processo da cimenteira
- Alterações na qualidade do cimento

Ressalta-se ainda que o fato de um parâmetro ter sido avaliado em um grupo de risco, não impede que ele seja avaliado em outro grupo.

Na terceira parte foi elaborada uma planilha de aceite, baseada na análise preliminar de riscos (APP), utilizando a técnica de elaboração de matriz de aceitabilidade de riscos conforme a Resolução CEPRAM 3.965/2009. Para cada cenário de risco é necessário informar a frequência e severidade para aquele evento. O Quadro 4 mostra como deverá ser selecionada as categorias de frequência dos eventos, a partir da avaliação do cenário de risco avaliado.

Quadro 4 - Categorias de frequência para análises de riscos de processo

Categoria de Frequência	Faixa de Frequência Associada	Cenário
Frequente (FR)	Maior que uma vez por ano ($f \geq 1/\text{ano}$)	<p>Em plantas existentes</p> <ul style="list-style-type: none"> Histórico de uma ou mais ocorrências por ano e nenhuma alteração feita no sistema. <p>Em projetos</p> <ul style="list-style-type: none"> Histórico de uma ou mais ocorrências por ano em plantas similares. <p>Falha humana</p> <ul style="list-style-type: none"> Atividade frequente com inexistência de treinamento e procedimento, em presença de condições de trabalho adversas.
Provável (PR)	Esperado na vida útil da instalação ($1 < f \leq 100$ anos)	<p>Em plantas existentes</p> <ul style="list-style-type: none"> Histórico de ocorrência menor que 1 vez por ano ou situação que já esteve próxima de ocorrer e nenhuma alteração feita no sistema. Ruptura ou quebra de equipamentos reconhecidamente degradados ou com inspeção deficiente. Em cenários com produtos perigosos, presença de vários (mais de 50) elementos sujeitos a vazamento (flanges, juntas, gaxetas, selos, condições degradadas ou inspeção deficiente). <p>Em projetos</p> <ul style="list-style-type: none"> Histórico de ocorrência menor que 1 vez por ano ou situação que já esteve próxima de ocorrer em plantas similares. Em cenários com produtos perigosos, presença de vários (mais de 50) elementos sujeitos a vazamento (flanges, juntas, gaxetas, selos, condições degradadas ou inspeção deficiente). <p>Falha humana</p> <ul style="list-style-type: none"> Inexistência de treinamento e procedimento, em presença de condições de trabalho adequadas
Ocasional (OC)	$(100 < f \leq 10.000$ anos)	<p>Em plantas existentes ou projetos</p> <ul style="list-style-type: none"> Falha única de equipamento (não relacionados com vazamentos em equipamentos estáticos sujeitos a inspeção). Em cenários com produtos perigosos, presença de poucos (menos de 50) elementos sujeitos a vazamento (flanges, juntas, gaxetas, selos), equipamentos não degradados, mas com inspeção deficiente. <p>Falha humana</p> <ul style="list-style-type: none"> Cenários que dependem de falha única, humana em condições adequadas, com treinamento e procedimento.
Remoto (RE)	$(10000 < f \leq 1.000.000$ anos)	<p>Em plantas existentes ou projetos</p> <ul style="list-style-type: none"> Falha dupla de equipamentos. Ruptura de equipamentos estáticos, linhas e acessórios sujeitos a inspeção. Em cenários com produtos perigosos, presença de poucos (menos de 50) elementos sujeitos a vazamento (flanges, juntas, gaxetas, selos, condições e inspeção adequada). <p>Falha humana</p> <ul style="list-style-type: none"> Dupla falha humana em condições adequadas com treinamento e procedimento
Improvável (IM)	$(f > 1.000.000$ anos)	<p>Em plantas existentes ou projetos</p> <ul style="list-style-type: none"> Ruptura por falha mecânica de vasos de pressão com inspeção, sem histórico de sobrecarga de pressão, temperatura ou vibração, sem histórico de comprometimento por trincas ou perda de espessura. Falha de vários sistemas de proteção. <p>Falha humana</p> <ul style="list-style-type: none"> Múltiplas falhas humanas em condições adequadas, com treinamento e procedimento.

Fonte: Adaptado de CEPRAM (2009).

O Quadro 5 mostra como deverá ser selecionada as categorias de severidade dos eventos, a partir da avaliação do tipo de consequência caso o acidente ocorra.

Quadro 5 - Categorias de severidade para análises de riscos de processo

Tipo de Consequência	Categoria de Severidade			
	MAIOR (MA)	CRÍTICA (CR)	MODERADA (MO)	BAIXA (BA)
Segurança de Processo/ Pessoal	Mais de 3 fatalidades.	Menos de 3 fatalidades; Ameaça a vida ou vítimas com lesões	Acidente CAF ou SAF com restrição	Acidente SAF sem restrição ou SAA.
Meio Ambiente	Liberação sem contenção de produtos químicos perigosos causando grandes impactos, dentro e fora da empresa, ao meio ambiente e aos parceiros; Impacto irreversível ou de difícil reversão mesmo com ações mitigadoras ou impacto de grande magnitude e grande extensão, além dos limites da empresa.	Liberação sem contenção de produtos químicos causando sérios impactos ao meio ambiente, fora da empresa; Impacto que paralisa o sistema de tratamento de efluentes; ou Impacto de magnitude considerável, porém reversível com ações mitigadoras que extrapolam a área da empresa.	Liberação sem contenção de produtos químicos perigosos causando sérios impactos ao meio ambiente, dentro da empresa; Impacto de magnitude considerável, porém reversível com ações mitigadoras, restrito à área da empresa	Liberação com ou sem contenção de produtos químicos perigosos causando impactos ao meio ambiente, dentro da empresa; Impacto ambiental de pequena magnitude com alcance interno ou externo ou reversível com ações imediatas; Excedido temporariamente os limites permitidos por regulamentações.
Custo	Interrupção da Unidade por mais de 30 dias; ou Custo direto acima de U\$ 10 MM	Interrupção da Unidade de 11 a 30 dias; ou Custo direto entre $U\$5\text{ MM} < X \leq U\10MM .	Interrupção da Unidade de 4 a 10 dias; ou Custo direto $U\$250\text{ M} < X \leq U\5 MM	Interrupção da Unidade de 1 a 3 dias; ou Custo direto $U\$100\text{ M} < X \leq U\250 M .
Imagem/ Reputação	Grande cobertura pela mídia nacional ou internacional.	Cobertura pela mídia nacional; Interrupção de serviços básicos (por exemplo: grandes danos para rodovias, ferrovia; falta de energia na comunidade vizinha).	Cobertura pela mídia local ou estadual; Principal manchete dos noticiários regionais; Preocupações expressas pela comunidade local.	Pequenos artigos divulgados pela mídia local ou cobertura por publicações nas indústrias. Interrupção do trânsito local (parada de rodovia ou ferrovia ou canal - locais, causando dispersão no trânsito). Danos à imagem local.

Fonte: Adaptado de CEPRAM (2009).

Para elaboração da matriz de aceitabilidade, deverá ser feito o cruzamento da severidade e frequência, cujos cenários de riscos foram classificados como:

- Cenário PRB = Potencial Risco Baixo
- Cenário PRM = Potencial Risco Médio
- Cenário PRA = Potencial Risco alto

Quadro 6 - Matriz de aceitabilidade para análises de riscos de processo

		Frequência				
		Improvável	Remoto	Ocasional	Provável	Frequente
Frequência quantitativa		$f > 1.000.000$ anos	$10.000 < f \leq 1.000.000$ anos	$100 < f \leq 10.000$ anos	$1 < f \leq 100$ anos	$f \geq 1/\text{ano}$
Severidade	Maior	PRM	PRM	PRA	PRA	PRA
	Crítico	PRM	PRM	PRM	PRA	PRA
	Moderado	PRB	PRB	PRB	PRM	PRA
	Baixo	PRB	PRB	PRB	PRB	PRM

Fonte: Adaptado de CEPRAM (2009).

Caso o cenário seja PRA, ele precisará de recomendações para que seja reduzida sua severidade ou frequência até que seja atingido um cenário PRM.

4.2 ESTUDO DE CASO

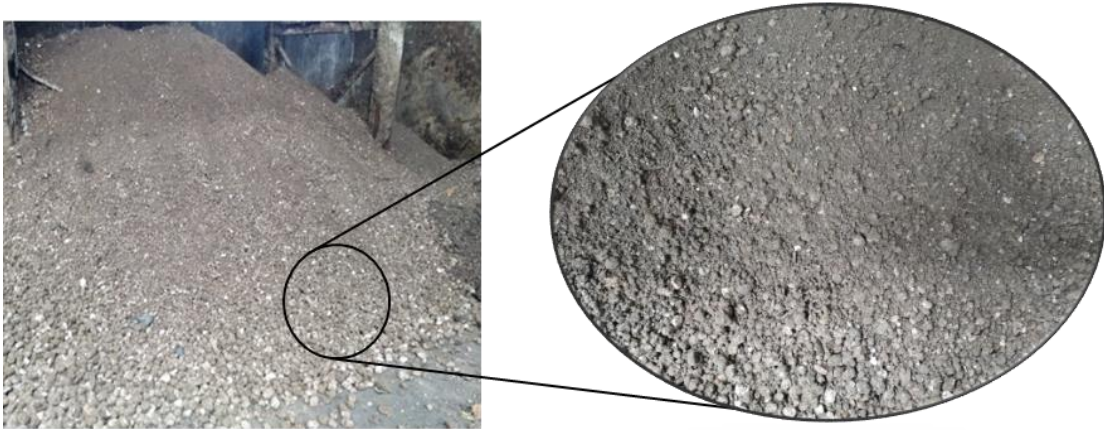
4.2.1 Origem e Descrições das Amostras

Para realizar a avaliação de eficácia do protocolo foi realizado um estudo de caso com dois diferentes resíduos industriais de uma empresa de *blend* de resíduos industriais no Polo Petroquímico de Camaçari – BA. Inicialmente foram obtidas informações da origem do resíduo, do processo produtivo, ficha de emergência e ficha com dados de segurança de resíduos químicos (FDSR).

Os resíduos avaliados estão descritos a seguir:

a) Borra oleosa peneirada: Mistura de borras de limpeza de tanques de processos petroquímico e borra de tinta após adição de óxido de cálcio, homogeneizadas e peneiradas (Figura 12).

Figura 12 - Resíduo borra oleosa peneirada



Fonte: Elaboração própria.

b) Resíduo triturado: Mistura de resíduos triturados, oriundos de processos de manutenção, madeiras, plásticos, tecidos e EPIs contaminados com produtos químicos (Figura 13).

Figura 13 - Resíduo triturado

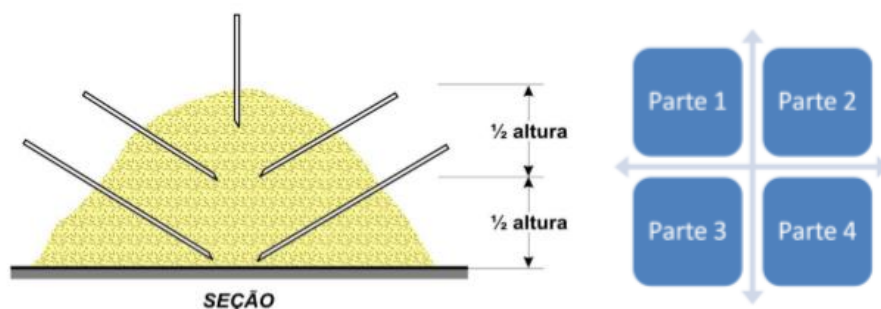


Fonte: Elaboração Própria.

4.2.2 Preparo e Análise das Amostras

Os resíduos foram amostrados conforme metodologia definida pela ABNT NBR 10.007/2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos (ANEXO E). Como os resíduos em estudo são armazenados em pilhas, foram amostrados com apoio de um amostrador para pilhas e posterior quarteamento, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 - Seções coletadas das amostras e quarteamento da amostra



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10.007 (2004).

Após o processo de quarteamento da amostra, o resíduo tritura foi triturado e homogeneizadas em um triturador de amostras – marca TECNAL modelo TE-680 – com a finalidade de reduzir a granulometria para 0,5 mm (Figura 15).

Figura 15 - Amostra triturada



Fonte: Elaboração Própria.

As análises físico-químicas foram realizadas em laboratório específico para análises de resíduos sólidos, próprio da empresa produtora de *Blend*. As metodologias de análises, assim como o detalhamento de cada parâmetro são apresentadas nos Relatórios de Ensaio nº 44612/2020.0, nº. 1161/2021.0, nº. e nº. 1168/2021.0 (ANEXO F).

As amostras foram analisadas em função dos parâmetros mencionados a seguir, selecionados conforme a origem dos resíduos e com a finalidade da avaliação para viabilidade de tratamento térmico:

- Varredura de metais;
- Varredura de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis;

- Poder calorífico superior (PCS);
- Cloro total;
- Cinzas;
- Umidade;
- Óxido de ferro;
- Óxido de cálcio;
- Óxido de alumínio;
- Óxido de magnésio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PROTOCOLO

O protocolo de avaliação técnica de resíduos para recuperação energética em fornos de clínquer foi elaborado baseado nas normas e legislações brasileiras. Os parâmetros selecionados para compor o protocolo, relevantes para analisar a viabilidade técnica e os riscos estão mostrados no Quadro 7.

Quadro 7 - Parâmetros selecionados para compor o protocolo de avaliação técnica de resíduos

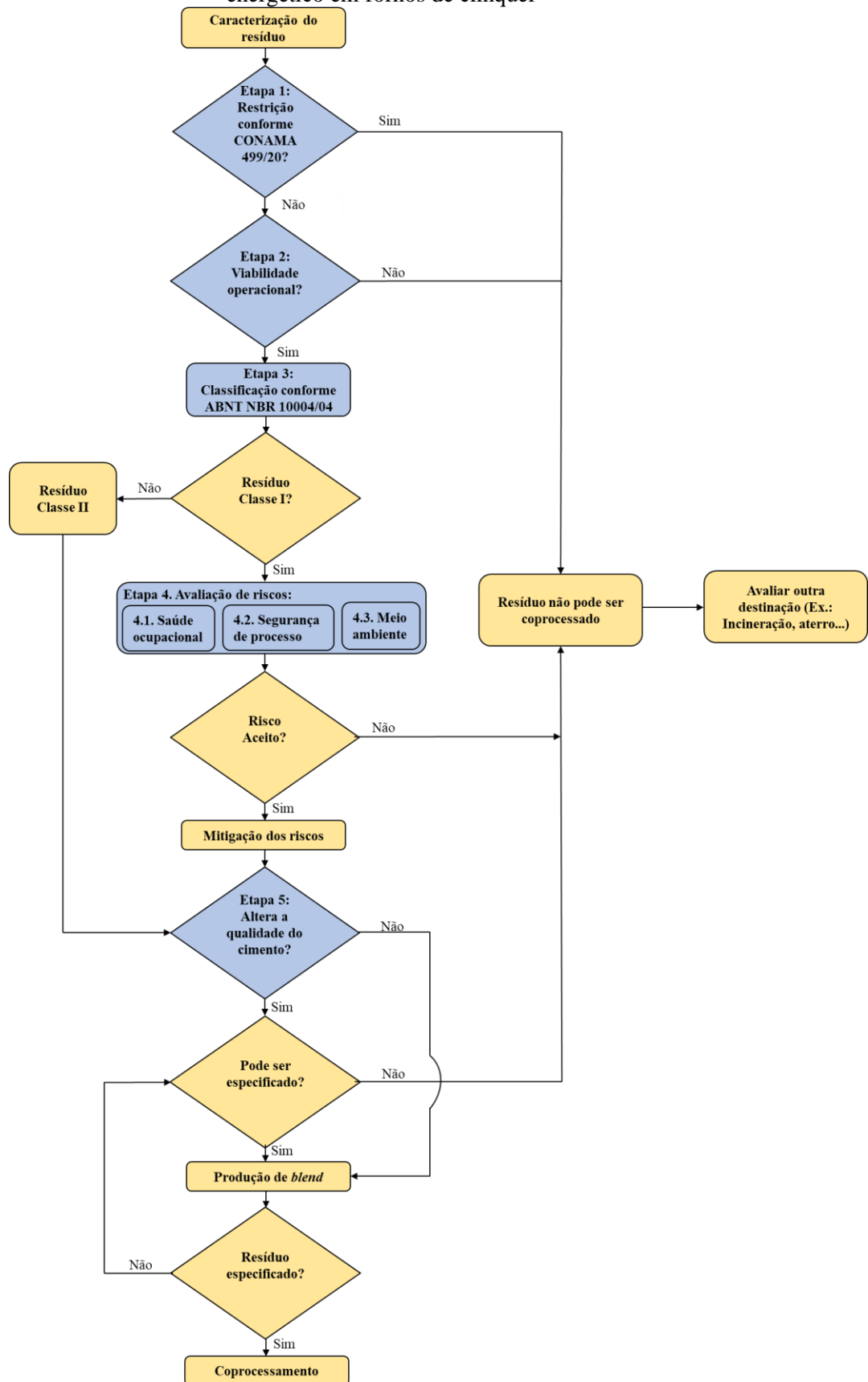
	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência
1	Restrição	Radioativos	CONAMA 499/20	Presença
		Explosivos		Presença
		Serviço de saúde com ressalvas		Presença
2	Viabilidade operacional	PCS	NA	> 2.500 Kcal/kg
		Cloro total	NA	< 0,5% m/m
		Umidade	NA	< 20% m/m
		Cinzas	NA	< 35%
3	Classificação resíduo	Perigoso ou não perigoso	NBR 10.0004/04	Classe I, IIA ou IIB
4.1	Risco para saúde ocupacional	Presença de agente químico que possam ser absorvidos por inalação por via respiratória e/ou cutânea	NR-15	ANEXO 11 NR-15
	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência
4.2	Risco para segurança de processo (incêndio)	Ponto Fulgor	NR-20	Ponto Fulgor \leq 60°C
	Risco para segurança de processo (incompatibilidade)	Grupo 1A	NBR 12235/92	Presença
		Grupo 2A		Presença
		Grupo 3A		Presença
		Grupo 4A		Presença
		Grupo 5A		Presença
		Grupo 6A		Presença
		Grupo 7A		Presença
		Grupo 1B		Presença
		Grupo 2B		Presença
4.3	Risco para meio ambiente	POPs	CONAMA 499/20	Anexo I CONAMA 499/20
		PCBs		< 50 mg/Kg
		Metais		Anexo III CONAMA 499/20
		Cloro total		
		Flúor total		
		Enxofre total		
		Nitrogênio total		
5	Risco para qualidade do cimento	Cádmio (Cd) + Mercúrio (Hg) + Tálho (TI)	COPAM 154/2010	100 mg/kg. Hg < 10mg/kg
		Arsênio (As) + Cobalto (Co) +	COPAM 154/2010	1.500 mg/kg

	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência
		Níquel (Ni) + Selênio (Se) + Telúrio (Te)		
		Antimônio (Sb) + Cromo (Cr) + Estanho (Sn) + Chumbo (Pb) + Vanádio (V)	COPAM 154/2010	5.800 mg/kg. Pb < 3.000 mg/kg
		Fosfato	NA	NA
		Flúor total	NA	NA
		Enxofre total	NA	NA

Fonte: CONAMA 499/20, NR-15, NR-20, NBR 12235/92, NBR 10.0004/04 e COPAM 154/2010.

Para auxiliar no preenchimento do protocolo, foi elaborado um fluxograma com a finalidade de auxiliar a avaliação técnica dos resíduos industriais, com foco no seu reaproveitamento energético em fornos de clínquer, contendo as possibilidades de seguimento ou não do aceite técnico (Figura 16).

Figura 16 - Fluxograma para avaliação técnica de resíduos industriais visando seu reaproveitamento energético em fornos de clínquer



Após a caracterização do resíduo conforme origem e volume, a avaliação técnica seguiu as seguintes etapas:

- **Etapa 1:** Avaliação da existência de restrição para o co-processamento conforme o CONAMA 499/20. Como parâmetros, deverão ser avaliados a presença de resíduos radioativos; explosivos ou de serviço de saúde (ressalva para medicamentos, provenientes do processo de produção da indústria farmacêutica e os que tenham sido descaracterizados a tratamentos que alterem suas propriedades físico-químicas ou biológicas). Caso seja positivo para um dos três itens não será possível seguir com a avaliação e o resíduo não poderá ser coprocessado;

- **Etapa 2:** Avaliação da viabilidade operacional. Nesta etapa, os parâmetros avaliados correspondem ao poder calorífico do resíduo, a concentração de cloro total, umidade e cinzas. Se cada um desses parâmetros for distinto dos parâmetros de referência, é necessário informar qual efeito/consequência para o processo e realizar a análise da aceitabilidade do risco. Geralmente para essa etapa de análise, as recomendações serão a adequação dos parâmetros através da blendagem com outros resíduos;

- **Etapa 3:** Classificação do resíduo conforme a NBR 10.004/2004. O resíduo deverá ser classificado como classe I, classe IIA ou classe IIB. Caso o resíduo seja classificado como classe IIA ou IIB, ele seguirá diretamente para a avaliação dos riscos de alteração da qualidade do cimento. Caso o resíduo seja classificado como classe I, este deverá ser informado a propriedade perigosa e seguir para a avaliação de riscos;

- **Etapa 4:** Avaliação dos riscos para saúde ocupacional, para segurança de processo através da avaliação do risco de incêndio e de incompatibilidade química e risco para meio ambiente;

- **Etapa 4.1:** Avaliação dos riscos para saúde ocupacional. Os parâmetros avaliados aqui são os do Anexo 11 da NR-15 (ANEXO C). Caso haja a presença de um dos componentes presentes nesse anexo faz-se necessário classificar os efeitos e consequências desse risco e realizar a análise da aceitabilidade do risco. As recomendações para esse risco serão baseadas ao grau de exposição do trabalhador quanto ao manuseio do resíduo, podendo ser desde a recomendação de EPIs até o monitoramento ambiental e de saúde ocupacional do trabalhador (PPRA e PCMSO), ou até mesmo, procedimentos específicos para manuseio do produto;

- **Etapa 4.2:** Avaliação dos riscos para segurança de processo. Para avaliação do risco de incêndio será avaliado o ponto de fulgor do resíduo e classificado conforme a NR-20. Caso o resíduo seja inflamável deverá ser identificado os efeitos e consequências desse risco e

realizar a análise de aceitabilidade. Para avaliação dos riscos de incompatibilidade química, o resíduo será classificado conforme os grupos da ABNT NBR 12.235/1992 apresentados na Tabela 8. Posteriormente deverá ser feita a classificação dos efeitos e consequências desse risco e realizar a análise da aceitabilidade do risco. Para este cenário as recomendações serão a não mistura com os grupos de resíduos incompatíveis;

- **Etapa 4.3:** Avaliação dos riscos para o meio ambiente. Nesta etapa são avaliados os parâmetros definidos pelo CONAMA 499/20: POPs, PCBs, metais, cloro total, flúor total, enxofre e nitrogênio. Posteriormente deverá ser feita a classificação dos efeitos e consequências desse risco e realizar a análise da aceitabilidade do risco. Para mitigação desse cenário de risco poderá recomendar-se a blendagem dos resíduos até o seu enquadramento ou avaliar a vazão de alimentação do resíduo no forno de clínquer. Vale ressaltar que um dos objetivos do co-processamento é a destruição térmica dos POPs, portanto, a presença de orgânicos nos resíduos não necessariamente apresenta cenários de riscos elevados para esta operação;

- **Etapa 5:** Avaliação dos riscos para a qualidade do cimento. Essa etapa será avaliada tanto para os resíduos classe I, quanto para os resíduos classe II. Os parâmetros avaliados serão os metais definidos pela legislação estadual de Minas Gerais COPAM 154/2010, uma vez que as resoluções federais não legislam a concentração máxima de componentes químicos dos resíduos. São inclusos aqui também os parâmetros fosfato, flúor total e enxofre total pois impactam diretamente na qualidade do clínquer. Posteriormente deverá ser feita a classificação dos efeitos e consequências desse risco e realizar a análise da aceitabilidade do risco. Como recomendações, geralmente a blendagem do resíduo é suficiente para mitigação do cenário de risco;

- **Etapas subsequentes:** Servirão para avaliar se as ações para mitigação dos riscos foram suficientes através da blendagem dos resíduos e das recomendações adotadas. Em caso afirmativo, o resíduo poderá seguir para co-processamento. Caso contrário, o resíduo não poderá ser coprocessado.

