



REVISTA ELETRÔNICA  
CIENTÍFICA DA UERGS

# Panorama do coprocessamento de resíduos industriais no estado do Rio Grande do Sul

## **Emanuela Fin**

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS).  
E-mail: manufin@gmail.com, <http://lattes.cnpq.br/0308224925072853>

## **Daiana Maffessoni (UERGS)**

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS).  
E-mail: daiana-maffessoni@uergs.edu.br, <http://lattes.cnpq.br/8663821335625350>

## **Ana Carolina Tramontina**

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS).  
E-mail: ana-tramontina@uergs.edu.br, <http://lattes.cnpq.br/5887389004235035>

ISSN 2448-0479. Submetido em: 14 jun. 2022. Aceito: 14 abr. 2023.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.92.94-103>

## Resumo

Um dos grandes desafios das indústrias é a destinação final ambientalmente adequada e segura dos resíduos gerados nos processos produtivos. No estado do Rio Grande do Sul (RS), a Portaria nº 016/2010 da FEPAM proibiu a disposição de resíduos Classe I com características de inflamabilidade em aterros de resíduos classe I e centrais de recebimento e destinação de resíduos classe I. Uma alternativa viável e ambientalmente adequada para a destinação final desses resíduos e passivos ambientais é o coprocessamento em fornos de clínquer, através do aproveitamento energético quando utilizados como substitutos parciais dos combustíveis fósseis ou como matéria-prima. O objetivo desta pesquisa foi analisar o panorama de coprocessamento dos resíduos industriais no RS, no período de 2010 a 2020, com base nos dados obtidos pelo Sistema SIGECORS da FEPAM e das unidades de blendagem localizadas no estado, visando os benefícios dessa alternativa tecnológica para o ambiente e sociedade. Os resultados apresentam evolução progressiva da quantidade de resíduos industriais destinados ao coprocessamento desde a implantação das unidades de blendagem no estado, representando a eliminação do passivo ambiental na ordem de 231 mil toneladas de resíduos no período analisado. No RS, a maior parte dos resíduos declarados como coprocessados no sistema SIGECORS eram impróprios para a execução do método. De maneira geral, foi possível verificar o impulsionamento da tecnologia de coprocessamento no estado do RS, trazendo vantagens nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, desde que aplicada com os devidos controles ambientais.

**Palavras-chave:** Destinação final; resíduos perigosos; inflamabilidade; blendagem; clínquer.

## Abstract

### **Overview of the co-processing of industrial waste in the state of Rio Grande do Sul**

One of the great challenges of industries is the environmentally appropriate and safe final destination of waste generated in production processes. In the state of Rio Grande do Sul (RS), FEPAM Ordinance No. 016/2010 prohibited the disposal of Class I waste with flammable characteristics in Class I waste landfills and Class I waste reception and disposal centers. A viable and environmentally appropriate alternative for the final destination of this waste and environmental liabilities is co-processing in clinker kilns, through the use of energy when used as a partial substitute for fossil fuels or as raw material. The objective of this research was to analyze the panorama of co-processing of industrial waste in RS, from 2010 to 2020, based on data obtained by the SIGECORS System of FEPAM and the blending units located in the state, aiming at the benefits of this



technological alternative for the environment and society. The results show a progressive evolution in the amount of industrial waste destined for co-processing since the implementation of the blending units in the state, representing the elimination of environmental liabilities in the order of 231 thousand tons of waste in the analyzed period. In RS, most of the waste declared as co-processed in the SIGECORS system was unsuitable for carrying out the method. In general, it was possible to verify the boosting of co-processing technology in the state of RS, bringing advantages in environmental, social and economic aspects, provided that it is applied with due environmental controls.

**Keywords:** Final destination; hazardous waste; inflammability; blending; clinker.

## Resumen

### Panorama del coprocesamiento de residuos industriales en el estado de Rio Grande do Sul

Uno de los grandes retos de las industrias es el destino final ambientalmente adecuado y seguro de los residuos generados en los procesos productivos. En el estado de Rio Grande do Sul (RS), el Reglamento FEPAM n° 016/2010 prohibió la disposición de residuos Clase I con características inflamables en rellenos sanitarios Clase I y centros de recepción y disposición de residuos Clase I. Una alternativa viable y ambientalmente adecuada para el destino final de estos residuos y pasivos ambientales es el coprocesamiento en hornos de clinker, mediante el aprovechamiento de energía cuando se utiliza como sustituto parcial de combustibles fósiles o como materia prima. El objetivo de esta investigación fue analizar el panorama de coprocesamiento de residuos industriales en RS, de 2010 a 2020, a partir de los datos obtenidos por el Sistema SIGECORS de FEPAM y las unidades de mezcla ubicadas en el estado, con el objetivo de identificar los beneficios de esta alternativa tecnológica para el medio ambiente y la sociedad. Los resultados muestran una evolución progresiva en la cantidad de residuos industriales destinados a coprocesamiento desde la implantación de las unidades de mezcla en el estado, representando la eliminación de pasivos ambientales del orden de 231 mil toneladas de residuos en el