5.2 ESTUDO DE CASO

5.2.1 Resíduo Borra Peneirada

O primeiro resíduo avaliado, seguindo o protocolo proposto, se refere à borra oleosa peneirada. No ANEXO G estão inseridos os componentes físico-químicos presentes no

resíduo, salientando-se que, em sua maior composição, foram identificadas a presença de componentes orgânicos voláteis, semivoláteis e metais. Os parâmetros que apresentaram relevância para serem avaliados, por não se encontrarem em concordância com os valores de referência, estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros analisados no protocolo do resíduo borra oleosa peneirada

Parâmetro	Unidade/kg de resíduo	Resultado	Valor de referência
PCS	kcal	2.231,00	2.500
Umidade	% (m/m) ^a	23	20
Xilenos	mg	30,3	78
Cumeno	mg	1,1	39
Fenol	mg	7,5	4
Mercúrio Total	mg	8,2	10
Cobalto Total	mg	810	1.500 ^b
Cromo Total	mg	70	5.800 ^c
Chumbo Total'	mg	36	3.000

Notas: ^a % (m/m): massa de H₂O por massa de resíduo.

^b Somatório das concentrações de Arsênio (As)+Cobalto (Co)+Níquel (Ni)+Selênio (Se)+Telúrio (Te).

^c Somatório das concentrações de Antimônio (Sb)+Cromo (Cr)+Estanho (Sn)+Chumbo (Pb)+Vanádio (V).

Após a identificação da origem do resíduo, caracterização do resíduo, seguindo o fluxo de avaliação conforme o protocolo, foram feitas as seguintes considerações:

- **Etapa 1:** O resíduo não apresentou componentes radioativos, explosivos ou de serviços de saúde em sua composição, portanto não houve restrição para ser co-processado;

- **Etapa 2:** O resíduo apresentou concentração de cloro e cinzas dentro dos limites de referência, entretanto:

➔ O PCS alcançado foi equivalente a 2.231 kcal/kg, portanto, abaixo do valor limite de referência, o que pode gerar interferência no processo de substituição térmica na cimenteira.

- **Matriz de aceitabilidade de risco:** A Categoria do Risco foi classificada como POTENCIAL DE RISCO BAIXO (PRB). A Categoria de frequência selecionada foi definida como PROVÁVEL, por ser esperado que ocorra uma vez na vida útil da instalação (Quadro 4) e, conforme o Quadro 5, a Categoria de Severidade foi definida como BAIXA pelo fato de a unidade precisar apenas de um dia de interrupção para resolução deste problema.

- **Recomendações:** Alteração do cenário PRB através de ajustes na produção de *blend* de resíduos.

→ O teor de umidade do resíduo foi equivalente a 23%, fato que poderá apresentar problemas operacionais na cimenteira, pois impacta no aumento da temperatura de combustão dos gases no interior do forno;

- **Matriz de aceitabilidade de risco:** Cenário com POTENCIAL DE RISCO BAIXO (PRB). A Categoria de Frequência selecionada foi a PROVÁVEL, por ser esperado que ocorra uma vez na vida útil da instalação, enquanto a Categoria de Severidade selecionada identificada como BAIXA, uma vez que a unidade teria, no máximo, um dia de interrupção ocasionado por esse problema.
- **Recomendações:** Este cenário PRB poderá ser ajustado com a produção de *blend* de resíduos.

• **Etapa 3:** O resíduo apresentou óleos, graxas, compostos orgânicos, que o classificam como resíduo classe I, de propriedade perigosa ecotóxica, por conter substâncias e misturas que possam apresentar riscos imediatos ou posteriores a uma ou mais áreas do meio ambiente. Desta forma, seguiu-se para as etapas subsequentes de avaliação de riscos;

• **Etapa 4.1:** A análise do resíduo detectou a presença das substâncias cumeno, fenol, xileno e chumbo, acima dos limites de referência, que podem ocasionar contaminações nos trabalhadores, através da inalação ou contato.

- **Matriz de aceitabilidade de risco:** O cenário avaliado apresentou POTENCIAL DE RISCO BAIXO (PRB). A Categoria de Severidade selecionada foi definida como MODERADA, pois poderá gerar um acidente com o afastamento do trabalhador, enquanto a Categoria de Frequência foi identificada como REMOTA, pois há presença de produtos perigosos os quais estão sujeitos a vazamento.
- **Recomendações:** Estabelecer o procedimento para manuseio do resíduo incluindo a necessidade da utilização de EPIs conforme contemplados no PPRA da empresa e, fazer o acompanhamento de exposição à saúde ocupacional do

trabalhador que manuseará o resíduo, conforme contemplado no PCMSO da empresa.

- **Etapa 4.2:** O resíduo não apresentou características de inflamabilidade devido ao ponto de fulgor ter sido superior a 60 °C, não apresentando, portanto, riscos de incêndio. Em relação aos riscos de incompatibilidade química, foi classificado como pertencente ao grupo 5A, pela presença de hidrocarbonetos, podendo causar reações químicas indesejadas, se misturados com resíduos dos grupos 1A, 3A e 1B.

- **Matriz de aceitabilidade de risco:** O Cenário Potencial de Risco foi classificado como BAIXO (PRB). A Categoria de Severidade foi definida como BAIXA devido à liberação, sem contenção, de produtos químicos perigosos, causando impactos ao meio ambiente, restrito à área da empresa. A Categoria de Frequência selecionada foi remota, pois poderá ocorrer após dupla falha humana em condições adequadas com treinamento e procedimento.
- **Recomendações:** O armazenamento do resíduo deverá respeitar o isolamento dos resíduos incompatíveis dos grupos 1A, 3A e 1B.

- **Etapa 4.3:** Não foram detectados POPs e PCBs no resíduo, conforme CONAMA 499/20, entretanto, foram encontrados mercúrio e chumbo, responsáveis por emissões atmosféricas fora do padrão aceito pela legislação.

- **Matriz de aceitabilidade de risco:** O Cenário Potencial de Risco apresentou potencial MÉDIO (PRM). A Categoria de Severidade selecionada foi a CRÍTICA, pelo fato de ocorrer liberação, sem contenção, de produtos químicos perigosos, causando sérios impactos ao meio ambiente, no entorno da empresa. A Categoria de Frequência selecionada foi a IMPROVÁVEL, pois vários sistemas de proteção precisariam falhar simultaneamente para que o evento ocorresse.
- **Recomendações:** Para mitigação deste cenário PRM, propõem-se a produção de *blend* para enquadrar os parâmetros no resíduo e avaliar a vazão de alimentação do resíduo no forno. Desta forma, poderá ser feita a limitação da concentração de metais nas emissões atmosféricas.

- **Etapa 5:** Apesar do resíduo ter apresentado, em sua composição, metais como mercúrio, chumbo, cromo e cobalto, o somatório destes não foi suficiente para ultrapassar o valor máximo permitido pela resolução COPAM 154/2010, portanto o resíduo poderá ser coprocessado sem impactos para a qualidade do clínquer;
- **Etapas subsequentes:** Após a aceitação dos riscos e aplicação das recomendações para mitigação dos cenários apresentados nas etapas 4.1, 4.2 e 4.3, o resíduo deverá seguir para a mistura e adequação dos parâmetros. Posteriormente, o resíduo borra oleosa peneirada poderá ser coprocessado visto que, não houve nenhuma recomendação que impedisse a utilização deste resíduo como substituto energético no forno de clínquer.

O Quadro 8 mostra a avaliação completa do aceite técnico para o resíduo borra oleosa peneirada.

Quadro 8 - Avaliação completa do aceite técnico para o resíduo borra oleosa peneirada

	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência	Avaliação	Efeito/ Consequência	Severidade	Frequência	Categoria Risco	Recomendação/ Observação
1.	Restrição	Radioativos	CONAMA 499/20	Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Explosivos		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Serviço de saúde (ressalva para medicamentos, provenientes do processo de produção da indústria farmacêutica e os que tenham sido descaracterizados a tratamento que altere suas propriedades físico-químicas ou biológicas)		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
2.	Viabilidade operacional	PCS	NA	> 2.500 Kcal/kg	2.231	Distúrbio no processo da cimenteira	Baixo	Provável	PRB	Produzir <i>blend</i> para enquadrar o parâmetro
		Cloro total	NA	< 0,5% m/m	0,5	NA	NA	NA	NA	NA
		Umidade	NA	< 20% m/m	23	Distúrbio no processo da cimenteira	Baixo	Provável	PRB	Produzir <i>blend</i> para enquadrar o parâmetro
		Cinzas	NA	< 35%	34	NA	NA	NA	NA	NA
3.	Classificação resíduo	Perigoso ou não perigoso	NBR 10.0004/04	Classe I, IIA ou IIB	Classe I	Ecotóxico	NA	NA	NA	Seguir as avaliações de risco
4.1.	Risco para saúde ocupacional	Presença de agente químico que possam ser absorvidos por inalação por via respiratória e/ou cutânea	NR-15	ANEXO 11 NR-15	Sim	Inalação de compostos perigosos	Moderado	Remoto	PRB	1. Seguir orientações para manuseio do resíduo; 2. Utilização de EPIs contemplados no PPRA; 3. Acompanhamento de exposição à saúde

	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência	Avaliação	Efeito/ Consequência	Severidade	Frequência	Categoria Risco	Recomendação/ Observação
										ocupacional conforme contemplado no PCMSO;
4.2.	Risco para segurança de processo (incêndio)	Ponto Fulgor	NR-20	Ponto Fulgor > 60°C	Sim	NA	NA	NA	NA	NA
	Risco para segurança de processo (incompatibilidade)	Grupo 1A	NBR 12235 /92	Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 2A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 3A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 4A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 5A		Presença	Sim	Reação química indesejada/violenta	Baixo	Ocasional	PRB	Não realizar mistura com grupo 1A, 3A e 1B
		Grupo 6A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 7A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 1B		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 2B		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
4.3.	Risco para meio ambiente	POPs	CONAMA 499/20	Anexo I CONAMA 499/20	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		PCBs		< 50 mg/Kg	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Metais		Anexo III CONAMA 499/20	Sim	Contaminação atmosférica	Crítico	Improvável	PRM	Produzir blend para enquadrar os parâmetros - Avaliar vazão para alimentação do

	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência	Avaliação	Efeito/Consequência	Severidade	Frequência	Categoria Risco	Recomendação/Observação
										resíduo devido a limitação das emissões atmosféricas para metais
		Cloro total			0,5	NA	NA	NA	NA	NA
		Flúor total			Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Enxofre total			Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Nitrogênio total			Não	NA	Na	NA	NA	NA
5.	Risco para qualidade do cimento	Cádmio (Cd) + Mercúrio (Hg) + Tálcio (Tl)	COPAM 154/2010	100 mg/kg. Hg<10mg/kg	8,2	NA	NA	NA	NA	NA
		Arsênio (As) + Cobalto (Co) + Níquel (Ni) + Selênio (Se) + Telúrio (Te)	COPAM 154/2010	1.500 mg/kg	921	NA	NA	NA	NA	NA
		Antimônio (Sb) + Cromo (Cr) + Estanho (Sn) + Chumbo (Pb) + Vanádio (V)	COPAM 154/2010	5.800 mg/kg. Pb<3.000 mg/kg	121	NA	NA	NA	NA	NA
		Fosfato	NA	NA	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Flúor total	NA	NA	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Enxofre total	NA	NA	Não	NA	NA	NA	NA	NA

Fonte: CONAMA 499/20, NR-15, NR-20, NBR 12235/92, NBR 10.004/04 e COPAM 154/2010.

5.2.2 Resíduo Triturado

O resíduo triturado foi avaliado seguindo o protocolo proposto. O ANEXO G mostra a relação dos componentes físico-químicos presentes no resíduo, salientando-se que, em sua maior composição, foram detectadas a presença de componentes orgânicos voláteis, semivoláteis e metais. Dentre os parâmetros analisados, os que apresentaram relevância para serem avaliados, por serem distintos dos valores de referência, estão mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros analisados no protocolo do resíduo triturado

Parâmetro	Unidade/kg de resíduo	Resultado	Valor de referência
PCS	kcal	6.735,00	2.500
Cloro total	% (m/m) ^a	0,8	0,5
1,1,2-Tricloroetano	mg	2,2	8
Mercúrio Total	mg	0,6	10
Cobalto Total	mg	90	1.500 ^b
Cromo Total	mg	762	5.800 ^c
Chumbo Total	mg	19	3000

Notas: ^a % (m/m): massa de cloro por massa de resíduo.

^b Somatório das concentrações de Arsênio (As)+Cobalto (Co)+Níquel (Ni)+Selênio (Se)+Telúrio (Te).

^c Somatório das concentrações de Antimônio (Sb)+Cromo (Cr)+Estanho (Sn)+Chumbo (Pb)+Vanádio (V).

Após a identificação da origem do resíduo, caracterização do resíduo, seguindo o fluxo de avaliação conforme o protocolo, foram feitas as seguintes considerações:

- **Etapa 1:** O resíduo não apresentou componentes radioativos, explosivos ou de serviços de saúde em sua composição, portanto não houve restrição para ser coprocessado.
- **Etapa 2:** O resíduo apresentou teor de umidade dentro do valor limite de referência. O PCS foi correspondente a 6.735 kcal/kg, o que indica que o resíduo é um excelente substituto energético para o coque. O teor de cloro total foi de 0,8%, fato que poderá apresentar problemas operacionais na cimenteira devido a reação do cloro com o óxido de cálcio, diminuindo a disponibilidade deste para a produção do clínquer. Além disso, o cloro poderá causar problemas de corrosão nos equipamentos.
 - **Matriz de aceitabilidade de risco:** Este cenário de risco apresentou POTENCIAL DE RISCO BAIXO (PRB). A Categoria de Severidade foi identificada como MODERADA devido a interrupção da unidade de 4 a 10 dias (Quadro 5), além de

ocasionar a alteração da qualidade do cimento. A Categoria de Frequência selecionada foi definida como REMOTA, devido a necessidade de dupla falha humana em condições adequadas de treinamento para que o evento ocorra.

- **Recomendações:** Este cenário PRB poderá ser ajustado com a produção de *blend* de resíduos.
-
- **Etapa 3:** O resíduo apresentou solventes, hidrocarbonetos e compostos orgânicos, que o classificam como resíduo classe I. A propriedade perigosa a qual foi classificado é a ecotóxica pelo fato de apresentar substâncias e misturas as quais possam apresentar riscos imediatos ou posteriores à um ou mais áreas do meio ambiente. Desta forma, seguiu-se para as etapas subsequentes de avaliação de riscos;
-
- **Etapa 4.1:** O resíduo apresentou o composto orgânico 1,1,2 – tricloroetano e o metal chumbo acima do valor limite de referência contemplado no ANEXO C. Como consequência para esse cenário poderá ocorrer a contaminação de trabalhadores através de inalação ou contato com os compostos perigosos.
 - **Matriz de aceitabilidade de risco:** O cenário avaliado apresentou POTENCIAL DE RISCO BAIXO (PRB). A Categoria de Severidade selecionada foi a MODERADA, pois poderá gerar um acidente com afastamento e a Categoria de Frequência foi definida como REMOTA, pois há presença de produtos perigosos, sujeitos a vazamento.
 - **Recomendações:** Estabelecer o procedimento para manuseio do resíduo, incluindo a necessidade da utilização de EPIs, conforme contemplados no PPRA da empresa e, fazer o acompanhamento de exposição à saúde ocupacional do trabalhador que irá manusear o resíduo, conforme contemplado no PCMSO da empresa.
-
- **Etapa 4.2:** O resíduo não apresentou características de inflamabilidade devido ao ponto de fulgor ter sido superior a 60 °C, não caracterizando riscos de incêndio. Referente aos riscos de incompatibilidade química, foi classificado como pertencente ao GRUPO 5A devido à presença de hidrocarbonetos halogenados, que podem causar reações químicas indesejadas, se misturados aos resíduos dos grupos 1A, 3A e 1B.

- **Matriz de aceitabilidade de risco:** O cenário potencial de risco foi classificado como BAIXO (PRB). A Categoria de Severidade selecionada foi BAIXA devido a liberação de produtos químicos perigosos dentro da empresa, causando impactos ao meio ambiente. A Categoria de Frequência selecionada foi definida como REMOTA, pois poderá ocorrer caso haja dupla falha humana, à exemplo de descumprimento de procedimentos.
 - **Recomendações:** O armazenamento do resíduo deverá respeitar o isolamento dos resíduos incompatíveis com os grupos 1A, 3A e 1B.
- **Etapa 4.3:** O resíduo não apresentou em sua composição POPs e nem PCBs conforme CONAMA 499/20. Entretanto, foi detectado cloro total e metais como o mercúrio, cromo e o chumbo que poderão ser responsáveis por emissões atmosféricas fora do padrão.
 - **Matriz de aceitabilidade de risco:** Esse cenário de risco apresentou potencial MÉDIO (PRM). A Categoria de Severidade selecionada foi a CRÍTICA, pelo fato de ocorrer liberação, sem contenção, de produtos químicos perigosos, causando sérios impactos ao meio ambiente, no entorno da empresa. A Categoria de Frequência selecionada foi a IMPROVÁVEL, pois vários sistemas de proteção precisariam falhar simultaneamente para que o evento ocorresse.
 - **Recomendações:** Para mitigação deste cenário PRM, propõem-se a produção de *blend* para enquadrar os parâmetros no resíduo e avaliar a vazão de alimentação do resíduo no forno. Desta forma, poderá ser feita a limitação da concentração de metais nas emissões atmosféricas.
 - **Etapa 5:** Apesar do resíduo ter apresentado em sua composição metais como mercúrio, chumbo, cromo e cobalto, o somatório destes não foi suficiente para ultrapassar o valor máximo permitido pela resolução COPAM 154/2010. Portanto o resíduo poderá ser coprocessado sem impactos para a qualidade do clínquer.
 - **Etapas subsequentes:** Após a aceitação dos riscos e aplicação das recomendações para mitigação dos cenários apresentados nas etapas 4.1, 4.2 e 4.3, o resíduo deverá seguir para a mistura e adequação dos parâmetros. Posteriormente, o resíduo triturado poderá ser coprocessado visto que, não houve nenhuma recomendação que impedisse a utilização deste resíduo como substituto energético no forno de clínquer.

O Quadro 9 mostra a avaliação completa do aceite técnico para o resíduo triturado.

Quadro 9 - Avaliação técnica do resíduo triturado

	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência	Avaliação	Efeito/Consequência	Severidade	Frequência	Categoria Risco	Recomendação/Observação
1	Restrição	Radioativos	CONAMA 499/20	Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Explosivos		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Serviço de saúde (ressalva para medicamentos, provenientes do processo de produção da indústria farmacêutica e os que tenham sido descaracterizados a tratamento que altere suas propriedades físico-químicas ou biológicas)		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA
2	Viabilidade operacional	PCS	NA	> 2.500 Kcal/kg	6.735,0	NA	NA	NA	NA	NA
		Cloro total	NA	< 0,5% m/m	0,8	Alteração qualidade do cimento	Moderado	Remoto	PRB	Produzir <i>blend</i> para enquadrar o parâmetro
		Umidade	NA	< 20% m/m	< 0,5	NA	NA	NA	NA	NA
		Cinzas	NA	< 35%	7,7	NA	NA	NA	NA	NA
3	Classificação resíduo	Perigoso ou não perigoso	NBR 10.0004/04	Classe I, IIA ou IIB	Classe I	Ecotóxico	NA	NA	NA	Seguir as avaliações de risco
4.1	Risco para saúde ocupacional	Presença de agente químico que possam ser absorvidos por inalação por via respiratória e/ou cutânea	NR-15	ANEXO 11 NR-15	Sim	Inalação de compostos perigosos	Moderado	Remoto	PRB	1. Seguir orientações para manuseio do resíduo; 2. Utilização de EPIs contemplados no

	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência	Avaliação	Efeito/Consequência	Severidade	Frequência	Categoria Risco	Recomendação/Observação	
										PPRA; 3. Acompanhamento de exposição à saúde ocupacional conforme contemplado no PCMSO;	
4.2	Risco para segurança de processo (incêndio)	Ponto Fulgor	NR-20	Ponto Fulgor > 60°C	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	
	Risco para segurança de processo (incompatibilidade)	Grupo 1A	NBR 12235/92	Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 2A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 3A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 4A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Grupo 5A		Presença	Sim	Reação química indesejada/violenta	Moderado	Ocasional	PRB	Não realizar mistura com grupo 1, 3A e 1B	
		Grupo 6A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA	
		Grupo 7A		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA	
		Grupo 1B		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA	
		Grupo 2B		Presença	Não	NA	NA	NA	NA	NA	
4.3	Risco para meio ambiente	POPs	CONAMA 499/20	Anexo I CONAMA 499/20	Não	NA	NA	NA	NA	NA	
		PCBs		< 50 mg/Kg	Não	NA	NA	NA	NA	NA	
		Metais		Anexo III CONAMA 499/20	Sim	Contaminação atmosférica	Crítico	Improvável	PRM	Produzir <i>blend</i> para enquadrar os parâmetros - Avaliar vazão para alimentação	

	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência	Avaliação	Efeito/ Consequência	Severidade	Frequência	Categoria Risco	Recomendação/ Observação
										do resíduo devido a limitação das emissões atmosféricas para metais
		Cloro total			0,8	Contaminação atmosférica	Crítico	Improvável	PRM	Produzir <i>blend</i> para enquadrar os parâmetros - Avaliar vazão para alimentação do resíduo devido a limitação das emissões atmosféricas para HCl
		Flúor total			Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Enxofre total			Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Nitrogênio total			Não	NA	NA	NA	NA	NA
5	Risco para qualidade do cimento	Cádmio (Cd) + Mercúrio (Hg) + Tálho (Tl)	COPAM 154/2010	100 mg/kg. Hg<10mg/kg	0,6	NA	NA	NA	NA	NA
		Arsênio (As) + Cobalto (Co) + Níquel (Ni) + Selênio (Se) + Telúrio (Te)	COPAM 154/2010	1.500 mg/kg	129	NA	NA	NA	NA	NA
		Antimônio (Sb) + Cromo (Cr) + Estanho (Sn) + Chumbo (Pb) + Vanádio (V)	COPAM 154/2010	5.800 mg/kg. Pb<3.000 mg/kg	781	NA	NA	NA	NA	NA
		Fosfato	NA	NA	Não	NA	NA	NA	NA	NA

	Etapa de avaliação	Parâmetro de avaliação	Norma referência	Referência	Avaliação	Efeito/ Consequência	Severidade	Frequência	Categoria Risco	Recomendação/ Observação
		Flúor total	NA	NA	Não	NA	NA	NA	NA	NA
		Enxofre total	NA	NA	Não	NA	NA	NA	NA	NA

Fonte: CONAMA 499/20, NR-15, NR-20, NBR 12235/92, NBR 10.004/04 e COPAM 154/2010.

6 CONCLUSÃO

As legislações específicas para tratamento térmico e classificação de resíduos não se mostraram suficientes para mensurar e prever os potenciais riscos associados ao reaproveitamento energético de resíduos industriais perigosos devido a alta complexidade e interdisciplinaridade que apresenta este processo. Desta forma, leis, resoluções, diretrizes e normas técnicas foram avaliadas em conjunto à matriz de aceitabilidade de riscos para a elaboração do protocolo de avaliação técnica de resíduos industriais.

O protocolo apresentado indica que a quantidade de análises realizadas pelas cimenteiras e pelos gerenciadores de resíduos podem ser reduzidas e, desta forma a minimizar os custos, otimizar as avaliações conferindo melhor direcionamento aos riscos avaliados. Conforme o direcionamento das análises, o protocolo poderá ser utilizado como apoio na construção do programa de riscos ambientais e do programa de controle médico de saúde ocupacional. Além disso, no âmbito de gerenciamento de resíduos, este modelo de protocolo poderá ser utilizado para outras modalidades de tratamento térmico, tais como, incineração, pirólise, dessorção térmica, desde que sejam respeitadas as particularidades operacionais de cada processo.

O protocolo ainda apresenta algumas limitações devido a inexistência de valores de referência para alguns parâmetros, o que ficará sob a responsabilidade da equipe técnica dos gerenciadores de resíduos e das cimenteiras, a realização de testes de bancada para avaliar possíveis alterações no processo. Além disso, a inexistência de uma legislação única que contemple todos os riscos poderá ocasionar revisões no protocolo, caso alguma legislação ou norma seja revisada. Neste protocolo não foram consideradas legislações específicas e requisitos mínimos para o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos. Também, não se aplica no âmbito de avaliação de riscos referentes ao transporte de resíduos perigosos, pois entende-se que o transporte deve ser avaliado como um processo à parte por conta das peculiaridades do estado físico do resíduo, embalagem, equipamento e localidade.

O estudo de caso realizado com os resíduos industriais perigosos teve como resultado a viabilidade técnica para realizar o aproveitamento térmico de ambos os resíduos, por não apresentarem restrições técnicas relevantes. Entretanto, ressalta-se que para ambos os resíduos foram identificados cenários de potencial baixo e risco médio, os quais geraram recomendações para mitigação dos riscos antes de serem co-processados.

Os cenários de POTENCIAL RISCO MÉDIO foram decorrentes do risco de emissões atmosféricas fora do padrão, pela presença de metais, o de POTENCIAL RISCO BAIXO

foram devido à presença de compostos químicos maiores que o legislado pelo anexo 11 da NR-15. Esses cenários geraram recomendações para serem adotadas antes do reaproveitamento energético em fornos de clínquer. Além disso, ambos os resíduos indicaram a presença de metais em sua composição, entretanto, a concentração não foi suficiente para caracterizar algum cenário de risco referente a perda de qualidade do produto.

Especificamente para o resíduo borra oleosa peneirada constatou-se o PCS menor que o requerido para a realização da substituição térmica, tendo como recomendação a realização de *blend* de resíduo para adequação do potencial energético.

Baseando-se nas considerações realizadas, pode-se concluir que o protocolo se mostrou eficiente para avaliar riscos associados ao tratamento térmico de resíduos. Entretanto, se faz importante uma movimentação entre as cimenteiras, geradores e gerenciadores de resíduos, que são interessados no reaproveitamento térmico, para que seja constituído um comitê com o propósito de discutir normas mais robustas que contemplem, em uma única versão, o mapeamento dos riscos associados a esses processos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos do Brasil 2020**. Ano base 2018. São Paulo, 2020.

AHN, J.; CHANG, D. Fuzzy-based HAZOP study for process industry. **Journal of Hazardous Materials**, v. 317, p. 303-311, 2016. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.05.096

AMYOTTE, P. R.; LUPIEN, Cathleen S. Elements of process safety management. **Methods in Chemical Process Safety**, p. 87-148, 2017. Doi: 10.1016/bs.mcps.2017.01.004

ARENA, Umberto. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. **Waste Management**, v. 32, n. 4, p. 625-639, 2012. Doi: 10.1016/j.wasman.2011.09.025

ASAMANY, Ebenezer A.; GIBSON, Mark D.; PEGG, Michael J.. Evaluating the potential of waste plastics as fuel in cement kilns using bench-scale emissions analysis. **Fuel**, v. 193, p. 178-186, 2017. Doi: 10.1016/j.fuel.2016.12.054

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. 30 de novembro de 2004. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: Classificação. 30 de novembro de 2004. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12235**: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – Procedimento. 30 de maio de 1992. Rio de Janeiro, 1992.

BAHIA. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução CEPRAM nº 3.965 de 30 de junho de 2009. Gerenciamento de risco no Estado da Bahia**. CEPRAM. Disponível em: <http://www.meioambiente.ba.gov.br>. Acesso em: 20 jan. 2021.

BAIDYA, R.; GHOSH, S. K.; PARLIKAR, U. V.. Co-processing of industrial waste in cement kiln – a robust system for material and energy recovery. **Procedia Environmental Sciences**, v. 31, p. 309-317, 2016. Doi: 10.1016/j.proenv.2016.02.041

BÉBAR, L.; STEHLÍK, P.; HAVLEN, L.; ORAL, J.. Analysis of using gasification and incineration for thermal processing of wastes. **Applied Thermal Engineering**, v. 25, n. 7, p. 1045-1055, 2005. Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2004.07.022

BELGIORNO, V.; FEO, G. de; DELLA ROCCA, C.; NAPOLI, R.M.A. Energy from gasification of solid wastes. **Waste Management**, v. 23, n. 1, p. 1-15, 2003. Doi: 10.1016/s0956-053x(02)00149-6

BORGES, T. M. R. **Proposta de um protocolo de referência para o armazenamento de resíduos industriais de empreendimentos no estado de Minas Gerais**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2019.

BRASIL. Ministério da Economia. **Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15)**. 2018. Disponível em: <https://sit.trabalho.gov.br/portal/index.php/ctpp-nrs/nr-15?view=default>. Acesso em: 20 jan. 2021.

_____. **Norma Regulamentadora nº 20 (NR-20)**. 2018. Disponível em: <https://sit.trabalho.gov.br/portal/index.php/ctpp-nrs/nr-20?view=default>. Acesso em: 20 jan. 2021.

_____. **Norma regulamentadora nº 9 (NR-9) de 09 de dezembro de 2019**: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Brasília, 2020.

_____. **Norma regulamentadora nº 15 (NR-15) de 11 de dezembro de 2019**: Atividades e Operações Insalubres. Brasília, 2020.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Resolução Nº 5.232, de 14 de dezembro de 2016**. 2016. Disponível em: <https://antilegis.antt.gov.br>. Acesso em: 20 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Resolução Nº 5.848, de 25 de junho 2019**. 2019. Disponível em: <https://antilegis.antt.gov.br>. Acesso em: 20 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Justiça. **Lei 9.487, de 6 de agosto de 1997**. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm. Acesso em: 20 jan. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 20 jan. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos**: manual de orientação. 2012. Brasília: ICLEI.

_____. **CONAMA 499/2020**. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-conama/mma-n-499-de-6-de-outubro-de-2020-281790575>. Acesso em: 20 jan. 2021.

_____. **CONAMA 313/2002**. 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>. Acesso em: 20 jan. 2021.

_____. **CONAMA 316/2002**. 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>. Acesso em: 20 jan. 2021.

CHADBOURNE, J. F. Cement Kilns. **Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal**, 1997. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/6701098>. Acesso em: 20 jan. 2021.

CUDJOE, D.; ACQUAH, P. M. Environmental impact analysis of municipal solid waste incineration in African countries. **Chemosphere**, v. 265, p. 129186, 2021. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129186

DOBROSELSKYI, M.; MADLEŇÁK, R. Model of waste transportation management in the conditions of a production company. **Transportation Research Procedia**, v. 40, p. 1023-1029, 2019. Doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.143

FAGUNDES, A. B.; SILVA, M. C.; MELLO, R. A gestão dos resíduos industriais em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos: uma contribuição para as Micro e Pequenas Empresas. **Espacios**, v. 36, n. 01, p. 6, 2015.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/temas-ambientais/ver-todos/residuos-solidos>. Acesso em: 20 jan. 2021.

FERREIRA, A.; TEIXEIRA, D. G.; KOMATSUZAKI, F. Métodos estatísticos para controle do processo produtivo de clínquer de cimento Portland. **Ciência et Praxis**, v. 6, n. 10, 2012.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – FEAM. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais**. 2012. Disponível em: [http://www.resol.com.br/cartilhas/aproveitamento_energetico_de_rsu_guia_feam\(2\).pdf](http://www.resol.com.br/cartilhas/aproveitamento_energetico_de_rsu_guia_feam(2).pdf). Acesso em: 20 jan. 2021.

GEORGIOPOULOU, M.; LYBERATOS, G. Life cycle assessment of the use of alternative fuels in cement kilns: a case study. **Journal of Environmental Management**, v. 216, p. 224-234, 2018. Doi: 10.1016/j.jenvman.2017.07.017

GOHLKE, O.; MARTIN, J. Drivers for innovation in waste-to-energy technology. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 25, n. 3, p. 214-219, 2007. Doi: 10.1177/0734242x07079146

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012. Doi: 10.1590/s1413-81232012000600014

GUIMARÃES, A. G.; VAZ-FERNANDES, P.; RAMOS, M. R.; MARTINHO, A. P. Co-processing of hazardous waste: the perception of workers regarding sustainability and health issues in a brazilian cement company. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 313-324, 2018. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.092

HANSEN, E.; PERSHING, D.W.; SAROFIM, A.F.; HEAP, M.P.; OWENS, W.D. An evaluation of dioxin and furan emissions from a cement kiln co-firing waste. *In: AIR AND WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION CONFERENCE ON WASTE COMBUSTION IN BOILERS AND INDUSTRIAL FURNACES*, 1996. **Proceedings** [...] 1996.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos industriais**. 2012. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120806_relatorio_residuos_solidos.pdf. Acesso em: 16 jan. 2021.

KADDATZ, K.T.; RASUL, M.G.; RAHMAN, Azad. Alternative fuels for use in cement kilns: process impact modelling. **Procedia Engineering**, v. 56, p. 413-420, 2013. Doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.141

KARSTENSEN, K. H. Formation, release and control of dioxins in cement kilns. **Chemosphere**, v. 70, n.4, p. 543-560, 2008. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.06.081

KLINGHOFFER, N.B.; THEMELIS, N.J.; CASTALDI, M.J. Waste to energy (WTE): an introduction. **Waste to Energy Conversion Technology**, p. 3-14, 2013. Doi: 10.1533/9780857096364.1.3

LI, C.; YANG, L.; LIU, X.; YANG, Y.; QIN, L.; LI, D.; LIU, G. Bridging the energy benefit and POPs emission risk from waste incineration. **The Innovation**, v.2, n. 1, p. 100075, 2021. Doi: 10.1016/j.xinn.2020.100075

LOMBARDI, L.; CARNEVALE, E.; CORTI, A.. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. **Waste Management**, v. 37, p. 26-44, 2015. Doi: 10.1016/j.wasman.2014.11.010

MAGALHÃES, A. G. **Caracterização e análise macro e microestrutural de concretos fabricados com cimentos contendo escórias de alto-forno**. 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2007.

MICHAEL, T.. Environmental and social impacts of waste to energy (WTE) conversion plants. **Waste To Energy Conversion Technology**, p. 15-28, 2013. Doi: 10.1533/9780857096364.1.15

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. **Deliberação Normativa COPAM no. 154 de 25 de agosto de 2010**. [S.l.], 2010.

MURAT, M.; SORRENTINO, F. Effect of large additions of Cd, Pb, Cr, Zn, to cement raw meal on the composition and the properties of the clinker and the cement. **Cement And Concrete Research**, v. 26, n. 3, p. 377-385, 1996. Doi: 10.1016/s0008-8846(96)85025-3

OLIVEIRA, M. G. F. O.; VISEDO, G.; PECCHIO, M. **ROADMAP Tecnológico do Cimento: potencial de redução das emissões de carbono na indústria do cimento brasileiro até 2050**. Rio de Janeiro: SNIC, v. 64, p. 2019, 2019.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. **Resolução SEMA nº 16 de 15 de abril de 2014**. Curitiba, 2014.

PARLIKAR, U.; BUNDELA, P.S.; BAIDYA, R.; GHOSH, S.; GHOSH, S. K. Effect of Variation in the Chemical Constituents of Wastes on the Co-processing Performance of the Cement Kilns. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 506-512, 2016. Doi: 10.1016/j.proenv.2016.07.035

PECCHIO, M. **A influência de fósforo, enxofre e estrôncio na mineralogia do clínquer Portland**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2013.

PENNA, P. C. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Panorama do coprocessamento 2020**. Ano base 2018. [S.l.]: ABCP, 2020.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE - PNUMA. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/agencias/onumeioambiente/>. Acesso em: 16 jan. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual de Meio Ambiente - CONSEMA. **Resolução CONSEMA nº 20 de 2000**. Porto Alegre, 2000.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM. **Manual de Análises de Riscos Industriais**. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/>. Acesso em: 16 jan. 2021.

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. F. C.; SANTO, B. C. E. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2011. Doi: 10.1590/s1413-41522011000100003

SANTOS, B. C. N. **Proposição de um sistema de gestão na atividade de co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense – UFF, Rio de Janeiro, 2009.

SCHMIDL, E. Phosphorrecycling und Mitverbrennung von Klärschlamm in der Zementklinkerproduktion. **Phosphorus recovery and co-incineration of sewage sludge in cement clinker production**. [S.l.]: [s.n.], 2018.

SCHNELL, M.; HORST, T.; QUICKER, P. Thermal treatment of sewage sludge in Germany: a review. **Journal Of Environmental Management**, v. 263, p. 110367, 2020. Doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110367

SINGH, G.V.P.B.; SUBRAMANIAM, K.V.L. Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 118024, 2019. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118024

SOBIK-SZOŁTYSEK, J.; WYSTALSKA, K. Coprocessing of sewage sludge in cement kiln. **Industrial and Municipal Sludge**, p. 361-381, 2019. Doi: 10.1016/b978-0-12-815907-1.00016-7

TAMIM, N.; SCOTT, S.; ZHU, W.; KOIRALA, Y.; MANNAN, M. S.. Roles of contractors in process safety. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 48, p. 358-366, 2017. Doi: 10.1016/j.jlp.2017.04.023

TOCCHETTO, M. R. L. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**. Santa Maria: UFSM, 2005. 95 p. Curso de Química Industrial.

TOPUZ, E.; TALINLI, I.; AYDIN, E. Integration of environmental and human health risk assessment for industries using hazardous materials: a quantitative multi criteria approach for environmental decision makers. **Environment International**, v. 37, n. 2, p. 393-403, 2011. Doi: 10.1016/j.envint.2010.10.013

VIEIRA, M. P. **Fundamentos de Incineração**. São Paulo: Editora Gregory, 2012. 300 p.

WBCSD. Safety in the Cement Industry: Guidelines for Measuring and Reporting. Cement Sustainability Initiative (CSI). **World Business Council for Sustainable Development**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

YANG, P.; ZHANG, L.J.; WANG, X.J.; WANG, Z.L. Exploring the management of industrial hazardous waste based on recent accidents. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 67, p. 104224, 2020. Doi: 10.1016/j.jlp.2020.104224

ZIEGLER, D.; SCHIMPF, W.; DUBACH, B.; DEGRÉ, J-P.; MUTZ, D. **Guidelines on Co-processing Waste Materials in Cement Production. The GTZ-Holcim Public Private Partnership**. [S.l.]: [s.n.], 2006.

ANEXO A
CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS CONFORME PNRS 12.305/2010:

“I- Quanto a origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

II - Quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

ANEXO B
QUADRO RESUMO DAS INFORMAÇÕES RELEVANTES DA NORMA REGULAMENTADORA ABNT NBR 12.235/1992

Item	Informação relevante
Objetivo	Fixar as condições exigíveis para o armazenamento de resíduos sólidos perigosos de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente.
Normas complementares	NBR 7505 - Armazenamento de petróleo e seus derivados líquidos-procedimentos NBR 10004 - Resíduos sólidos - Classificação NBR 10157 - Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação – Procedimento
Seleção do local armazenamento	Apresenta instruções mínimas dos critérios de localização
Características do armazenamento	Exige o plano de amostragem e especifica suas características. Detalha as áreas e tipos de acondicionadores com critérios operacionais e estruturais (bacia de contenção).
Características do acondicionamento	Fornecer detalhamento dos tipos de acondicionamento e há confusão dos termos armazenamento e acondicionamento. Apresenta que o acondicionamento de resíduos perigosos como uma forma temporária de espera para reciclagem, recuperação, tratamento e/ou disposição final pode ser realizado em contêineres, tambores, tanques e/ou a granel.
Critérios de isolamento e sinalização	Afirma que um local de armazenamento de resíduos perigosos deve possuir: a) sistema de isolamento tal que impeça o acesso de pessoas estranhas; b) sinalização de segurança que identifique a instalação para os riscos de acesso ao local; c) áreas definidas, isoladas e sinalizadas para armazenamento de resíduos compatíveis.
Iluminação e força	Mostra que a instalação de armazenamento de resíduos perigosos deve ser suprida de iluminação e força, de modo a permitir uma ação de emergência, mesmo à noite, além de possibilitar o uso imediato de equipamentos como bombas, compressores etc.
Comunicação	Defende que o local deve possuir um sistema de comunicação interno e externo, além de permitir o seu uso em ações de emergência. No caso de áreas de armazenamento de resíduos inflamáveis, os equipamentos elétricos devem estar de acordo com os requisitos para áreas classificadas.
Acesso à área	Apresenta que, tanto os acessos internos quanto os externos devem ser protegidos, executados e mantidos de maneira a permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas.
Controle de poluição	Aponta que todos os sistemas de armazenamento de resíduos perigosos devem considerar a necessidade de equipamentos de controle de poluição e/ou sistemas de tratamento de poluentes ambientais, em função das características dos resíduos, das condições de armazenamento e da operação do sistema. Identifica que a instalação deve estar suprida de um sistema de proteção das águas superficiais e subterrâneas, conforme NBR 10157.
Treinamento	Atesta que o treinamento deve incluir: a) forma de operação da instalação; b) procedimentos para o preenchimento dos quadros de registro de movimentação e armazenamento de resíduos; c) aspectos de segurança para caso de incêndio. Deve ser feito também um registro, contendo uma descrição do programa de treinamento realizado por cada indivíduo na instalação.
Segurança	Descreve critérios do plano de emergência, coordenador de emergência, uso de EPIs e equipamentos de segurança.
Registro da operação	Defende que a instalação deve possuir um registro de sua operação, que deve ser mantido até o fim de sua vida útil, incluindo o período de encerramento das atividades. As formas de relatório de movimentação de resíduos e registro de armazenamento devem seguir os modelos dos Anexos A e B da norma.
Encerramento das atividades	Por ocasião do encerramento das atividades, todo e qualquer resíduo perigoso ou restos de resíduos devem ser removidos dos tanques, dos equipamentos de controle de descarga e das estruturas de confinamento de descarga.

Fonte: Adaptada de BORGES (2018).

ANEXO C

ANEXO 11 DA NR15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

AGENTES QUÍMICOS CUJA INSALUBRIDADE É CARACTERIZADA POR LIMITE DE TOLERÂNCIA E INSPEÇÃO NO LOCAL DE TRABALHO

1. Nas atividades ou operações nas quais os trabalhadores ficam expostos a agentes químicos, a caracterização de insalubridade ocorrerá quando forem ultrapassados os limites de tolerância constantes do Quadro n.º 1 deste Anexo.
2. Todos os valores fixados no Quadro n.º 1 - Tabela de Limites de Tolerância são válidos para absorção apenas por via respiratória.
3. Todos os valores fixados no Quadro n.º 1 como "Asfixiantes Simples" determinam que nos ambientes de trabalho, em presença destas substâncias, a concentração mínima de oxigênio deverá ser 18 (dezoito) por cento em volume. As situações nas quais a concentração de oxigênio estiver abaixo deste valor serão consideradas de risco grave e iminente.
4. Na coluna "VALOR TETO" estão assinalados os agentes químicos cujos limites de tolerância não podem ser ultrapassados em momento algum da jornada de trabalho.
5. Na coluna "ABSORÇÃO TAMBÉM PELA PELE" estão assinalados os agentes químicos que podem ser absorvidos, por via cutânea, e, portanto, exigindo na sua manipulação o uso das luvas adequadas, além do EPI necessário à proteção de outras partes do corpo.
6. A avaliação das concentrações dos agentes químicos através de métodos de amostragem instantânea, de leitura direta ou não, deverá ser feita pelo menos em 10 (dez) amostragens, para cada ponto - ao nível respiratório do trabalhador. Entre cada uma das amostragens deverá haver um intervalo de, no mínimo, 20 (vinte) minutos.
7. Cada uma das concentrações obtidas nas referidas amostragens não deverá ultrapassar os valores obtidos na equação que segue, sob pena de ser considerada situação de risco grave e iminente.

Valor máximo = L.T. x F. D. Onde:

L.T. = limite de tolerância para o agente químico, segundo o Quadro n.º 1.

F.D. = fator de desvio, segundo definido no Quadro n.º 2.

QUADRO N.º 2			
L.T.		F.D.	
(pp,	ou	mg/m ³)	
0	a	1	3
1	a	10	2
10	a	100	1,5
100	a	1000	1,25
acima	de	1000	1,1

8. O limite de tolerância será considerado excedido quando a média aritmética das concentrações ultrapassar os valores fixados no Quadro n.º 1.
9. Para os agentes químicos que tenham "VALOR TETO" assinalado no Quadro n.º 1 (Tabela de Limites de Tolerância) considerar-se-á excedido o limite de tolerância, quando qualquer uma das concentrações obtidas nas amostragens ultrapassar os valores fixados no mesmo quadro.
10. Os limites de tolerância fixados no Quadro n.º 1 são válidos para jornadas de trabalho de até 48 (quarenta e oito) horas por semana, inclusive.

10.1 Para jornadas de trabalho que excedam as 48 (quarenta e oito) horas semanais dever-se-á cumprir o disposto no art. 60 da CLT.

QUADRO Nº 1
TABELA DE LIMITES DE TOLERÂNCIA

AGENTES QUÍMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³ **	
Acetaldeído			78	140	máximo
Acetato de cellosolve		+	78	420	médio
Acetato de éter monoetílico de etileno glicol (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetato de etila			310	1090	mínimo
Acetato de 2-etóxi etila (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetileno			Asfixiante	simples	-
Acetona			780	1870	mínimo
Acetonitrila			30	55	máximo
Ácido acético			8	20	médio
Ácido cianídrico		+	8	9	máximo
Ácido clorídrico	+		4	5,5	máximo
Ácido crômico (névoa)			-	0,04	máximo
Ácido etanoico (vide ácido acético)			-	-	-
Ácido fluorídrico			2,5	1,5	máximo
Ácido fórmico			4	7	médio
Ácido metanoico (vide ácido fórmico)			-	-	-
Acrilato de metila		+	8	27	máximo
Acrilonitrila		+	16	35	máximo
Álcool isoamílico			78	280	mínimo
Álcool n-butílico	+	+	40	115	máximo
Álcool isobutílico			40	115	médio
Álcool sec-butílico (2-butanol)			115	350	médio
Álcool terc-butílico			78	235	médio
Álcool etílico			780	1480	mínimo
Álcool furfurílico		+	4	15,5	médio
Álcool metil amílico (vide metil isobutil carbinol)			-	-	-
Álcool metílico		+	156	200	máximo
Álcool n-propílico		+	156	390	médio
Álcool isopropílico		+	310	765	médio
Aldeído acético (vide acetaldeído)			-	-	-
Aldeído fórmico (vide formaldeído)			-	-	-
Amônia			20	14	médio
Anidro sulfuroso (vide dióxido de enxofre)			-	-	-
Anilina		+	4	15	máximo
Argônio			Asfixiante	simples	-
Arsina (arsenamina)			0,04	0,16	máximo
Benzeno	<i>(Excluído pela Portaria n.º 03, de 10 de março de 1994)</i>				
Brometo de etila			156	695	máximo
Brometo de metila		+	12	47	máximo
Bromo			0,08	0,6	máximo
Bromoetano (vide brometo de etila)			-	-	-
Bromofórmio		+	0,4	4	médio
Bromometano (vide brometo de metila)			-	-	-
1,3 Butadieno			780	1720	médio

n-Butano			470	1090	médio
n-Butano (vide álcool n-butílico)			-	-	-
sec-Butanol (vide álcool sec-butílico)			-	-	-
Butanona (vide metil etil cetona)			-	-	-
1-Butanotiol (vide butil mercaptana)			-	-	-
n-Butilamina	+	+	4	12	máximo
Butil cellosolve		+	39	190	médio
n-Butil mercaptana			0,4	1,2	médio
2-Butóxi etanol (vide butil cellosolve)			-	-	-
Cellosolve (vide 2-etóxi etanol)			-	-	-
Chumbo			-	0,1	máximo
Cianeto de metila (vide acetoneitrila)			-	-	-
Cianeto de vinila (vide acriloneitrila)			-	-	-
Cianogênio			8	16	máximo
Ciclohexano			235	820	médio
Ciclohexanol			40	160	máximo
Ciclohexilamina		+	8	32	máximo
Cloreto de carbonila (vide fosgênio)			-	-	-
Cloreto de etila			780	2030	médio
Cloreto de fenila (vide cloro benzeno)			-	-	-
Cloreto de metila			78	165	máximo
Cloreto de metileno			156	560	máximo
Cloreto de vinila	+		156	398	máximo
Cloreto de vinilideno			8	31	máximo
Cloro			0,8	2,3	máximo
Clorobenzeno			59	275	médio
Clorobromometano			156	820	máximo
Cloroetano (vide cloreto de etila)			-	-	-
Cloroetílico (vide cloreto de vinila)			-	-	-
Clorodifluometano (freon 22)			780	2730	mínimo
Clorofórmio			20	94	máximo
1-Cloro 1-nitropropano			16	78	máximo
Cloroprene		+	20	70	máximo
Cumeno		+	39	190	máximo
Decaborano		+	0,04	0,25	máximo
Demeton		+	0,008	0,08	máximo
Diamina (vide hidrazina)			-	-	-
Diborano			0,08	0,08	máximo
1,2-Dibromoetano		+	16	110	médio
o-Diclorobenzeno			39	235	máximo
Diclorodifluormetano (freon 12)	+		780	3860	mínimo
1,1 Dicloroetano			156	640	médio
1,2 Dicloroetano			39	156	máximo
1,1 Dicloreotileno (vide cloreto de vinilideno)			-	-	-
1,2 Dicloroetileno			155	615	médio
Diclorometano (vide cloreto de metilino)			-	-	-
1,1 Dicloro-1-nitroetano	+		8	47	máximo
1,2 Dicloropropano			59	275	máximo
Diclorotetrafluoreto (freon 114)			780	5460	mínimo
Dietil amina			20	59	médio
Dietil éter (vide éter etílico)			-	-	-
2,4 Diisocianato de tolueno (TDI)	+		0,016	0,11	máximo
Diisopropilamina		+	4	16	máximo
Dimetilacetamida		+	8	28	máximo
Dimetilamina			8	14	médio
Dimetiformamida			8	24	médio
l,l Dimetil hidrazina		+	0,4	0,8	máximo

Dióxido de carbono			3900	7020	mínimo
Dióxido de cloro			0,08	0,25	máximo
Dióxido de enxofre			4	10	máximo
Dióxido de nitrogênio	+		4	7	máximo
Dissulfeto de carbono		+	16	47	máximo
Estibina			0,08	0,4	máximo
Estireno			78	328	médio
Etanol (vide acetaldeído)			—	—	—
Etano			Asfixiante	simples	—
Etanol (vide etílico)			—	—	—
Etanotiol (vide etil mercaptana)			—	—	—
Éter de cloroetilico		+	4	24	máximo
Éter etílico			310	940	médio
Éter monobutílico do etileno glicol (vide butil cellosolve)			—	—	—
Éter monoetilico do etileno glicol (vide cellosolve)			—	—	—
Éter monometílico do etileno glicol (vide metil cellosolve)			—	—	—
Etilamina			8	14	máximo
Etilbenzeno			78	340	médio
Etileno			Asfixiante	simples	—
Etilenoimina		+	0,4	0,8	máximo
Etil mercaptana			0,4	0,8	médio
n-Etil morfolina		+	16	74	médio
2-Etoxietanol		+	78	290	médio
Fenol		+	4	15	máximo
Fluortriclorometano (freon 11)			780	4370	médio
Formaldeído (formol)		+	1,6	2,3	máximo
Fosfina (fosfamina)			0,23	0,3	máximo
Fosgênio			0,08	0,3	máximo
Freon 11 (vide fluortriclorometano)			—	—	—
Freon 12 (vide diclorodifluormetano)			—	—	—
Freon 22 (vide clorodifluormetano)			—	—	—
Freon 113 (vide 1,1,2, triclora-1,2,2-trifluoretano)			—	—	—
Freon 114 (vide dechlorotetrafluoretano)			—	—	—
Gás amoníaco (vide amônia)			—	—	—
Gás carbônico (vide dióxido de carbono)			—	—	—
Gás cianídrico (vide ácido cianídrico)			—	—	—
Gás clorídrico (vide ácido clorídrico)			—	—	—
Gás sulfídrico			8	12	máximo
Hélio			Asfixiante	simples	—
Hidrazina		+	0,08	0,08	máximo
Hidreto de antimônio (vide estibina)			—	—	—
Hidrogênio			Asfixiante	simples	—
Isobutanol (vide álcool isobutílico)			—	—	—
Isopropilamina			4	9,5	médio
Isopropil benzeno (vide cumeno)			—	—	—
Merúrio (todas as formas, exceto orgânicas)			—	0,04	máximo
Metacrilato de metila			78	320	mínimo
Metano			Asfixiante	simples	—
Metanol (vide álcool metílico)			—	—	—
Metilamina			8	9,5	máximo
Metil cellosolve		+	20	60	máximo
Metil ciclohexanol			39	180	médio
Metilclorofórmio			275	1480	médio
Metil demeton		+	—	0,4	máximo

metil etil cetona			155	460	médio
Metil isobutilcarbinol		+	20	78	máximo
Metil mercaptana (metanotiol)			0,4	0,8	médio
2-Metoxi etanol (vide metil cellosolve)			-	-	-
Monometil hidrazina	+	+	0,16	0,27	máximo
Monóxido de carbono			39	43	máximo
Negro de fumo ⁽¹⁾				3,5	máximo
Neônio			Asfixiante	simples	-
Níquel carbonila (níquel tetracarbonila)			0,04	0,28	máximo
Nitrato de n-propila			20	85	máximo
Nitroetano			78	245	médio
Nitrometano			78	195	máximo
1 - Nitropropano			20	70	médio
2 - Nitropropano			20	70	médio
Óxido de etileno			39	70	maximo

(1) (Incluído pela Portaria DNSST n.º 09, de 09 de outubro de 1992)

Óxido nítrico (NO)			20	23	máximo
Óxido nitroso (N ₂ O)			Asfixiante	simples	-
Ozona			0,08	0,16	máximo
Pentaborano			0,004	0,008	máximo
n-Pentano			470	1400	mínimo
Percloroetileno		+	78	525	médio
Piridina			4	12	médio
n-propano			Asfixiante	simples	-
n-Propanol (vide álcool n-propílico)			-	-	-
iso-Propanol (vide álcool isopropílico)			-	-	-
Propanona (vide acetona)			-	-	-
Propileno			Asfixiante	simples	-
Propileno imina		+	1,6	4	máximo
Sulfato de dimetila	+	+	0,08	0,4	máximo
Sulfeto de hidrogênio (vide gás sulfídrico)			-	-	-
Systox (vide demeton)			-	-	-
1,1,2,2,Tetrabromoetano			0,8	11	médio
Tetracloroeto de carbono		+	8	50	máximo
Tetracloroetano		+	4	27	máximo
Tetracloroetileno (vide percloroetileno)			-	-	-
Tetrahidrofurano			156	460	máximo
Tolueno (toluol)		+	78	290	médio
Tolueno-2,4-diisocianato (TDI) (vide 2,4 diisocianato de tolueno)			-	-	-
Tribromometano (vide bromofórmio)			-	-	-
Tricloreto de vinila (vide 1,1,2 tricloroetano)			-	-	-
1,1,1 Tricloroetano (vide metil clorofórmio)			-	-	-
1,1,2 Tricloroetano		+	8	35	médio
Tricloroetileno			78	420	máximo
Triclorometano (vide clorofórmio)			-	-	-
1,2,3 Tricloropropano			40	235	máximo
1,1,2 Tricloro-1,2,2 trifluoreetano (freon 113)			780	5930	médio
Trietilamina			20	78	máximo
Trifluormonobromometano			780	4760	médio
Vinibenzeno (vide estireno)			-	-	-
Xileno (xilol)		+	78	340	médio

* ppm - partes de vapor ou gás por milhão de partes de ar contaminado.

** mg/m³ - miligramas por metro cúbico de ar.

ANEXO D

LIMITE PARA EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO PROCESSO DE CO-PROCESSAMENTO CONFORME LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS

Poluente	CONAMA 499/2020	CONAMA 316/2002	CETESB P4.263/2003 (SP)	COPAM 154/2010 (MG)	SEMA 016/2014 (PR)	CONSEMA 02/2000 (RS)
Particulado	50 mg/Nm ³	70 mg/Nm ³	70 mg/Nm ³	Fontes novas: 50 mg/Nm ³ Fontes existentes: 70 mg/Nm ³ . Para áreas não saturadas em material particulado e localizadas em regiões não urbanizadas, este padrão pode ser no máximo de 180 mg/Nm ³	70 mg/Nm ³	70 mg/Nm ³
NO_x	800 mg/Nm ³	560 mg/Nm ³ medido como NO ₂	800 mg/Nm ³	Fontes novas: 450 mg/Nm ³ Fontes existentes: 730 mg/Nm ³	Variável conforme concentração de nitrogênio da farinha	NA
SO_x	280 mg/Nm ³ corrigido a 11% de O ₂ , exceto quando o enxofre for proveniente e da matéria-prima. Nesses casos, o limite máximo se baseará no valor de SO _x , calculado conforme a norma.	280 mg/Nm ³ medido como SO ₂	350 mg/Nm ³	280 mg/Nm ³ , exceto quando o enxofre for proveniente da matéria-prima. Nesses casos, o limite máximo se baseará no valor de SO _x , calculado conforme a norma.	Para um teor de até 0,2% de SO ₃ na farinha: 400 mg/Nm ³ , expresso como SO ₂ ; Para um teor entre 0,2% e 0,4% de SO ₃ na farinha, cálculo conforme norma; Para um teor acima de 0,4% de SO ₃ na farinha: 1.200 mg/Nm ³ , expresso como SO ₂	NA
CO	NA	100 ppmv	100 ppmv	100 ppmv	100 ppmv	100 ppmv
HF	5 mg/Nm ³	5 mg/Nm ³	NA	5 mg/Nm ³	5 mg/Nm ³	5 mg/Nm ³
HCl	10 mg/Nm ³	80 mg/Nm ³	NA	1,8 kg/h ou 99% de remoção de HCl para resíduos que contenham mais de 0,5% de cloreto	1,8 kg/h ou 99% remoção de HCl para resíduos com mais de 0,5% de Cloro	1,8 kg/h ou 99% de redução

Hg	0,05 mg/Nm ³	NA	0,04 mg/Nm ³	NA	0,05 mg/Nm ³	0,05 mg/Nm ³
Cd	0,10 mg/Nm ³	NA	NA	NA	0,1 mg/Nm ³	0,10 mg/Nm ³
Tl	0,10 mg/Nm ³	NA	NA	NA	0,10 mg/Nm ³	0,10 mg/Nm ³
Pb	0,35 mg/Nm ³	NA	0,275 mg/Nm ³	NA	0,35 mg/Nm ³	0,35 mg/Nm ³
Cd+Tl+Hg (Classe I)	NA	0,28 mg/Nm ³	Cd+Tl=0,05 mg/Nm ³	0,28 mg/Nm ³ para fluxo de massa igual ou maior a 1 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.	NA	NA
As+Co+Ni+Se+Te (Classe II)	1,4 mg/Nm ³	1,4 mg/Nm ³	As+Be+Co+Ni+Se+Te=1,0 mg/Nm ³	1,4 mg/Nm ³ para fluxo de massa igual ou maior a 5 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.	As+Be+Co+Ni+Se+Te=1,4 mg/Nm ³	As+Be+Co+Ni+Se+Te=1,4 mg/Nm ³
Sb+Pb+Cr+CN+F+Cu+Mn+Pt+Pd+Rh+V+Sn (Classe III)	As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Se+Sn+Te+Zn=7,0 mg/Nm ³	7 mg/Nm ³	As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Se+Sn+Te+Zn=5,0 mg/Nm ³	7 mg/Nm ³ para fluxo de massa igual ou maior a 25 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.	As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Se+Sn+Te+Zn=7,0 mg/Nm ³	As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Se+Sn+Te+Zn=7,0 mg/Nm ³
Classe I+Classe II+Classe III	NA	NA	NA	1,4 mg/Nm ³ . O somatório Classe 1 deve ser inferior a 0,28 mg/Nm ³	NA	NA
Classe I+Classe III	NA	NA	NA	7 mg/Nm ³ . O somatório Classe 1 deve ser inferior a 0,28 mg/Nm ³	NA	NA
Classe II+Classe III	NA	NA	NA	7 mg/Nm ³ . O somatório classe 2 deve ser inferior a 1,4 mg/Nm ³	NA	NA
THC	39 mg/Nm ³ , medido como propano	NA	20 ppmv	20 ppmv, medido como propano	20 ppmv	20 ppmv
BTXE	NA	NA	NA	100 mg/Nm ³ , para fluxo de massa maior ou igual a 100 g/h. Para benzeno: 20 mg/Nm ³ para fluxo de massa maior ou igual a 100 g/h.	NA	NA

Dioxinas e Furanos	0,1 ng/m ³	0,5 ng/m ³	0,1 ng/m ³	NA	0,14 ng/m ³	0,5 ng/m ³
---------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	----	------------------------	-----------------------

Fonte: CONAMA 499/2020, CONAMA 316/2022, CETESB, COPAM, SEMA, CONSEMA.

ANEXO E

PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM DE RESÍDUOS EM PILHAS DA NBR 10.007/2004

4.2 Procedimentos de amostragem

Esta subseção estabelece os procedimentos a serem adotados para a coleta de amostras representativas em função do tipo de acondicionamento do resíduo. O técnico de amostragem, antes de efetuar cada amostragem, deve certificar-se do estabelecido no plano de amostragem.

4.2.6 Amostragem em montes ou pilhas de resíduos 4.2.6.1 Os pontos de amostragem devem ser determinados conforme recomendado na tabela A.4.

4.2.6.2 Deve-se coletar uma amostra composta utilizando-se o amostrador de montes ou pilhas recomendado na tabela A.3.

Tabela A.3 – Amostradores¹⁾ recomendados para cada tipo de resíduo

Tipo de resíduo	Amostrador recomendado	Limitações/recomendações
Líquidos ou lodos em tambores, caminhões-tanques, barris ou recipientes similares	Amostrador de resíduo líquido: - polietileno - vidro	Não usar para profundidades 1,5 m Não usar resíduos incompatíveis com o material, tais como solventes Não usar vidro para resíduos contendo ácido fluorídrico ou soluções alcalinas concentradas
Líquidos ou lodos em tanques abertos ou lagoas	Caneca amostradora ou balde de inox	Afundar e retirar o amostrador suavemente para evitar que o tubo de duralumínio se amasse Não realizar amostragem em profundidade
	Garrafa amostradora pesada Garrafa amostradora de profundidades “Van Dorn”	A garrafa pode ser de uso problemático em líquidos muito viscosos
Sólidos em pó ou granulados em sacos, tambores, barris ou recipientes similares, montes ou pilhas de resíduos	Amostrador de grãos	Utilizar para sólidos com partículas de diâmetros 0,6 cm
	Amostrador “ <i>trier</i> ”	Não é recomendado para materiais muito secos

Resíduos secos em tanques rasos e sobre o solo	Pá	Não usar para amostras a mais de 8 cm de profundidade
Resíduos em tanques rasos ou no solo, a mais de 20 cm de profundidade	Trado	-
Resíduos em tanques de armazenagem	Garrafa amostradora pesada Garrafa amostradora de profundidades “ <i>Van Dorn</i> ”	Pode ser de uso problemático em líquidos muito viscosos
1) Outros amostradores podem ser utilizados, desde que atendam às condições mínimas necessárias para garantir a integridade da amostra.		

Tabela A.4 – Pontos de amostragem recomendados

Tipo de recipiente	Ponto de amostragem
Tambor ou contêiner com abertura na parte superior	Retirar a amostra através da abertura
Barris ou recipientes similares	Retirar as amostras pela parte superior dos barris, barrilhetes de fibras e similares Coletar as amostras de toda a seção vertical, em pontos opostos e em diagonal, passando pelo centro do recipiente (ver figura A.1)
Sacos e similares	Retirar as amostras pela parte superior, evitando fazer furos adicionais por onde o material possa vaziar Coletar as amostras de toda a seção vertical, em pontos opostos e em diagonal, passando pelo centro do recipiente (ver figura A.1)
Caminhões-tanque e similares	Retirar as amostras através da abertura superior do tanque. Se for necessário, retirar a amostra de sedimentos através da válvula de purga Se o tanque for compartimentado, retirar as amostras de todos os compartimentos
Lagoas e tanques abertos	Dividir a área superficial em uma rede quadriculada imaginária. De cada quadrícula, retirar as amostras de maneira que as variações do perfil sejam representadas
Montes ou pilhas de resíduos ^{1, 2)}	Retirar as amostras de pelo menos três seções (do topo, do meio e da base). Em cada seção, devem ser coletadas quatro alíquotas, equidistantes. O amostrador deve penetrar obliquamente nos montes ou pilhas (ver figura A.1)

Tanque e/ou contêiner de armazenagem	Retirar a amostra através de abertura própria. Para tanques e/ou contêiner com profundidades superiores a 1,5 m, retirar as amostras de maneira que as variações do perfil sejam representadas
Leitos de secagem, lagoas secas ou solo contaminado	Dividir a superfície em uma rede quadriculada imaginária. De cada quadricula retirar uma amostra representativa da área contaminada
<p>¹⁾ Sempre que possível, proceder ao espalhamento do monte ou pilha, efetuando a coleta de amostra por quarteamento.</p> <p>²⁾ Deve-se proceder ao desmonte da pilha ou do monte, caso o amostrador não esteja adequado às condições e dimensões para a coleta de amostra.</p> <p>NOTA O número de quadriculas é determinado pelo número desejado de amostras a serem coletadas, as quais, quando combinadas, dão uma amostra representativa dos resíduos.</p>	

4.3 Amostragem de resíduos sólidos heterogêneos

4.3.1 Para resíduos heterogêneos de fácil amostragem, deve-se preparar uma amostra respeitando as proporcionalidades dos diferentes resíduos, de forma a se obter uma única amostra composta representativa.

4.3.2 Para resíduos heterogêneos cuja representatividade não possa ser definida com uma única amostra, para a escolha do método e número de amostras, os Órgãos Estaduais ou Federais de controle da poluição e preservação ambiental, deverão ser consultados.

ANEXO F



RELATÓRIO DE ENSAIOS

Nº.
44612/2020.0

Emissão: 29/12/2020

Página 1 de 7

Ciente: CTR - COPRO	
Endereço: Atlântica, Km 9, S/N, Interl. Estrada do Coco/Pólo, , CAMACARI/BA - 42.810-000.	
Solicitante: Wilker Santos	CS/CR: 12320
Referência: Co-Processamento	Proposta:

DADOS DA AMOSTRA

Matriz: Resíduo Sólido	Amostra: Triturado		
Código: 922723	Coleta: 01/12/2020 10:20	Recebimento: 03/12/2020	Previsão: 22/12/2020

LABORATÓRIO DE FÍSICO-QUÍMICA

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parâmetros	Referência	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade	Análise
Ponto de Fulgor	Lab Externo	---	---	C°	14/12/2020

Observações dos Métodos

Lab Externo

01- Ensaios realizados por Laboratório subcontratado pelo Laboratório da Cetrel.

LABORATÓRIO DE FÍSICO-QUÍMICA - INC

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parâmetros	Referência	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade	Análise
Cinzas	LAB-01-28	0,5	7,7	%	10/12/2020
Cloro Total	SMEWW, 23ª Ed, Part 4500-Cl-, B.	0,1	0,8	%	17/12/2020
PCS	ABNT-NBR 11956	200	6735	Kcal/Kg	17/12/2020
Umidade	LAB-01-28	0,5	< 0,5	%	10/12/2020

Observações dos Métodos

PCS

01- PCS - Poder Calorífico Superior.

Cloro

01- Feita abertura em bomba Parr.

LABORATÓRIO DE CROMATOGRAFIA

RESULTADOS ANALÍTICOS

Voláteis - LAB-01-63 - Análise: 18/12/2020

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Cloroetano	75-00-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Clorometano	74-87-3	25	< 25	µg/Kg
Cloreto de vinila	75-01-4	1	< 1	µg/Kg
Acrlonitrila	107-13-1	75	< 75	µg/Kg
Sgt-Dibromofluorometano	1868-53-7	---	79	% recup
Sgt-Tolueno-D8	2037-26-5	---	109	% recup
Benzeno	71-43-2	7,5	< 7,5	µg/Kg

Voláteis - LAB-01-63 - Análise: 18/12/2020

Parâmetros	CAS⁽²⁾	LDM⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Etilbenzeno	100-41-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
p-m-Xilenos	001-50-1	15	< 15	µg/Kg
o-Xileno	95-47-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
Hexaclorobutadieno	87-68-3	25	< 25	µg/Kg
Metiletilcetona	78-93-3	150	< 150	µg/Kg
Tetracloroeto de carbono	56-23-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
Clorobenzeno	108-90-7	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1-Dicloroetano	75-34-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dicloroetano	107-06-2	1	< 1	µg/Kg
1,1-Dicloroetano	75-35-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dicloroetano(trans)	156-60-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dicloroetano	540-59-0	7,5	< 7,5	µg/Kg
Cloreto de metileno	75-09-2	30	< 30	µg/Kg
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
Tetracloroetano	127-18-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	7,5	2201,2	µg/Kg
Tricloroetano	79-01-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
Bromofórmio	75-25-2	7,5	< 7,5	µg/Kg
Diclorobromometano	75-27-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
Clorofórmio	67-66-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Dibromoclorometano	124-48-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2,4-Trimetilbenzeno	95-63-6	25	< 25	µg/Kg
1,3,5-Trimetilbenzeno	108-67-8	25	< 25	µg/Kg
MTBE	1634-04-4	30	< 30	µg/Kg
Cumeno	98-82-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dicloroetano(cis)	156-59-2	7,5	< 7,5	µg/Kg
Hexacloroetano	67-72-1	25	< 25	µg/Kg
Tolueno	108-88-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Metil isobutil cetona	108-10-1	150	< 150	µg/Kg
TBA	75-65-0	75	< 75	µg/Kg
Hexano	110-54-3	30	< 30	µg/Kg
Estireno	100-42-5	7,5	< 7,5	µg/Kg

Voláteis - LAB-01-63 - Análise: 18/12/2020

Parâmetros	CAS⁽²⁾	LDM⁽¹⁾	Resultado	Unidade
PMHeptano	13475-82-6	25	< 25	µg/Kg
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
4,7-Metano-1H-indeno	77-73-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
Diclorodifluorometano	75-71-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
Bromometano	74-83-9	25	< 25	µg/Kg
Triclorofluorometano	75-69-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
Ciclohexano	110-82-7	30	< 30	µg/Kg
1,2-Dicloropropano	78-87-5	25	< 25	µg/Kg
1,3-Dicloropropeno-cis	10061-01-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,3-Dicloropropeno-trans	10061-02-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dibromoetano	106-93-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
Trihalometanos Total	001-30-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
Isooctano	540-84-1	25	< 25	µg/Kg
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1,1,2-Tetracloroetano	630-20-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1-Dicloropropeno	563-58-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	25	< 25	µg/Kg
1,2-Dibromo-3-cloropropano	96-12-8	25	< 25	µg/Kg
1,3-Dicloropropano	142-28-9	7,5	< 7,5	µg/Kg
Bromobenzeno	108-86-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
Dibromometano	74-95-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Terc-butilbenzeno	98-06-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
p-Isopropiltolueno	99-87-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
2-Clorotolueno	95-49-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
n-Butilbenzeno	104-51-8	25	< 25	µg/Kg
n-Propilbenzeno	103-65-1	25	< 25	µg/Kg
4-Clorotolueno	106-43-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
sec-Butilbenzeno	135-98-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
2-Cloroetil vinil eter	110-75-8	45	< 45	µg/Kg
Dicloroeteno (1,1 + 1,2 Cis + 1,2 Trans)	001-14-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
2,2-Dicloropropano	594-20-7	30	< 30	µg/Kg
Acetato de Vinila	108-05-4	40	< 40	µg/Kg
Xilenos	1330-20-7	15	< 15	µg/Kg
Triclorobenzenos	001-90-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Bromoclorometano	74-97-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	001-49-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
1-Bromo-2-Cloroetano	107-04-0	7,5	< 7,5	µg/Kg

Semivoláteis - EPA 8270D - Análise: 22/12/2020

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Fenol	108-95-2	2	< 2	mg/Kg
Dimetilformamida	68-12-2	15	< 15	mg/Kg
Nitrobenzeno	98-95-3	0,1	< 0,1	mg/Kg
2,4-Dimetilfenol	105-67-9	2	< 2	mg/Kg
2,6-DNT	606-20-2	4	< 4	mg/Kg
2,4-DNT	121-14-2	0,2	< 0,2	mg/Kg
Ftalato de 2(EH)	117-81-7	1	748	mg/Kg
Pentaclorofenol	87-86-5	2	< 2	mg/Kg
Ftalato de butila	84-74-2	0,5	< 0,5	mg/Kg
2,6-Dimetilnaftaleno	581-42-0	0,05	< 0,05	mg/Kg
3,4-DCNB	99-54-7	1	< 1	mg/Kg
P-dietilbenzeno	105-05-5	0,1	< 0,1	mg/Kg
Propanil	709-98-8	1	< 1	mg/Kg
1,4-Dimetilnaftaleno	571-58-4	0,05	< 0,05	mg/Kg
2-Cloroanilina	95-51-2	1	< 1	mg/Kg
(3+4)-Cloroanilina	001-10-4	1	< 1	mg/Kg
2,3-Dicloroanilina	608-27-5	1	< 1	mg/Kg
2,5-Dicloroanilina	95-82-9	1	< 1	mg/Kg
3,4-Dicloroanilina	95-76-1	2	< 2	mg/Kg
2-Nitrotolueno	88-72-2	0,1	< 0,1	mg/Kg
3-Nitrotolueno	99-08-1	0,5	< 0,5	mg/Kg
4-Nitrotolueno	99-99-0	0,5	< 0,5	mg/Kg
Hexaclorobenzeno	118-74-1	0,05	< 0,05	mg/Kg
Benzoato de Metila	93-58-3	1	< 1	mg/Kg
2-Metilnaftaleno	91-57-6	0,05	< 0,05	mg/Kg
Acenafteno	83-32-9	0,05	< 0,05	mg/Kg
Acenaftileno	208-96-8	0,05	< 0,05	mg/Kg
Antraceno	120-12-7	0,05	0,21	mg/Kg
Benzo(a)antraceno	56-55-3	0,05	1,4	mg/Kg
Benzo(a)pireno	50-32-8	0,05	1,0	mg/Kg
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	0,05	1,5	mg/Kg
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	0,05	0,18	mg/Kg
Benzo(b+k)fluoranteno	001-16-1	0,05	1,7	mg/Kg
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	0,05	1,0	mg/Kg
Criseno	218-01-9	0,05	1,2	mg/Kg
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	0,05	0,15	mg/Kg

Semivoláteis - EPA 8270D - Análise: 22/12/2020

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Fluoranteno	206-44-0	0,05	2,3	mg/Kg
Fluoreno	86-73-7	0,05	< 0,05	mg/Kg
Indeno(1,2,3-cd)pireno	193-39-5	0,05	1,4	mg/Kg
Naftaleno	91-20-3	0,5	< 0,5	mg/Kg
Fenantreno	85-01-8	0,05	0,80	mg/Kg
Pireno	129-00-0	0,05	2,0	mg/Kg
Sulfolane	126-33-0	2	< 2	mg/Kg
Ethofumesato	26225-79-6	1	< 1	mg/Kg
4-Isopropilanilina	99-88-7	2	< 2	mg/Kg
p-Nitrocumeno	1817-47-6	1	< 1	mg/Kg
2,4-DNCB + 3,4-DNCB	001-97-1	1,2	< 1,2	mg/Kg
1,4-Dioxano	123-91-1	0,5	< 0,5	mg/Kg
2-Metilfenol (o-cresol)	95-48-7	2	< 2	mg/Kg
(m+p)-Cresol	001-57-2	2	< 2	mg/Kg
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	2	< 2	mg/Kg
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	2	< 2	mg/Kg
2,4-Diclorofenol	120-83-2	0,2	< 0,2	mg/Kg
2-Clorofenol	95-57-8	0,1	< 0,1	mg/Kg
p-Toluato de Metila	99-75-2	1	< 1	mg/Kg
Dimetil-ortoftalato	131-11-3	1	< 1	mg/Kg
Dimetil-isoftalato	1459-93-4	1	< 1	mg/Kg
Dimetil-tereftalato	120-61-6	1	< 1	mg/Kg
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	0,1	< 0,1	mg/Kg
3,4-Diclorofenol	95-77-2	1	< 1	mg/Kg
Cresóis	1319-77-3	2	< 2	mg/Kg
2,6-Diclorofenol	87-65-0	2	< 2	mg/Kg
2-Nitrofenol	88-75-5	2	< 2	mg/Kg
4-Cloro-3-metilfenol	59-50-7	2	< 2	mg/Kg
Butil benzil ftalato	85-68-7	2,5	< 2,5	mg/Kg
Di-n-octilftalato	117-84-0	1	< 1	mg/Kg
Dietilftalato	84-66-2	1	< 1	mg/Kg
2,3,5-Triclorofenol	933-78-8	2	< 2	mg/Kg
2,3,4-Triclorofenol	15950-66-0	2	< 2	mg/Kg
2,3,5,6-Tetraclorofenol	935-95-5	2	< 2	mg/Kg
Hexaclorociclopentadieno	77-47-4	0,1	< 0,1	mg/Kg
2-Cloronaftaleno	91-58-7	0,1	< 0,1	mg/Kg
1,2,3,5 + 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	001-80-3	0,2	< 0,2	mg/Kg

Semivoláteis - EPA 8270D - Análise: 22/12/2020

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
2,3,4,5 + 2,3,4,6-Tetraclorofenol	001-86-3	2	< 2	mg/Kg

Observações dos Métodos

Voláteis	01- O LAB-01-63 refere-se a Norma EPA-8260B modificada para análise com Head-Space. 02- Sgt = surrogate. Composto adicionado à amostra para avaliação do processo analítico. 03- Faixa de recuperação aceitável para surrogate de voláteis - 50-150%. 04- Resultado expresso em base seca.
Semivoláteis	01- Sgt = surrogate. Composto adicionado à amostra para avaliação do processo analítico. 02- Faixa de recuperação aceitável para surrogate de semivoláteis - 40 - 150%. 03- Resultado expresso em base seca.

Condições do Recebimento

Amostras recebidas em caixa térmica?	NA
Caixa térmica lacrada?	NA
Amostras enviadas com Cadeia de Custódia?	Sim
Temperatura da amostra no recebimento oC:	25
Amostras recebidas com integridade?	Sim
Amostras com identificação completa e legível?	Sim
Amostras identificadas de acordo com a Cadeia de Custódia?	Sim
Amostras coletadas em quantidade suficiente?	Sim
Amostras coletadas em recipientes apropriados?	Sim
Amostras preservadas corretamente?	Sim
Amostras dentro do prazo de validade?	Sim
Amostras coletadas pelo cliente?	Sim
Responsável pela coleta:	Cetrel

Observações da Amostra

---	1- O método utilizado no LAB-INC (Determinação do ponto de Fulgor em vaso aberto de Cleveland) não é aplicável para amostras sólidas. No entanto, em acordo com o Cliente, o ensaio foi realizado para atendimento a uma demanda do CTR. Entretanto reforçamos que os resultados podem estar distantes da realidade e devem ser utilizadas com as devidas ponderações; 2- Para a amostra em questão e obedecidas as condições do método citado, a amostra não apresentou inflamabilidade após aquecida até a temperatura de 81,1° C.
Semivoláteis	01- Data de extração: 07/12/2020. 02- O resultado do composto Ftalato de 2(EH), foi emitido fora do range de calibração da curva analítica, conferindo ao mesmo um caráter semiquantitativo. 03- Os Limites de Quantificação (LQ) dos compostos deverão ser multiplicados por 10 devido característica da amostra.

Observações Gerais

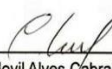
Relatório	O(s) resultado(s) expresso(s) neste relatório refere-se apenas à amostra ensaiada. Este relatório só deverá ser reproduzido na íntegra. O laboratório não se responsabiliza pela produção parcial deste relatório. Os dados brutos dessa amostra estão disponíveis para consulta até 60 dias após a data da emissão desse Relatório de Ensaio. Esse Relatório de Ensaio foi aprovado e assinado eletronicamente.
-----------	---

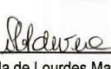
Nota:

⁽¹⁾ - Limite de Detecção do Método.

⁽²⁾ - Número de registro, referência Chemical Abstract Service. Os iniciados em 001 correspondem a um código interno do laboratório.


Valdo de Brito Pontes
Químico - Laboratório
CRQ: 07100451


Clodovil Alves Cabral Neto
Químico - Laboratório
CRQ: 07100490


Najla de Lourdes Mattos Oliveira
Químico - Laboratório
CRQ: 07100123



RELATÓRIO DE ENSAIOS

Nº. 1161/2021.0

Emissão: 18/02/2021

Página 1 de 8

Cliente: CTR - COPRO
Endereço: Atlântica, Km 9, S/N, Interl. Estrada do Coco/Pólo, , CAMACARI/BA - 42.810-000.
Solicitante: Wilker Santos **CS/CR:** 12320
Referência: Co-Processamento **Proposta:**

DADOS DA AMOSTRA

Matriz: Resíduo Sólido **Amostra:** Borra Oleosa e peneirada
Código: 928751 **Coleta:** 04/01/2021 09:10 **Recebimento:** 11/01/2021 **Previsão:** 01/02/2021

LABORATÓRIO DE FÍSICO-QUÍMICA

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parâmetros	Referência	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade	Análise
Ponto de Fulgor	Lab Externo	---	---	°C	12/01/2021

Observações dos Métodos

Lab Externo 01- Ensaios realizados por Laboratório subcontratado pelo Laboratório da Cetrel.

LABORATÓRIO DE FÍSICO-QUÍMICA - INC

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parâmetros	Referência	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade	Análise
Cinzas	LAB-01-28	0,5	34	%	18/01/2021
Cloro Total	SMEWW, 23ª Ed, Part 4500-Cl-, B.	0,1	0,5	%	22/01/2021
PCS	ABNT-NBR 11956	200	2231	Kcal/Kg	22/01/2021
Umidade	LAB-01-28	0,5	23	%	18/01/2021

Observações dos Métodos

PCS 01- PCS - Poder Calorífico Superior.
 Cloro 01- Feita abertura em bomba Parr.

LABORATÓRIO DE CROMATOGRAFIA

RESULTADOS ANALÍTICOS

Voláteis - LAB-01-63 - Análise: 14/01/2021

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Cloroetano	75-00-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Clorometano	74-87-3	25	< 25	µg/Kg
Cloreto de vinila	75-01-4	1	< 1	µg/Kg
Acrilonitrila	107-13-1	75	< 75	µg/Kg
Sgt-Dibromofluorometano	1868-53-7	---	104	% recup
Sgt-Tolueno-D8	2037-26-5	---	106	% recup
Benzeno	71-43-2	7,5	< 7,5	µg/Kg

Voláteis - LAB-01-63 - Análise: 14/01/2021

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Etilbenzeno	100-41-4	7,5	14947,9	µg/Kg
p-m-Xilenos	001-50-1	15	20835	µg/Kg
o-Xileno	95-47-6	7,5	9472,0	µg/Kg
Hexaclorobutadieno	87-68-3	25	< 25	µg/Kg
Metiletilcetona	78-93-3	150	< 150	µg/Kg
Tetracloroeto de carbono	56-23-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
Clorobenzeno	108-90-7	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1-Dicloroetano	75-34-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dicloroetano	107-06-2	1	< 1	µg/Kg
1,1-Dicloroetano	75-35-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dicloroetano(trans)	156-60-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dicloroetano	540-59-0	7,5	< 7,5	µg/Kg
Cloreto de metileno	75-09-2	30	< 30	µg/Kg
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
Tetracloroetano	127-18-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
Tricloroetano	79-01-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
Bromofórmio	75-25-2	7,5	< 7,5	µg/Kg
Diclorobromometano	75-27-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
Clorofórmio	67-66-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Dibromoclorometano	124-48-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2,4-Trimetilbenzeno	95-63-6	25	31426	µg/Kg
1,3,5-Trimetilbenzeno	108-67-8	25	7141	µg/Kg
MTBE	1634-04-4	30	< 30	µg/Kg
Cumeno	98-82-8	7,5	1098,7	µg/Kg
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dicloroetano(cis)	156-59-2	7,5	< 7,5	µg/Kg
Hexacloroetano	67-72-1	25	< 25	µg/Kg
Tolueno	108-88-3	7,5	2627,9	µg/Kg
Metil isobutil cetona	108-10-1	150	< 150	µg/Kg
TBA	75-65-0	75	< 75	µg/Kg
Hexano	110-54-3	30	817	µg/Kg
Estireno	100-42-5	7,5	3699,2	µg/Kg

Voláteis - LAB-01-63 - Análise: 14/01/2021

Parâmetros	CAS⁽²⁾	LDM⁽¹⁾	Resultado	Unidade
PMHeptano	13475-82-6	25	< 25	µg/Kg
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
4,7-Metano-1H-indeno	77-73-6	7,5	29953,3	µg/Kg
Diclorodifluorometano	75-71-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
Bromometano	74-83-9	25	< 25	µg/Kg
Triclorofluorometano	75-69-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
Ciclohexano	110-82-7	30	< 30	µg/Kg
1,2-Dicloropropano	78-87-5	25	< 25	µg/Kg
1,3-Dicloropropeno-cis	10061-01-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,3-Dicloropropeno-trans	10061-02-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2-Dibromoetano	106-93-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
Trihalometanos Total	001-30-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
Isooctano	540-84-1	25	< 25	µg/Kg
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1,1,2-Tetracloroetano	630-20-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,1-Dicloropropeno	563-58-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	25	< 25	µg/Kg
1,2-Dibromo-3-cloropropano	96-12-8	25	< 25	µg/Kg
1,3-Dicloropropano	142-28-9	7,5	< 7,5	µg/Kg
Bromobenzeno	108-86-1	7,5	< 7,5	µg/Kg
Dibromometano	74-95-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Terc-butilbenzeno	98-06-6	7,5	< 7,5	µg/Kg
p-Isopropiltolueno	99-87-6	7,5	1252,1	µg/Kg
2-Clorotolueno	95-49-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
n-Butilbenzeno	104-51-8	25	< 25	µg/Kg
n-Propilbenzeno	103-65-1	25	3005	µg/Kg
4-Clorotolueno	106-43-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
sec-Butilbenzeno	135-98-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
2-Cloroetil vinil eter	110-75-8	45	< 45	µg/Kg
Dicloroetano (1,1 + 1,2 Cis + 1,2 Trans)	001-14-8	7,5	< 7,5	µg/Kg
2,2-Dicloropropano	594-20-7	30	< 30	µg/Kg
Acetato de Vinila	108-05-4	40	< 40	µg/Kg
Xilenos	1330-20-7	15	30307	µg/Kg
Triclorobenzenos	001-90-3	7,5	< 7,5	µg/Kg
Bromoclorometano	74-97-5	7,5	< 7,5	µg/Kg
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	001-49-4	7,5	< 7,5	µg/Kg
1-Bromo-2-Cloroetano	107-04-0	7,5	< 7,5	µg/Kg

Semivoláteis - EPA 8270D - Análise: 26/01/2021

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Fenol	108-95-2	2	7,5	mg/Kg
Dimetilformamida	68-12-2	15	< 15	mg/Kg
Nitrobenzeno	98-95-3	0,1	< 0,1	mg/Kg
2,4-Dimetilfenol	105-67-9	2	< 2	mg/Kg
2,6-DNT	606-20-2	4	< 4	mg/Kg
2,4-DNT	121-14-2	0,2	5,0	mg/Kg
Ftalato de 2(EH)	117-81-7	1	< 1	mg/Kg
Pentaclorofenol	87-86-5	2	< 2	mg/Kg
Ftalato de butila	84-74-2	0,5	< 0,5	mg/Kg
2,6-Dimetilnaftaleno	581-42-0	0,05	10	mg/Kg
3,4-DCNB	99-54-7	1	< 1	mg/Kg
P-dietilbenzeno	105-05-5	0,1	17	mg/Kg
Propanil	709-98-8	1	< 1	mg/Kg
1,4-Dimetilnaftaleno	571-58-4	0,05	9,6	mg/Kg
2-Cloroanilina	95-51-2	1	< 1	mg/Kg
(3+4)-Cloroanilina	001-10-4	1	< 1	mg/Kg
2,3-Dicloroanilina	608-27-5	1	< 1	mg/Kg
2,5-Dicloroanilina	95-82-9	1	< 1	mg/Kg
3,4-Dicloroanilina	95-76-1	2	< 2	mg/Kg
2-Nitrotolueno	88-72-2	0,1	< 0,1	mg/Kg
3-Nitrotolueno	99-08-1	0,5	< 0,5	mg/Kg
4-Nitrotolueno	99-99-0	0,5	< 0,5	mg/Kg
Hexaclorobenzeno	118-74-1	0,05	< 0,05	mg/Kg
Benzoato de Metila	93-58-3	1	< 1	mg/Kg
2-Metilnaftaleno	91-57-6	0,05	122	mg/Kg
Acenafteno	83-32-9	0,05	3,7	mg/Kg
Acenaftileno	208-96-8	0,05	1,1	mg/Kg
Antraceno	120-12-7	0,05	3,6	mg/Kg
Benzo(a)antraceno	56-55-3	0,05	13	mg/Kg
Benzo(a)pireno	50-32-8	0,05	18	mg/Kg
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	0,05	30	mg/Kg
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	0,05	5,4	mg/Kg
Benzo(b+k)fluoranteno	001-16-1	0,05	35	mg/Kg
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	0,05	9,6	mg/Kg
Criseno	218-01-9	0,05	13	mg/Kg
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	0,05	3,2	mg/Kg

Semivoláteis - EPA 8270D - Análise: 26/01/2021

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Fluoranteno	206-44-0	0,05	27	mg/Kg
Fluoreno	86-73-7	0,05	7,2	mg/Kg
Indeno(1,2,3-cd)pireno	193-39-5	0,05	15	mg/Kg
Naftaleno	91-20-3	0,5	149	mg/Kg
Fenantreno	85-01-8	0,05	52	mg/Kg
Pireno	129-00-0	0,05	10	mg/Kg
Sulfolane	126-33-0	2	< 2	mg/Kg
Ethofumesato	26225-79-6	1	< 1	mg/Kg
4-Isopropilanilina	99-88-7	2	< 2	mg/Kg
p-Nitrocumeno	1817-47-6	1	< 1	mg/Kg
2,4-DNCB + 3,4-DNCB	001-97-1	1,2	< 1,2	mg/Kg
1,4-Dioxano	123-91-1	0,5	< 0,5	mg/Kg
2-Metilfenol (o-cresol)	95-48-7	2	< 2	mg/Kg
(m+p)-Cresol	001-57-2	2	< 2	mg/Kg
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	2	< 2	mg/Kg
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	2	< 2	mg/Kg
2,4-Diclorofenol	120-83-2	0,2	< 0,2	mg/Kg
2-Clorofenol	95-57-8	0,1	< 0,1	mg/Kg
p-Toluato de Metila	99-75-2	1	< 1	mg/Kg
Dimetil-ortoftalato	131-11-3	1	< 1	mg/Kg
Dimetil-isoftalato	1459-93-4	1	< 1	mg/Kg
Dimetil-tereftalato	120-61-6	1	< 1	mg/Kg
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	0,1	< 0,1	mg/Kg
3,4-Diclorofenol	95-77-2	1	< 1	mg/Kg
Cresóis	1319-77-3	2	< 2	mg/Kg
2,6-Diclorofenol	87-65-0	2	< 2	mg/Kg
2-Nitrofenol	88-75-5	2	< 2	mg/Kg
4-Cloro-3-metilfenol	59-50-7	2	< 2	mg/Kg
Butil benzil ftalato	85-68-7	2,5	< 2,5	mg/Kg
Di-n-octilftalato	117-84-0	1	< 1	mg/Kg
Dietilftalato	84-66-2	1	< 1	mg/Kg
2,3,5-Triclorofenol	933-78-8	2	< 2	mg/Kg
2,3,4-Triclorofenol	15950-66-0	2	< 2	mg/Kg
2,3,5,6-Tetraclorofenol	935-95-5	2	< 2	mg/Kg
Hexaclorociclopentadieno	77-47-4	0,1	< 0,1	mg/Kg
2-Cloronaftaleno	91-58-7	0,1	< 0,1	mg/Kg
1,2,3,5 + 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	001-80-3	0,2	< 0,2	mg/Kg

Semivoláteis - EPA 8270D - Análise: 26/01/2021

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
2,3,4,5 + 2,3,4,6-Tetraclorofenol	001-86-3	2	< 2	mg/Kg

Observações dos Métodos

Voláteis	01- O LAB-01-63 refere-se a Norma EPA-8260B modificada para análise com Head-Space. 02- Sgt = surrogate. Composto adicionado à amostra para avaliação do processo analítico. 03- Faixa de recuperação aceitável para surrogate de voláteis - 50-150%. 04- Resultado expresso em base seca.
Semivoláteis	01- Sgt = surrogate. Composto adicionado à amostra para avaliação do processo analítico. 02- Faixa de recuperação aceitável para surrogate de semivoláteis - 40 - 150%.
	03- Resultado expresso em base seca.

LABORATÓRIO DE ÓTICA**RESULTADOS ANALÍTICOS****VF AAS - EPA 7471A - Análise: 04/02/2021**

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Mercúrio Total	7439-97-6	0,1	8,2	mg/kg

Metal ICP - EPA 3050 - Análise: 10/02/2021

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Prata Total	7440-22-4	2	< 2	mg/Kg
Alumínio Total	7429-90-5	2	5346	mg/Kg
Bário Total	7440-39-3	1	337	mg/Kg
Berílio Total	7440-41-7	1	< 1	mg/Kg
Cálcio Total	7440-70-2	5	97840	mg/Kg
Cádmio Total	7440-43-9	1	< 1	mg/Kg
Cobalto Total	7440-48-4	2	810	mg/Kg
Cromo Total	7440-47-3	2	70	mg/Kg
Cobre Total	7440-50-8	1	333	mg/Kg
Ferro Total	7439-89-6	2	15527	mg/Kg
Potássio Total	7440-09-7	5	2140	mg/Kg
Magnésio Total	7439-95-4	2	1245	mg/Kg
Manganês Total	7439-96-5	2	852	mg/Kg
Molibdênio Total	7439-98-7	5	< 5	mg/Kg
Sódio Total	7440-23-5	8	5118	mg/Kg
Níquel Total	7440-02-0	5	111	mg/Kg
Chumbo Total	7439-92-1	10	36	mg/Kg
Estanho Total	7440-31-5	10	< 10	mg/Kg
Estrôncio Total	7440-24-6	5	307	mg/Kg
Titânio Total	7440-32-6	2	285	mg/Kg
Tálio Total	7440-28-0	10	< 10	mg/Kg
Vanádio Total	7440-62-2	10	15	mg/Kg

Metal ICP - EPA 3050 - Análise: 10/02/2021

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Zinco Total	7440-66-6	1	1376	mg/Kg
Arsênio Total	7440-38-2	10	< 10	mg/Kg
Antimônio Total	7440-36-0	10	< 10	mg/Kg
Selênio Total	7782-49-2	10	< 10	mg/Kg
Telúrio Total	13494-80-9	10	< 10	mg/Kg
Óxido de Cálcio (CaO)	1305-78-8	10	136878	mg/Kg
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	1344-28-1	10	10100	mg/Kg
Óxido de Magnésio (MgO)	1309-48-4	5	2065	mg/Kg
Óxido de Ferro (FeO)	1345-25-1	25	19976	mg/Kg

Observações da Amostra


	01- Conforme informado, ratificamos que o procedimento/equipamento para determinação dos pontos de Fulgor e Combustão utilizado tem como objetivo: "Determinar os pontos de fulgor e combustão de amostras líquidas com valor acima de 79 °C e abaixo de 400°C, utilizando vaso aberto de Cleveland, exceto para óleos combustíveis."
	Desta forma, a metodologia/equipamento que possuímos não é aplicável para: Análise de amostras sólidas; Determinar se a amostra é ou não inflamável, pois o ensaio começa a 79 °C;
Lab Externo	(Líquidos inflamáveis: são líquidos que possuem ponto de fulgor = 60°C (sessenta graus Celsius), conforme NR 16); (Líquidos combustíveis: são líquidos com ponto de fulgor > 60°C (sessenta graus Celsius) e = 93°C (noventa e três graus Celsius), conforme NR 16). Todavia, a pedido do cliente, a amostra analisada sob as condições do método citado, não apresentou inflamabilidade após aquecida até a temperatura de 90°C.
Voláteis	01- Os Limites de Quantificação (LQ) dos compostos deverão ser multiplicados por 750 devido característica da amostra.
Semivoláteis	01- Data de Extração: 13/01/2021.

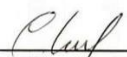
Observações Gerais

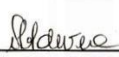
	O(s) resultado(s) expresso(s) neste relatório refere-se apenas à amostra ensaiada. Este relatório só deverá ser reproduzido na íntegra. O laboratório não se responsabiliza pela produção parcial deste relatório. Os dados brutos dessa amostra estão disponíveis para consulta até 60 dias após a data da emissão desse Relatório de Ensaio. Esse Relatório de Ensaio foi aprovado e assinado eletronicamente.
Relatório	

Nota:

(¹) – Limite de Detecção do Método.
(²) – Número de registro, referência Chemical Abstract Service. Os iniciados em 001 correspondem a um código interno


Valdo de Brito Pontes
Químico - Laboratório
CRQ: 07100451


Clodovil Alves Cabral Neto
Químico - Laboratório
CRQ: 07100490


Najla de Lourdes Mattos Oliveira
Químico - Laboratório
CRQ: 07100123



Cliente: CTR - COPRO
Endereço: Atlântica, Km 9, S/N, Interl. Estrada do Coco/Pólo, , CAMACARI/BA - 42.810-000.
Solicitante: Wilker Santos
Referência: Co-Processamento

CS/CR: 12320
Proposta:

DADOS DA AMOSTRA

Matriz: Resíduo Sólido **Amostra:** Triturado
Código: 928893 **Coleta:** 04/01/2021 09:15 **Recebimento:** 11/01/2021 **Previsão:** 01/02/2021

LABORATÓRIO DE FÍSICO-QUÍMICA - INC**RESULTADOS ANALÍTICOS**

Parâmetros	Referência	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade	Análise
Cloro Total	SMEWW, 23ª Ed, Part 4500-Cl-, B.	0,1	1,1	%	28/01/2021
PCS	ABNT-NBR 11956	200	5592	Kcal/Kg	28/01/2021
Umidade	LAB-01-28	0,5	0,9	%	20/01/2021

Observações dos Métodos

PCS 01- PCS - Poder Calorífico Superior.
Cloro 01- Feita abertura em bomba Parr.

LABORATÓRIO DE ÓTICA**RESULTADOS ANALÍTICOS****VF AAS - EPA 7471A - Análise: 04/02/2021**

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Mercurio Total	7439-97-6	0,1	0,6	mg/kg

Metal ICP - EPA 3050 - Análise: 10/02/2021

Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Prata Total	7440-22-4	2	< 2	mg/Kg
Alumínio Total	7429-90-5	2	1408	mg/Kg
Bário Total	7440-39-3	1	148	mg/Kg
Berílio Total	7440-41-7	1	< 1	mg/Kg
Cálcio Total	7440-70-2	5	15174	mg/Kg
Cádmio Total	7440-43-9	1	< 1	mg/Kg
Cobalto Total	7440-48-4	2	90	mg/Kg
Cromo Total	7440-47-3	2	762	mg/Kg
Cobre Total	7440-50-8	1	75	mg/Kg
Ferro Total	7439-89-6	2	3327	mg/Kg
Potássio Total	7440-09-7	5	448	mg/Kg
Magnésio Total	7439-95-4	2	2076	mg/Kg



RELATÓRIO DE ENSAIOS

Nº. 1168/2021.0

Emissão: 18/02/2021

Página 2 de 3

Metal ICP - EPA 3050 - Análise: 10/02/2021


Parâmetros	CAS ⁽²⁾	LDM ⁽¹⁾	Resultado	Unidade
Manganês Total	7439-96-5	2	130	mg/Kg
Molibdênio Total	7439-98-7	5	7	mg/Kg
Sódio Total	7440-23-5	8	1390	mg/Kg
Níquel Total	7440-02-0	5	39	mg/Kg
Chumbo Total	7439-92-1	10	19	mg/Kg
Estanho Total	7440-31-5	10	< 10	mg/Kg
Estrôncio Total	7440-24-6	5	36	mg/Kg
Titânio Total	7440-32-6	2	118	mg/Kg
Tálio Total	7440-28-0	10	< 10	mg/Kg
Vanádio Total	7440-62-2	10	< 10	mg/Kg
Zinco Total	7440-66-6	1	1757	mg/Kg
Arsênio Total	7440-38-2	10	< 10	mg/Kg
Antimônio Total	7440-36-0	10	< 10	mg/Kg
Selênio Total	7782-49-2	10	< 10	mg/Kg
Telúrio Total	13494-80-9	10	< 10	mg/Kg
Óxido de Cálcio (CaO)	1305-78-8	10	21228	mg/Kg
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	1344-28-1	10	2661	mg/Kg
Óxido de Magnésio (MgO)	1309-48-4	5	3442	mg/Kg
Óxido de Ferro (FeO)	1345-25-1	25	4281	mg/Kg

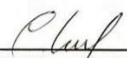
Condições do Recebimento

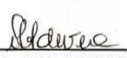
Amostras recebidas em caixa térmica?	NA
Caixa térmica lacrada?	NA
Amostras enviadas com Cadeia de Custódia?	Sim
Temperatura da amostra no recebimento oC:	25n
Amostras recebidas com integridade?	Sim
Amostras com identificação completa e legível?	Sim
Amostras identificadas de acordo com a Cadeia de Custódia?	Sim
Amostras coletas em quantidade suficiente?	Sim
Amostras coletadas em recipientes apropriados?	Sim
Amostras preservadas corretamente?	Sim
Amostras dentro do prazo de validade?	Sim
Amostras coletadas pelo cliente?	Sim
Responsável pela coleta:	Cetrel

Observações Gerais**Relatório**

O(s) resultado(s) expresso(s) neste relatório refere-se apenas à amostra ensaiada. Este relatório só deverá ser reproduzido na íntegra. O laboratório não se responsabiliza pela produção parcial deste relatório. Os dados brutos dessa amostra estão disponíveis para consulta até 60 dias após a data da emissão desse Relatório de Ensaio. Esse Relatório de Ensaio foi aprovado e assinado eletronicamente.


 Valdo de Brito Pontes
 Químico - Laboratório
 CRQ: 07100451


 Clodovil Alves Cabral Neto
 Químico - Laboratório
 CRQ: 07100490


 Najla de Lourdes Mattos Oliveira
 Químico - Laboratório
 CRQ: 07100123

ANEXO G

COMPONENTES FÍSICO-QUÍMICOS PRESENTES NO RESÍDUO BORRA OLEOSA PENEIRADA

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
PCS	Kcal/kg	2.231,0	Benzo (g,h,i) perileno	mg/kg	9,6
Cinzas	%	34,0	Criseno	mg/kg	13,0
Cloro total	%	0,5	Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	3,2
Umidade	%	23,0	Fluoranteno	mg/kg	27,0
Etilbenzeno	µg/kg	14.947,9	Fluoreno	mg/kg	7,2
p-m-Xilenos	µg/kg	20.835,0	Indeno(1,2,3-cd) pireno	mg/kg	15,0
o-Xileno	µg/kg	9.472,0	Naftaleno	mg/kg	149,0
1,2,4-Trimetilbenzeno	µg/kg	31.426,0	Fenantreno	mg/kg	52,0
1,3,5-Trimetilbenzeno	µg/kg	7.141,0	Pireno	mg/kg	10,0
Cumeno	µg/kg	1.098,7	Mercúrio Total	mg/kg	8,2
Tolueno	µg/kg	2.627,9	Alumínio Total	mg/kg	5.346,0
Hexano	µg/kg	817,0	Bário Total	mg/kg	337,0
Estireno	µg/kg	3.699,2	Cálcio Total	mg/kg	97.840,0
4,7-Metano-1H-indeno	µg/kg	29.953,3	Cobalto Total	mg/kg	810,0
p-Isopropiltolueno	µg/kg	1.252,1	Cromo Total	mg/kg	70,0
n-Propilbenzeno	µg/kg	3.005,0	Cobre Total	mg/kg	333,0
Xilenos	µg/kg	30.307,0	Ferro Total	mg/kg	15.527,0
Fenol	mg/kg	7,5	Potássio Total	mg/kg	2.140,0
2,4-DNT	mg/kg	5,0	Magnésio Total	mg/kg	1.245,0
2,6-Dimetilnaftaleno	mg/kg	10,0	Manganês Total	mg/kg	852,0
P-Dimetilbenzeno	mg/kg	17,0	Sódio Total	mg/kg	5.118,0
1,4-Dimetilnaftaleno	mg/kg	9,6	Níquel Total	mg/kg	111,0
2-Metilnaftaleno	mg/kg	122,0	Chumbo Total	mg/kg	36,0
Acenafteno	mg/kg	3,7	Estrôncio Total	mg/kg	307,0
Acenaftileno	mg/kg	1,1	Titânio Total	mg/kg	285,0
Antraceno	mg/kg	3,6	Vanádio Total	mg/kg	15,0
Benzo(a)antraceno	mg/kg	13,0	Zinco Total	mg/kg	1.376,0
Benzo(a)pireno	mg/kg	18,0	Óxido de Cálcio (CaO)	mg/kg	136.878,0
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	30,0	Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	mg/kg	10.100,0
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	5,4	Óxido de Magnésio (MgO)	mg/kg	2.065,0
Benzo(b+k)fluoranteno	mg/kg	35,0	Óxido de Ferro (FeO)	mg/kg	19.976,0

Fonte: Elaboração Própria.

ANEXO H

COMPONENTES FÍSICO-QUÍMICOS PRESENTES NO RESÍDUO TRITURADO

Parâmetro	Unidade	Resultado	Parâmetro	Unidade	Resultado
PCS	Kcal/kg	6.735,0	Bário Total	mg/kg	148,0
Cinzas	%	7,7	Cálcio Total	mg/kg	15.174,0
Cloro total	%	0,8	Cobalto Total	mg/kg	90,0
Umidade	%	0,5	Cromo Total	mg/kg	762,0
1,1,2-Tricloroetano	µg/kg	2.201,2	Cobre Total	mg/kg	75,0
Ftalato de 2(EH)	mg/kg	748,0	Ferro Total	mg/kg	3.327,0
Benzo(a)antraceno	mg/kg	1,4	Potássio Total	mg/kg	448,0
Benzo(a)pireno	mg/kg	1,0	Magnésio Total	mg/kg	2.076,0
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	1,5	Manganês Total	mg/kg	130,0
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	0,2	Molibdênio	mg/kg	7,0
Benzo(b+k)fluoranteno	mg/kg	1,7	Sódio Total	mg/Kg	1.390,0
Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg	1,0	Níquel Total	mg/Kg	39,0
Criseno	mg/kg	1,2	Chumbo Total	mg/Kg	19,0
Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	0,2	Estrôncio Total	mg/Kg	36,0
Fluoranteno	mg/kg	2,3	Titânio Total	mg/Kg	118,0
Indeno(1,2,3-cd) pireno	mg/kg	1,4	Zinco Total	mg/Kg	1.757,0
Fenantreno	mg/kg	0,8	Óxido de Cálcio (CaO)	mg/Kg	21.228,0
Pireno	mg/kg	2,0	Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	mg/Kg	2.661,0
Mercúrio Total	mg/kg	0,6	Óxido de Magnésio (MgO)	mg/Kg	3.442,0
Alumínio Total	mg/kg	1.408,0	Óxido de Ferro (FeO)	mg/Kg	4.281,0

Fonte: Elaboração Própria.

ANEXO I**DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**

Publicado em: 08/10/2020 | Edição: 194 | Seção: 1 | Página: 50

Órgão: Ministério do Meio Ambiente/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.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pelos arts. 6º, inciso II, e 8º, inciso I, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto no 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, resolve:

Capítulo I**Das Disposições Gerais**

Art. 1º Esta Resolução aplica-se ao licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.

§ 1º Esta Resolução não se aplica a resíduos radioativos, explosivos e de serviços de saúde, ressalvados os medicamentos, resíduos provenientes do processo de produção da indústria farmacêutica e os que tenham sido descaracterizados em razão de submissão a tratamento que altere suas propriedades físicas, físico-químicas, químicas ou biológicas.

§ 2º Os resíduos sólidos urbanos, os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços e os resíduos dos serviços públicos de saneamento básico podem ser destinados para coprocessamento, desde que sejam previamente submetidos à triagem, classificação ou tratamento.

Art. 2º Ficam estabelecidos os limites de concentração de poluentes orgânicos persistentes na composição dos resíduos permitidos para fins de coprocessamento, conforme ANEXO I.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá autorizar o coprocessamento de resíduos com concentrações de poluentes orgânicos persistentes superiores aos valores estabelecidos no ANEXO I desde que haja ganho ambiental, conforme disposto no § 4º do art. 11 desta Resolução.

Art. 3º O órgão ambiental competente poderá autorizar o coprocessamento de materiais e resíduos provenientes de passivo ambiental, como forma de destinação final ambientalmente adequada.

Art. 4º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - clínquer: componente básico do cimento, constituído principalmente de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico.

II - combustível alternativo: combustível produzido a partir de resíduos de diversas origens, com a finalidade de substituição de combustíveis fósseis.

III - coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer: destinação final ambientalmente adequada que envolve o processamento de resíduos sólidos como

substituto parcial de matéria-prima e/ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento.

IV - Equipamento de Controle de Poluição - ECP: equipamentos destinados a controlar as emissões atmosféricas resultantes das operações industriais.

V - Estudo de Viabilidade de Queima - EVQ: estudo teórico que visa avaliar a compatibilidade do resíduo a ser coprocessado com as características operacionais do processo e os impactos ambientais decorrentes desta prática.

VI - farinha: produto intermediário para a produção de clínquer, composto basicamente de carbonato de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro, obtidos a partir de matérias-primas, tais como calcário, argila e outras.

VII - forno rotativo de produção de clínquer: cilindro rotativo, inclinado e revestido internamente de material refratário, com chama interna, utilizado para converter basicamente compostos de cálcio, sílica, alumínio e ferro, proporcionalmente misturados, em um produto final denominado clínquer.

VIII - monitoramento ambiental: avaliação das emissões provenientes dos fornos de produção de clínquer que coprocessam resíduos, bem como da qualidade ambiental na área de influência do empreendimento.

IX - Plano do Teste de Queima - PTQ: plano que contempla dados, cálculos e procedimentos relacionados com as operações de coprocessamento propostas para o resíduo.

X - pré-aquecedor: região do sistema forno constituída por um conjunto de ciclones, onde a farinha é alimentada, sendo pré-aquecida e parcialmente calcinada pelo fluxo de gases quentes provenientes do forno rotativo, em contracorrente.

XI - pré-calcinador: dispositivo secundário de queima onde ocorre uma pré-calцинаção da matéria-prima.

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

XIII - resíduos sólidos urbanos: resíduos domiciliares originários de atividades domésticas em residências urbanas e resíduos de limpeza urbana oriundos de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.

XIV - resíduos explosivos: resíduos compostos por substâncias que por ação de causa externa como calor, choque, carga elétrica, entre outros, são capazes de gerar reação química caracterizada pela liberação em breve espaço de tempo e de forma violenta, de calor, gás e energia mecânica por explosão.

XV - resíduos radioativos: resíduos compostos de elementos químicos radioativos gerados em processo de produção de energia nuclear, podendo ainda ser oriundos de outros usos como tratamento e diagnósticos radiológicos e pesquisa científica.

XVI - resíduos de serviços de saúde: resíduos resultantes de atividades relacionadas com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento como tanatopraxia e

somatoconservação; serviços de medicina legal; drogarias e farmácias, inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores e distribuidores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de piercing e tatuagem, dentre outros afins.

XVII - sistema forno: sistema composto por um conjunto de equipamentos envolvendo as etapas de aquecimento, calcinação e produção final de clínquer, constituído basicamente de forno rotativo, pré-aquecedor ou pré-calcinador e resfriador.

XVIII - Teste de Queima: conjunto de medições realizadas na unidade operando com a alimentação de resíduos, para avaliar a compatibilidade das condições operacionais da instalação de produção de clínquer com o atendimento aos limites de emissão definidos na presente Resolução e com as exigências técnicas fixadas pelo órgão ambiental.

XIX - Teste em Branco: conjunto de medições realizadas no forno em funcionamento normal, operando sem a alimentação de resíduos, para avaliação das condições operacionais da unidade de produção de clínquer e do atendimento às exigências técnicas fixadas pelo órgão ambiental.

XX - zona de combustão primária: região do forno rotativo onde ocorre a queima do combustível de forma a proporcionar a temperatura do material em clinquerização na ordem de 1400°C-1500°C.

XXI - zona de combustão secundária: região do sistema forno onde ocorre a queima do combustível, na faixa de temperatura da ordem de 850°C a 1200°C, objetivando a pré-calcinação.

XXII - zona de queima: local do forno onde ocorrem as reações de clinquerização.

XXIII - resíduos equivalentes: resíduos cuja carga poluidora seja menor ou igual ao originalmente licenciado.

XXIV - Principais Compostos Orgânicos Perigosos - PCOPs: substâncias orgânicas perigosas de difícil destruição térmica.

Art. 5º Estão excluídos dos critérios de licenciamento desta resolução os materiais listados no ANEXO II.

Art. 6º O coprocessamento de resíduos deverá atender aos critérios técnicos fixados nesta Resolução, complementados, sempre que necessário, pelo órgão ambiental competente, de modo a atender as peculiaridades regionais e locais.

Art. 7º As solicitações de licença ambiental para fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos em fábricas de cimento já instaladas somente serão analisadas se essas estiverem devidamente licenciadas e ambientalmente regularizadas.

Art. 8º O coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer deverá ser feito de modo a garantir a manutenção da qualidade ambiental, evitar danos e riscos à saúde.

Art. 9º O produto final, cimento, resultante da utilização de resíduos no coprocessamento em fornos de clínquer não deverá agregar substâncias ou elementos em quantidades tais que possam afetar a saúde humana e o meio ambiente.

Art. 10. Os clínqueres e cimentos importados deverão obedecer ao disposto no art. 9º desta Resolução.

Capítulo II

Dos Procedimentos

Seção I

Dos Critérios Básicos para a Utilização de Resíduos

Art. 11. São permitidos, para fins de coprocessamento em fornos de produção de clínquer, resíduos ou misturas de resíduos passíveis de serem utilizados como substituto de matéria-prima e/ou de combustível, desde que as condições do processo assegurem o atendimento às exigências técnicas e aos parâmetros fixados na presente Resolução, comprovados a partir dos resultados práticos do Plano do Teste de Queima proposto.

§ 1º Os resíduos podem ser utilizados como substitutos de matéria-prima desde que apresentem características similares às dos componentes normalmente empregados na produção de clínquer, incluindo neste caso os materiais mineralizadores e/ou fundentes.

§ 2º Os resíduos podem ser utilizados como substitutos de combustível, para fins de coprocessamento, desde que o ganho de energia seja comprovado.

§ 3º Resíduos não substitutos de matérias-primas ou de combustíveis poderão ser coprocessados, desde que promovam ganhos ambientais e sejam autorizados pelo órgão ambiental competente.

§ 4º Considera-se que há ganhos ambientais quando ocorrem eventos tais como:

I - a redução de emissão de substâncias poluentes, gases de efeito estufa, entre outros;

II - a eliminação ou a redução da necessidade de disposição final de resíduos;

III - a despoluição de áreas ou cursos hídricos;

IV - do coprocessamento se apresentar como uma tecnologia ambientalmente mais adequada e segura para a destinação final do resíduo; dentre outros.

§ 5º Excepcionalmente, e com a devida manifestação favorável do órgão ambiental competente, a destruição de entorpecentes e materiais apreendidos poderá ser submetida à operação de coprocessamento, desde que formalizada solicitação por ente ou órgão público ao órgão ambiental competente.

Seção II

Do Licenciamento Ambiental

Art. 12. As Licenças Prévia, de Instalação e de Operação para o coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer serão requeridas previamente ao órgão ambiental competente, obedecendo aos critérios e procedimentos fixados na legislação vigente.

§ 1º Para as fontes novas, poderão ser emitidas Licenças Prévia, de Instalação e de Operação que englobem conjuntamente as atividades de produção de cimento e o coprocessamento de resíduos nos fornos de produção de clínquer.

§ 2º Para as fontes existentes, já licenciadas para a produção de cimento, o licenciamento ambiental específico para o coprocessamento somente será concedido quando a unidade industrial, onde se localizar o forno de clínquer, tiver executado todas as medidas de controle previstas em sua Licença de Operação.

§ 3º O licenciamento de que trata o caput deste artigo, refere-se à capacidade de destruição térmica do sistema do forno de clínquer.

Art. 13. Para a inclusão de resíduos à Licença de Operação, fica dispensada a apresentação do Estudo de Viabilidade de Queima (EVQ), Plano de Teste em Branco (PTB), Relatório de Teste em Branco (RTB), Plano de Teste de Queima (PTQ) e Relatório de Teste de Queima (RTQ), desde que devidamente comprovado que se tratam de resíduos equivalentes aos licenciados.

Art. 14. O processo de licenciamento será tecnicamente fundamentado com base nos estudos a seguir relacionados, que serão apresentados pelo interessado:

I - Estudo de Viabilidade de Queima - EVQ: Licença Prévia (LP).

II - Plano de Teste em Branco: Licença de Instalação (LI).

III - Relatório de Teste em Branco: Licença de Instalação (LI).

IV - Plano de Teste de Queima - PTQ: Licença de Operação (LO).

V - Relatório de Teste de Queima: Licença de Operação (LO).

Seção III

Do Estudo de Viabilidade de Queima - EVQ

Art. 15. O EVQ será apresentado ao órgão ambiental devendo conter, no mínimo, as seguintes informações:

I - dados referentes à fábrica de cimento como nome, endereço, situação com relação ao licenciamento ambiental;

II - objetivo da utilização do(s) resíduo(s);

III - dados do(s) resíduo(s):

a) descrição sucinta do processo gerador do resíduo e fluxograma simplificado com a indicação do ponto de geração do mesmo;

b) caracterização quantitativa dos resíduos contendo:

1. estado físico do(s) resíduo(s);

2. quantidade gerada e estocada;

3. poder calorífico inferior;

4. viscosidade, no caso de líquidos;

5. composição provável do(s) resíduo(s);

6. teor de metais pesados, cloro total, cloretos e enxofre;

7. teor de cinzas e umidade;

8. descrição do sistema de armazenamento de resíduo(s).

IV - descrição do processo/equipamentos, incluindo:

a) descrição do processo de produção inerente ao forno e fluxograma do processo produtivo com indicação dos pontos de alimentação de matéria-prima e combustível, bem como perfil de temperaturas;

b) características e especificações dos equipamentos utilizados na produção de clínquer;

c) layout dos equipamentos;

d) descrição do sistema proposto de alimentação de resíduos;

e) forno selecionado para a queima de resíduos;

f) tempo de residência para gases e sólidos, com memória de cálculo;

g) características e especificações dos equipamentos que serão modificados ou adicionados em relação aos inicialmente existentes; e

h) desenho esquemático incluindo modificações, com indicação dos pontos de amostragem e parâmetros a serem monitorados.

V - em relação à matéria-prima:

a) relação das matérias-primas empregadas na produção do clínquer e suas características físico-químicas;

b) descrição dos sistemas de alimentação e homogeneização da matéria-prima;

c) taxa de alimentação (t/h); e

d) descrição do processo de realimentação e destinação do material particulado retido nos equipamentos de controle da poluição atmosférica.

VI - em relação ao combustível:

a) caracterização dos combustíveis como tipo, poder calorífico inferior e teor de enxofre, e consumo (t/h); e

b) descrição dos sistemas de alimentação de combustíveis, bem como indicação da proporção dos combustíveis nos queimadores primário e secundário.

VII - em relação aos equipamentos de controle de poluição - ECP:

a) descrição dos ECPs para emissões atmosféricas;

b) descrição do sistema de monitoramento das emissões atmosféricas; e

c) descrição dos procedimentos de amostragem e monitoramento, incluindo frequência e listagem de todos os parâmetros monitorados.

VIII - outras informações que forem consideradas necessárias.

Seção IV

Do Teste em Branco

Art. 16. Após a aprovação do Estudo de Viabilidade de Queima - EVQ, o órgão ambiental analisará o Plano de Teste em Branco e aprovará a realização do Teste em Branco visando avaliar o desempenho ambiental da fábrica de cimento sem o coprocessamento de resíduos.

Art. 17. Previamente à realização do Teste em Branco, a empresa interessada apresentará para aprovação do órgão ambiental, o Plano de Teste em Branco, contemplando os requisitos mínimos para execução do teste, abrangendo os seguintes itens:

I - período previsto para a realização do Teste em Branco, facultando o acompanhamento por parte dos técnicos do órgão ambiental;

II - descrição e eficiência dos equipamentos de controle de poluição atmosférica;

III - descrição do plano de automonitoramento do processo, contemplando:

a) a localização dos pontos de amostragem;

b) parâmetros amostrados nestes pontos; e

c) a periodicidade das amostragens, dentre outros;

IV - metodologias de coleta de amostra de poluentes atmosféricos e de análise a serem empregadas, com os respectivos limites de detecção, devendo as coletas ser feitas em triplicata e o tempo mínimo de coleta para material particulado ser de duas horas;

V - capacidade de operação da unidade durante o teste: a planta deve operar na capacidade prevista para o coprocessamento, a qual deve ser mantida enquanto durar o Teste

em Branco e, posteriormente, os de queima do resíduo, com uma variação aceitável de até dez por cento;

VI - parâmetros operacionais que serão monitorados no processo: inclui taxas de alimentação de combustível, de matérias-primas e de material particulado recirculado, equipamentos de controle operacional, com os respectivos limites de detecção de emissões de hidrocarbonetos totais (THC) e concentração de oxigênio (O₂) monitores contínuos de pressão e temperatura do sistema forno e temperatura na entrada dos equipamentos de controle de poluição atmosférica.

Art. 18. Após a realização do Teste em Branco, a empresa apresentará ao órgão ambiental o relatório conclusivo do teste, contemplando a verificação dos itens previstos no Plano de Teste em Branco.

Parágrafo único. A aprovação do Teste em Branco significa que a instalação atende às exigências do órgão ambiental, estando apta a apresentar um Plano de Teste de Queima - PTQ, não estando a empresa autorizada ainda a queimar resíduos e nem mesmo a submeter-se a Testes de Queima.

Art. 19. Caso a instalação não atenda às exigências previstas no Teste em Branco, fica proibido o prosseguimento do licenciamento até que seja realizado e aprovado um novo teste, após a realização de adequações pelo empreendedor.

Seção V

Do Plano do Teste de Queima - PTQ

Art. 20. Devem constar no conteúdo do Plano:

I - o objetivo do teste;

II - fluxogramas do processo produtivo, com indicação dos pontos de alimentação, descrição e capacidade dos sistemas de alimentação de matéria-prima, combustível e resíduo, bem como o perfil de temperaturas do sistema;

III - descrição dos equipamentos do sistema forno:

- a) nomes dos fabricantes;
- b) tipos e descrição dos componentes do sistema; e
- c) capacidade máxima de projeto e capacidade nominal.

IV - descrição de cada corrente de alimentação:

a) matérias-primas:

1. relação das matérias-primas;
2. características físico-químicas;
3. composições básicas, constando teores de matéria orgânica e cinzas; e
4. taxas de alimentação.

b) resíduo:

1. origem, quantidade gerada e estocada;
2. poder calorífico inferior, composição provável, composição elementar e identificação e quantificação das substâncias eventualmente presentes, avaliadas com base no processo gerador do resíduo;

3. taxa de alimentação pretendida;

4. teores de metais;

5. teores de cloreto;

6. teores de fluoretos, enxofre, cinzas e umidade;

7. descrição dos procedimentos de mistura de resíduos anteriores à queima.

c) combustíveis:

1. tipo;
2. Poder Calorífico Inferior - PCI;
3. teores de enxofre, cinzas e umidade; e
4. consumo (massa/tempo).

V - condições operacionais propostas para o Teste de Queima, incluindo tempo de residência para gases e sólidos, com memórias de cálculo;

VI - descrição do sistema de controle de emissões atmosféricas, de seus equipamentos e de suas condições operacionais;

VII - descrição da destinação final ambientalmente adequada dos resíduos gerados no sistema de controle de emissões atmosféricas. E:

a) no caso de existirem etapas de tratamento deste sistema que gerem efluentes líquidos, descrever seus equipamentos e operações, seus parâmetros e condições operacionais e sua proposta de monitoramento para sistemas de tratamento destes efluentes;

b) o mesmo se aplica para os efluentes líquidos gerados em operações de limpeza de pisos e equipamentos, bem como as águas pluviais contaminadas;

VIII - descrição e desenhos esquemáticos de localização de todos os pontos de medição e coleta de amostras para monitoramento da unidade e dos sistemas de controle de emissões e descrição dos sistemas de gerenciamento destes dados;

IX - lista de parâmetros a serem monitorados na operação do sistema forno, em todas as etapas do coprocessamento, relacionando equipamentos utilizados no monitoramento;

X - lista de parâmetros a serem monitorados em todas as etapas do processo, incluindo, entre outros, metodologias e equipamentos de coleta e análises, seus limites de detecção, frequências de coletas de dados de amostragem e de medições para: combustíveis, matérias-primas, resíduos e correntes de reciclo e de descarte de material particulado, resíduos sólidos gerados, emissões atmosféricas e efluentes líquidos;

XI - descrição do sistema de intertravamento, das condições em que ocorrem a interrupção e a retomada da alimentação dos resíduos;

XII - cronograma do teste de queima;

XIII - identificação dos técnicos envolvidos no teste, incluindo responsabilidades e qualificações, sendo que todos os documentos apresentados deverão ser devidamente assinados por profissional habilitado, indicando o número do registro no Conselho de Classe Profissional.

Parágrafo único. Na hipótese prevista no inciso V, para o caso da alimentação de resíduos em ponto que não seja a extremidade de temperatura mais elevada do forno rotativo, deverá ser demonstrado que haverá condições adequadas e suficientes de tempo de residência, temperatura e concentração de O₂, no percurso dos gases, a partir do ponto de alimentação do resíduo.

Art. 21. Após a aprovação do PTQ o interessado fixará a data para o Teste de Queima, em comum acordo com o órgão ambiental, que, a seu critério, poderá acompanhar as operações do teste.

Art. 22. Os resíduos não poderão ter sua composição e suas concentrações de contaminantes superiores aos valores apresentados no plano.

Art. 23. Poderá ser prevista a realização de um "pré-teste de queima", que deverá ser aprovado pelo órgão ambiental, a fim de que sejam feitos os ajustes necessários referentes às condições de alimentação dos resíduos a serem testados.

Art. 24. Para a alimentação de resíduos em regime de batelada (em latões, bombonas, pacotes, ou sem cominuição prévia de quantidades maiores - como, possivelmente, no caso de pneus), o volume de cada batelada e a frequência de suas alimentações deverão ser estabelecidos de modo a garantir que a rápida volatilização dos compostos introduzidos no sistema não promova reduções das concentrações de O₂ abaixo das quais seja comprometida a eficiência do processo de destruição térmica destes compostos.

Art. 25. O empreendedor deverá apresentar ao órgão ambiental competente estimativa dos níveis de emissão resultantes da adoção da taxa de alimentação pretendida, com base no balanço de massa, contemplando os dados de entrada de matéria-prima, combustível e resíduos, e de saída de clínquer, gases da exaustão, material particulado retido no ECP e particulado nos gases emitidos para atmosfera.

Art. 26. Ao término do período solicitado para o pré-teste, o órgão ambiental deverá ser comunicado quanto a eventuais alterações no Plano de Teste de Queima.

Seção VI

Do Teste de Queima

Art. 27. No início do Teste de Queima deverá ser testado o sistema de intertravamento para interromper automaticamente a alimentação de resíduos.

Art. 28. Durante o Teste de Queima, a instalação deverá operar nas mesmas condições operacionais verificadas durante o Teste em Branco, conforme o inciso V do art. 17.

Art. 29. Deverão ser amostrados no efluente gasoso os mesmos poluentes avaliados no Teste em Branco.

Art. 30. As coletas deverão ser realizadas em triplicadas e as emissões atmosféricas devem estar de acordo com os limites máximos de emissão estabelecidos no ANEXO III.

Art. 31. São condições prévias para o Teste de Queima:

I - ter o Plano de Teste de Queima aprovado pelo órgão ambiental competente;

II - o Teste de Queima não deverá apresentar risco significativo de qualquer natureza à saúde pública e ao meio ambiente;

III - ter instalados, calibrados e em condição de funcionamento, pelo menos, os seguintes monitores contínuos e seus registradores: O₂, temperatura e pressão do sistema forno, taxa de alimentação de resíduos e parâmetros operacionais dos ECPs;

IV - ter instalado e em condição de funcionamento um sistema de intertravamento, definido em plano de segurança, para interromper automaticamente a alimentação de resíduos, nos seguintes casos:

a) emissão dos poluentes monitorados continuamente, acima dos limites previstos nesta Resolução, por tempo superior a 300 (trezentos) segundos, quando não respeitado o limite dentro média horária;

b) queda da temperatura normal de operação;

c) falta de energia elétrica ou queda brusca de tensão;
d) queda do teor de O₂ no sistema;
e) mau funcionamento dos monitores e registradores de temperatura, O₂ ou THC;
f) interrupção do funcionamento do ECP; e
g) no caso do uso de precipitadores eletrostáticos como ECP, além da observância das aléneas acima, deverá ser realizado o intertravamento quando o parâmetro operacional CO ultrapassar o limite de concentração recomendado pelo fabricante do ECP, considerando o histórico de operação do empreendimento.

V - ter instalado e em funcionamento um sistema de alimentação de resíduos, em condições de segurança e operacionalidade.

Seção VII

Dos Limites de Emissão

Art. 32. Os limites máximos de emissão, em base seca, para a atividade de coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer são fixados no ANEXO III.

Art. 33. Os limites de emissão dos poluentes poderão ser mais restritivos, a critério do órgão ambiental competente, em função dos seguintes fatores:

I - capacidade de dispersão atmosférica dos poluentes, considerando as variações climáticas e de relevo locais; ou

II - a intensidade de ocupação industrial e a qualidade de ar da região.

Art. 34. O órgão ambiental competente poderá, mediante decisão fundamentada e considerando as condições locais da área de influência da fonte poluidora, determinar limites de emissão mais restritivos que os estabelecidos nesta Resolução, a seu critério, se o gerenciamento da qualidade do ar assim o exigir.

Seção VIII

Dos Critérios para Seleção dos Principais Compostos Orgânicos Perigosos - PCOPs

Art. 35. A seleção dos PCOPs deverá ser baseada no grau de dificuldade de destruição de constituintes orgânicos do resíduo, sua toxicidade e concentração no resíduo.

Art. 36. A Eficiência de Destruição e Remoção-EDR dos PCOPs, deverá ser de no mínimo 99,99%.

Parágrafo único. Em caso de alimentação de PCB, a EDR deverá ser de no mínimo 99,999%.

Art. 37. Para confirmação da EDR, a taxa de alimentação de um ou mais PCOPs selecionados deverá ser compatível com os limites de quantificação dos métodos de amostragem e análises das emissões atmosféricas.

Art. 38. O órgão ambiental competente poderá definir o critério para atendimento do limite de emissão do THC na hipótese em que as características da matéria-prima exercerem influência sobre o valor total de emissão.

Seção IX

Do Monitoramento Ambiental

Art. 39. Os relatórios de automonitoramento serão encaminhados ao órgão ambiental competente de acordo com a frequência solicitada.

Art. 40. A taxa de alimentação do resíduo, deve ser controlada através de avaliação sistemática do monitoramento das emissões provenientes dos fornos de produção de

clínquer que utilizam resíduos, bem como da qualidade ambiental na área de influência do empreendimento.

Art. 41. Deverão ser monitorados de forma contínua os seguintes parâmetros: pressão interna, temperatura dos gases do sistema forno e na entrada do precipitador eletrostático, vazão de alimentação do resíduo, material particulado, O₂, NO_x e THC.

Art. 42. Deverão ser monitorados, de forma não contínua, os seguintes parâmetros: HCl/Cl₂, HF, dioxinas e furanos e demais parâmetros constantes no ANEXO III.

Art. 43. O monitoramento de quaisquer outros poluentes com potencial de emissão poderá ser exigido, a critério do órgão ambiental competente, desde que de forma motivada e fundamentada.

Art. 44. O controle das características dos resíduos deverá ser feito através de amostragem não contínua, fundamentado na análise dos seguintes parâmetros: elementos e substâncias inorgânicas, enxofre, flúor, série nitrogenada e cloro.

Art. 45. O monitoramento dos efluentes líquidos deverá obedecer aos parâmetros fixados na legislação pertinente.

Art. 46. Os parâmetros MP, NO_x, SO_x, O₂ e THC deverão ser monitorados de forma contínua e os resultados encaminhados ao órgão ambiental competente, podendo ser on-line, conforme critério por ele definido.

Seção X

Do Plano de Treinamento de Pessoal

Art. 47. O pessoal envolvido com a operação de coprocessamento de resíduos deverá receber periodicamente treinamento específico com relação ao processo, manuseio e utilização de resíduos, bem como sobre procedimentos para situações emergenciais e anormais durante o processo.

Seção XI

Dos Procedimentos para Controle de Recebimento de Resíduos

Art. 48. Os resíduos a serem recebidos pela instalação responsável por sua utilização deverão ser previamente analisados por meio de metodologia de amostragem para determinação de suas propriedades físico-químicas e registro das seguintes informações:

I - a origem e a caracterização do resíduo, de forma a garantir a rastreabilidade do mesmo;

II - métodos de amostragem e análise utilizados, com respectivos limites de quantificação, de acordo com as normas vigentes;

III - os parâmetros analisados em cada resíduo; e

IV - incompatibilidade com outros resíduos.

Seção XII

Do Armazenamento de Resíduos e da Análise de Risco

Art. 49. Os resíduos deverão ser armazenados de acordo com os dispositivos legais vigentes.

Art. 50. O transporte de resíduos ou de mistura de resíduos para as unidades de coprocessamento, deverá ser realizado de acordo com os dispositivos legais vigentes.

Art. 51. O Estudo de Análise de Risco integrará o processo de licenciamento ambiental, quando do requerimento da Licença Prévia, e será realizado pelo empreendedor de acordo com os procedimentos e normas estabelecidas pelo órgão ambiental competente.

Parágrafo único. Estudo de dispersão atmosférica integrará o Estudo de Análise de Risco, contemplando avaliação dos riscos decorrentes tanto de emissões acidentais como de emissões não acidentais e comparação aos padrões de qualidade do ar.

Capítulo III

Das Disposições Finais

Art. 52. Fica revogada a Resolução Conama nº 264, de 26 de agosto de 1999.

Art. 53. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Ricardo Salles

Presidente do Conselho

ANEXO I

SUBSTÂNCIA	LIMITE MÁXIMO (BASE SECA)
Aldrin	50 mg/kg
Hexaclorociclo-hexanos incluindo lindano	50 mg/kg
Bifenilas Policloradas (PCB)	50 mg/kg
Clordano	50 mg/kg
Clordecona	50 mg/kg
Dibenzofuranos policlorados (PCDF)	15 µg/kg
Dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD)	
Dicloro-difenil tricloroetano (DDT)	50 mg/kg
Dieldrin	50 mg/kg
Endossulfam	50 mg/kg
Endrin	50 mg/kg
Heptacloro	50 mg/kg
Mirex	50 mg/kg
Pentaclorobenzeno	50 mg/kg
Pentaclorofenol	50 mg/kg
Toxafeno	50 mg/kg
Hexaclorobenzeno	50 mg/kg
Naftalenos policlorados	10 mg/kg
Hexabromobifenil	50 mg/kg
Hexaclorobutadieno	100 mg/kg
Éter tetrabromodifenílico	Soma das concentrações = 1000 mg/kg
Éter pentabromodifenílico	
Éter hexabromodifenílico	
Éter heptabromodifenílico	
Ácido perfluorooctano sulfônico e seus derivados	50 mg/kg

ANEXO II

Combustíveis Tradicionais
Carvão Mineral
Gás Natural
Óleos Combustíveis
Briquetes de Carvão
Coque de petróleo e coques residuais da gaseificação de carvão
Metanol, etanol
Moinha de carvão

Combustíveis e matérias-primas alternativos não sujeitos à aplicação desta Resolução
Casca de arroz.
Serragem de madeira não tratada.
Resíduos vegetais provenientes de atividade agrícola, como bagaço de cana-de-açúcar, palha de arroz, trigo e similares.
Resíduos vegetais provenientes da indústria de transformação de produtos alimentícios, como cascas, bagaços de cítricos, cítricos utilizados para extração de óleos essenciais etc.
Resíduos vegetais fibrosos provenientes da produção de pasta virgem e de papel.
Resíduos de madeira, com exceção dos resíduos de madeira que possam conter compostos orgânicos halogenados ou metais pesados resultantes de tratamento com conservantes ou revestimento.
Sucatas de metais ferrosos e não-ferrosos, como pós, carepas, cavacos, limalhas etc., classificadas como resíduos não perigosos pela NBR 10004 da ABNT, ou norma que venha a substituí-la.
Resíduos de materiais têxteis classificados como resíduos não perigosos pela NBR 10004 da ABNT, ou norma que venha a substituí-la.
Resíduos de obras de construção civil e demolição.
Resíduos de refratários, vidros, material têxtil, como mangas filtrantes e estopas, EPIs, borracha, cabos elétricos, plásticos, papel e papelão, óleos e graxas, com exceção daqueles passíveis de rerrefino, conforme Resolução CONAMA nº 362/2005 e outros gerados na própria unidade coprocessadora, passíveis de coprocessamento.
Resíduos provenientes do processo de triagem das cooperativas e associações de catadores e triadores de materiais recicláveis submetidos a alguma forma de separação prévia de resíduos recicláveis, e que atendam aos requisitos constantes do forno já licenciado para coprocessamento de CDR.

ANEXO III

Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes de fornos rotativos de produção de clínquer utilizados para atividades de coprocessamento de resíduos para a produção de cimento.

Poluente	Limites Máximos de Emissão ¹
----------	---

Material Particulado	50 mg/Nm ³ corrigido a 11% O ₂
HCl	10 mg/Nm ³ corrigido a 10% O ₂
HF	5 mg/Nm ³ corrigido a 7% O ₂
THC (expresso como propano) ²	39 mg/Nm ³ corrigido a 7% O ₂
Mercúrio (Hg)	0,05 mg/Nm ³ corrigido a 7% O ₂
Chumbo (Pb)	0,35 mg/Nm ³ corrigido a 7% O ₂
Cádmio (Cd)	0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7% O ₂
Tálio (Tl)	0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7% O ₂
(As+Be+Co+Ni+Se+Te)	1,4 mg/Nm ³ corrigido a 7% O ₂
(As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn)	7,0 mg/Nm ³ corrigido a 7% O ₂
NO _x (expresso como NO ₂) ³	800 mg/Nm ³ corrigido a 10% O ₂
SO _x (medido como SO ₂)	280 mg/Nm ³ corrigido a 11% de O ₂ , exceto quando o enxofre for proveniente da matéria-prima. Nesses casos, o limite máximo se baseará no valor de SO _x calculado da seguinte forma: - Para um teor de até 0,2% de SO ₃ na farinha: 400 mg/Nm ³ , expresso como SO ₂ ; - Para um teor entre 0,2% e 0,4% de SO ₃ na farinha, conforme a fórmula abaixo: 400 /Nm ³ + (%SO ₃ -0,2).4000 mg/Nm ³ , expresso como SO ₂ ; - Para um teor acima de 0,4% de SO ₃ na farinha: 1.200 mg/Nm ³ , expresso como SO ₂
Dioxinas e furanos ⁴	0,1 ng/Nm ³ corrigido a 10% O ₂

¹ Valores expressos nas condições normais de temperatura e pressão (0°C e 1 atm), em base seca.

² Considerando o monitoramento contínuo.

³ Fornos licenciados após 02/01/2007 deverão atender ao limite estabelecido na Resolução CONAMA 382/06.

⁴ Dibenzo-p-dioxinas e dibenzo-p-furanos, expressos em TEQ (total de toxicidade equivalente) da 2,3,7,8 TCDD (tetraclorodibenzo-p-dioxina).

Este conteúdo não substitui o publicado na versão certificada.

ANEXO J**DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 154, DE 25 DE AGOSTO DE 2010.**

Dispõe sobre o Coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer.

(Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 04/09/2010)

O CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM, tendo em vista o disposto no art. 214, § 1º, IX, da Constituição do Estado de Minas Gerais, no uso das atribuições que lhe confere o art. 5º, I, da Lei nº 7.772, de 8 de setembro de 1980, e nos termos do art. 4º, incisos I, II, IV e VII da Lei Delegada nº 178, de 29 de janeiro de 2007, e no art. 4º, incisos II, III, IV e VII, art. 8º, inciso V e art. 10, inciso I de seu regulamento, Decreto nº 44.667, de 03 de dezembro de 2007 e; [\[1\]](#) [\[2\]](#) [\[3\]](#)

Considerando a necessidade de normatizar os procedimentos referentes ao licenciamento ambiental de coprocessamento de resíduos sólidos, líquidos ou semi-sólidos, de Classe I e Classe II, de acordo com a norma ABNT NBR 10004, em fornos de clínquer no Estado de Minas Gerais,

DELIBERA:

Art. 1º - Para efeito de aplicação dessa Deliberação Normativa são estabelecidas as seguintes definições:

I - Coprocessamento: a utilização de resíduos para substituição de matérias-primas e/ou aproveitamento energético em fornos de clínquer;

II - Unidades de Mistura e Pré-condicionamento de Resíduos (UMPCR): unidades onde se realiza o preparo e/ou mistura de resíduos oriundos de diversos processos industriais, resultando em produtos com determinadas características, para serem utilizados no coprocessamento em fornos de clínquer.

III - Licença de Operação para coprocessamento de resíduos: é a Licença de Operação concedida para a atividade de coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer, quando os resultados do teste de queima comprovarem a capacidade do forno de destruir resíduos, respeitados os limites de entrada e de emissão definidos na legislação.

IV - Plano do Teste de Queima - PTQ: plano que contempla dados, cálculos e procedimentos relacionados com as operações de coprocessamento propostas para o resíduo.

V - Teste em Branco: conjunto de medições realizadas no forno em funcionamento normal, operando sem a alimentação de resíduos, para avaliação das condições operacionais da unidade de produção de clínquer e do atendimento às exigências técnicas fixadas pelo órgão ambiental.

VI - Teste de Queima: conjunto de medições realizadas na unidade, operando com a alimentação de resíduos para avaliar a compatibilidade das condições operacionais da

instalação de produção de clínquer, com o atendimento aos limites de emissões e demais exigências técnicas estabelecidos na presente Deliberação.

VII - Resíduos domiciliares pré-tratados ou tratados: são os resíduos brutos que passaram por sistemas de triagem e/ou tratamento.

VIII - Resíduos equivalentes para coprocessamento: são resíduos cuja análise de massa bruta demonstre que as concentrações de seus elementos são iguais ou inferiores àquelas listadas na Licença de Operação para coprocessamento de resíduos, conforme tabelas 5 (cinco) e 6 (seis).

Art. 2º - A utilização do forno de clínquer para coprocessamento de resíduos dependerá das Licenças Prévia, de Instalação e de Operação concedidas pelo COPAM.

§ 1º As licenças a que se refere este artigo somente serão concedidas quando a unidade industrial onde se localizar o forno de clínquer dispuser de Licença de Operação do Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM para a atividade de fabricação de cimento e também tiver cumprido todas as medidas de controle ambiental estabelecidas naquela licença.

§ 2º Para proceder ao coprocessamento a que se refere o caput deste artigo, deverá ser comprovada a capacidade de destruição do(s) resíduo(s) no forno de clínquer através da realização do teste de queima, previamente aprovado pela Superintendência Regional de Meio Ambiente - SUPRAM.

§ 3º A comprovação a que se refere o SS 2º deste artigo ensejará a concessão de licença de operação para coprocessamento de resíduos com concentração de elementos igual ou inferior à verificada no teste, respeitados os limites de entrada e emissão definidos nessa Deliberação Normativa.

Art. 3º - Para a obtenção da Licença de Operação para o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer deverá ser apresentado Plano de Controle Ambiental - PCA contendo, no mínimo:

I - Declaração de Origem e Destino do(s) resíduo(s) antes do início da operação de coprocessamento;

II - Gerador (es) do(s) resíduo(s) e respectiva(s) Licença(s) de Operação;

III - Descrição sucinta do(s) processo(s) gerador(es) do(s) resíduo(s) e fluxograma(s) simplificado com a indicação do ponto de geração do(s) mesmo(s);

IV - Resultados dos ensaios de amostra bruta, incluindo os teores de metais, Poder Calorífico Inferior e, quando se tratar(em) de resíduo(s) substituto(s) de matéria(s)-prima(s), os teores de óxidos que justifiquem tal substituição;

V - Quantidades gerada(s) e estocada(s);

VI - Descrição do sistema de armazenamento de resíduo(s) na UMPCR e/ou na unidade onde será realizada a operação de coprocessamento;

VII - A taxa de alimentação do(s) resíduo(s);

VIII - A(s) Ficha(s) de Emergência do(s) resíduo(s);

IX - Metodologia de coprocessamento utilizada com definição dos pontos de alimentação dos resíduos;

X - Condições normais de operação do forno de clínquer, incluindo temperatura de operação do forno, alimentação de farinha crua (t/h) e performance esperada para os sistemas de controle;

XI - Plano do Teste de Queima;

XII - Estudo de dispersão atmosférica contemplando os principais componentes dos resíduos e comparando-os aos padrões de qualidade do ar previstos, como referência, na Tabela 3 (três) do Anexo I desta Deliberação Normativa;

XIII - Apresentar programa de monitoramento atmosférico e do clínquer;

XIV - O coprocessador deverá apresentar no PCA manual de procedimentos, operação, segurança e emergência;

XV - Apresentar os resultados do Teste em Branco do forno;
Parágrafo único. O caput desse artigo não se aplica aos resíduos equivalentes.

Art. 4º - O interessado acordará junto à SUPRAM, que acompanhará as operações, data para a realização do Teste de Queima.

Art. 5º - A campanha de monitoramento dos efluentes atmosféricos relativa à Licença de Operação, deverá conter, no mínimo, os parâmetros listados nas tabelas 1 (um) e 2 (dois) do Anexo I desta Deliberação Normativa, com periodicidade trimestral.

Parágrafo único. O lançamento dos efluentes atmosféricos referentes ao teste de queima deverá ser monitorado ao longo de todo o teste com amostragem isocinética.

Art. 6º - Os testes de lixiviação do clínquer deverão ser realizados com periodicidade trimestral e arquivados por um período de no mínimo 3 (três) anos.

Art. 7º - Os resultados dos monitoramentos atmosféricos e as análises do clínquer deverão ser encaminhados trimestralmente ao órgão ambiental.
Parágrafo único. A periodicidade, em função dos resultados verificados, poderá ser modificada pelo COPAM, se devidamente justificada.

Art. 8º - Os resíduos a serem coprocessados em forno de clínquer deverão observar os padrões de concentração, inclusive quando se tratar de resíduos provenientes de UMPCR, conforme o disposto na Tabela 4 (quatro), Anexo I desta Deliberação Normativa.

Parágrafo único. Para a comprovação do disposto no caput, no ato de recebimento dos resíduos, a empresa coprocessadora deverá exigir laudo de laboratório credenciado, observando as Deliberações Normativas do COPAM 89/2005, 120/2008 e 140/2009, com

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART do Responsável Técnico responsável pela coleta e análise do resíduo, que deverá ser encaminhado trimestralmente a SUPRAM.

Art. 9º - Para atividade de coprocessamento, o forno de clínquer deverá atender às seguintes condições gerais:

I - Deverá estar implantado monitoramento contínuo, com encaminhamento "on-line" para o órgão ambiental das informações registradas. Os parâmetros que deverão ser monitorados continuamente são: MP, NOx, SOx, O2 e THC;

II - Os sistemas de alimentação de resíduos deverão estar equipados com intertravamento elétrico que interrompa imediatamente a alimentação dos mesmos, quando ocorrer:

- a) queda da temperatura de operação normal de trabalho;
- b) ausência de chama no queimador;
- c) queda do teor de O2 no sistema;
- d) mau funcionamento dos monitores de O2 e temperatura;
- e) inexistência de depressão no forno;
- f) falta de energia elétrica ou queda brusca de tensão;
- g) alimentação deficiente de farinha;

h) emissões acima do padrão, conforme critérios estabelecidos em legislação específica.

§ 1º Para os empreendimentos que não dispõem de monitoramento contínuo para HCl e HF, será realizada campanha de monitoramento pelo órgão ambiental às expensas do empreendedor.

§ 2º Os parâmetros definidos no item I poderão ser modificados pelo COPAM, em função dos resultados observados em um período de no mínimo de 3 (três) anos, se devidamente justificado.

Art. 10 - Os resíduos a serem coprocessados deverão apresentar Poder Calorífico Inferior - PCI mínimo de 2000 kcal/kg.

§ 1º Somente os elementos Ca, Si, Al, Fe, F, S, K e Na, presentes nos resíduos, caracterizam substituição de matéria prima fundente e/ou mineralizador, no entanto, sua utilização só poderá ser realizada se respeitados os limites de emissão. A sua utilização só poderá ser realizada quando a concentração desses elementos for superior a 45% em peso, além de respeitar os limites de emissão.

§ 2º O enxofre somente poderá ser considerado substituto de matéria prima para aquelas unidades onde a sua ocorrência for comprovada junto com o calcário.

Art. 11 - Não será permitido o coprocessamento de resíduos domiciliares brutos, dos serviços de saúde, radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins, conforme regulado pela Resolução CONAMA 264/99.

Art. 12 - Os resíduos domiciliares pré-tratados ou tratados poderão ser coprocessados, desde que atendam o disposto no artigo 11 e respeitando os limites de emissão.
Parágrafo único. Para estes resíduos será permitido PCI mínimo de 1.500 kcal/kg.

Art. 13 - O transporte rodoviário de resíduos perigosos Classe I, segundo a ABNT NBR 10004/2004, para fins de coprocessamento em fornos de clínquer ou processamento em Unidades de Mistura e Pré-condicionamento de Resíduos, deverá ser realizado por empresa transportadora que possua Autorização Ambiental de Funcionamento ou Licença de Operação, conforme Termo de Referência específico para elaboração de Plano de Controle Ambiental -PCA.

Art. 14 - A mistura de resíduos "blend" a ser encaminhada para o coprocessamento deverá atender aos padrões de entrada no forno e limites de emissão preconizados nessa deliberação.

Art. 15 - O coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer deverá observar os padrões de emissão de efluentes atmosféricos previstos nas Tabelas 1 (um) e 2 (dois) do Anexo I desta Deliberação Normativa.

Art. 16 - Para que a SUPRAM reconheça equivalência de resíduos para inclusão em processos de coprocessamento já licenciados, deverão ser atendidos os limites dos parâmetros constantes nas Tabelas 5 (cinco) e 6 (seis) do Anexo I desta Deliberação Normativa, sempre com concentrações iguais ou inferiores àquelas estabelecidas na Licença de Operação para coprocessamento de resíduos.

§ 1º Quando o critério de equivalência for utilizado como substituto de combustível, não será necessário verificar o primeiro item da tabela 6. No caso da equivalência como substituto de matéria prima, não será necessário verificar o primeiro item da tabela 5.

§ 2º A taxa de alimentação de resíduos equivalentes, isolada ou conjuntamente, poderá ultrapassar a taxa prevista na Licença de Operação existente, desde que informada e que os limites de emissão sejam observados.

§ 3º A equivalência será reconhecida por meio de anuência da SUPRAM, comunicada ao interessado e registrada no processo da Licença de Operação correspondente, sem necessidade de novo Teste de Queima.

§ 4º Não sendo verificada a equivalência, a SUPRAM comunicará a decisão ao interessado.

Art. 17 - A revalidação da Licença de Operação para coprocessamento do resíduo original deverá contemplar todos os resíduos equivalentes agregados.

Art. 18 - Os valores para ressarcimento dos custos de análise dos processos de licenciamento, bem como para inclusão de resíduos equivalentes para coprocessamento de

que trata o Art. 16 desta Deliberação Normativa, serão estabelecidos em Resolução SEMAD específica.

Art. 19 - A alimentação de resíduos para coprocessamento no moinho de carvão/coque somente poderá ser efetuada após licenciamento dessa unidade para tal fim e para cada resíduo especificamente.

Art. 20 - Excepcionalmente, operações de coprocessamento poderão ser autorizadas pelo órgão ambiental, independente das restrições desta deliberação, inclusive aquelas referentes ao PCI e substituição de matéria prima, nos seguintes casos:

I - Solicitações das polícias Federal, Civil e Militar, para destruição de armas e entorpecentes;

II - Solicitações da ANVISA para destruição de medicamentos vencidos;

III - Outras solicitações, a critério do COPAM.

Parágrafo único - Os custos relativos às hipóteses previstas neste artigo serão de responsabilidade dos solicitantes.

Art. 21 - Esta Deliberação Normativa entra em vigor 60 (sessenta) dias após a data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Parágrafo Único - O prazo máximo para a adequação dos empreendimentos às determinações desta Deliberação Normativa será de 2 (dois) anos a contar da data de sua publicação.

Belo Horizonte, 25 de agosto de 2010.

José Carlos Carvalho

Presidente do Conselho Estadual de Política Ambiental e Secretário de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.

Anexo I

(a que se refere a Deliberação Normativa 154, de 25 de agosto de 2010)

Tabela 1

Padrões de Emissão

Parâmetro	Concentrações
HCl	1,8 k/h ou 99% de remoção de HCl para resíduos que contenham mais de 0,5% de Cloreto
HF	5 mg/Nm ³
CO	100 ppm, corrigido a 11% de O ₂ , exceto quando o THC for inferior a 20 ppmv, desde que não seja ultrapassado o limite superior de 500 ppm, corrigido a 11% de O ₂ .
SO _x - medido como SO ₂	280 mg/Nm ³ corrigido a 11% de O ₂ , exceto quando o enxofre for proveniente da matéria-prima. Nesses casos, o limite máximo se

	baseará no valor de SO _x , calculado da seguinte forma: Para um teor de até 0,2% de SO ₃ na farinha: 400 mg/Nm ³ , expresso como SO ₂ ; Para um teor entre 0,2% e 0,4% de SO ₃ na farinha, conforme a fórmula abaixo: 400 mg/Nm ³ + (%SO ₃ -0,2) . 4000 mg/Nm ³ , expresso como SO ₂ ; Para um teor acima de 0,4% de SO ₃ na farinha: 1.200 mg/Nm ³ , expresso como SO ₂ .
NO _x - medido como NO ₂	450 mg/Nm ³ corrigido a 11% de O ₂ - Para fontes novas 730 mg/Nm ³ corrigido a 11% de O ₂ - Para fontes existentes (DE - 2000/76/EC)
Material Particulado Total (novas)	50 mg/Nm ³ corrigido a 11% de O ₂ .
Material Particulado Total (fontes existentes)	70 mg/Nm ³ , corrigido a 11% de O ₂ . Para áreas não saturadas em material particulado e localizadas em regiões não urbanizadas, este padrão pode ser no máximo de 180 mg/Nm ³ , a 11% de O ₂ , a critério do Órgão de Controle Ambiental.
THC	20 ppmv a 7%, medido como propano
Tolueno, Etilbenzeno, Xileno	100 mg/Nm ³ , para fluxo de massa maior ou igual a 100 g/h (verificar TA Luft).
Benzeno	20 mg/Nm ³ , para fluxo de massa maior ou igual a 100 g/h (verificar TA Luft).

Tabela 2

Padrões de emissão para material particulado inorgânico

Parâmetros	Concentrações
Classe 1 - Cádmio, Mercúrio, Tálcio	0,28 mg/Nm ³ para fluxo de massa igual ou maior a 1 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.
Classe 2 - Arsênio, Cobalto, Níquel, Selênio, Telúrio	1,4 mg/Nm ³ para fluxo de massa igual ou maior a 5 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.
Classe 3 - Antimônio, Chumbo, Cromo, Cianetos, Fluoretos, Cobre, Manganês, Platina, Paládio, Ródio, Vanádio, Estanho	7 mg/Nm ³ para fluxo de massa igual ou maior a 25 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.
Classe 1 + Classe 2	1,4 mg/Nm ³ . O somatório Classe 1 deve ser inferior a 0,28 mg/Nm ³
Classe 1+ Classe 3	7 mg/Nm ³ . O somatório classe 1 deve ser inferior a 0,28 mg/Nm ³
Classe 2 + Classe 3	7 mg/Nm ³ . O somatório classe 2 deve ser inferior a 1,4 mg/Nm ³

Tabela 3

Referência para estudos de dispersão de padrões de qualidade do ar

Parâmetro	Padrão de qualidade
Partículas totais em suspensão	Concentração média geométrica anual de 0,08 mg/m ³ de ar. Concentração média de 24 horas de 0,24 mg/m ³ de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez no ano.
Dióxidos de enxofre	Concentração média aritmética anual de 0,08 mg/m ³ de ar. Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 0,365 mg/m ³ , que não deve ser excedida mais de uma vez por ano
Dióxidos de nitrogênio	Concentração média aritmética anual de 0,10 mg/m ³ de ar. Concentração média de 1 (uma) hora de 0,32 mg/m ³ de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.
Chumbo e seus compostos orgânicos	0,002 mg/m ³
Cádmio e compostos inorgânicos de Cádmio	0,00004 mg/m ³
Cloro	0,1 mg/m ³
Flúor, seus compostos como F -	0,1 mg/m ³
HCl	0,2 mg/m ³

Tabela 4

Teores máximos de metais para entrada no forno e PCI mínimo (substituição de combustível)

Parâmetros	Limites
Cádmio (Cd) + Mercúrio (Hg) + Tálho (Tl)	= 100 mg/kg sendo Hg 10mg/kg
Arsênio (As) + Cobalto (Co) + Níquel (Ni) + Selênio (Se) + Telúrio (Te)	= 1.500 mg/kg
Antimônio (Sb) + Cromo (Cr) + Estanho (Sn) + Chumbo (Pb) + Vanádio (V)	=5.800 mg/kg5.800 mg/kg sendo Pb 3.000 mg/kg.
PCI	= 2.000 kcal/kg =1.500 kcal/kg para resíduos sólidos urbanos

Tabela 5

Critérios para equivalência

Parâmetros	Unidades	Substitutivo De Combustível
PCI	kcal/kg	2000
PCB's	ppm	50
Hg	mg/kg	10
Somatório Grupo I (Cd + Hg + Tl)		Respeitando o somatório das concentrações listadas na licença de operação existente para coprocessamento de resíduos
Somatório Grupo II (As + Co+Ni+Se+Te)		Respeitando o somatório das concentrações listadas na licença de operação existente para

		coprocessamento de resíduos
Pb	mg/kg	3000
Somatório Grupo III (Cr+Pb+Sb+Sn+V)		Respeitando o somatório das concentrações listadas na licença de operação existente para coprocessamento de resíduos
Cu	mg/kg	Respeitando os valores listados na licença de operação existente para coprocessamento de resíduos
Zn	mg/kg	Respeitando os valores listados na licença de operação existente para coprocessamento de resíduos

Tabela 6

Critérios para equivalência

Parâmetros	Unidades	Substitutivo de Matéria-Prima (Base Úmida)
Al ₂ O ₃ + SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ + F + SO ₃ + CaO + Na ₂ O + K ₂ O	%	45%
PCB's	ppm	50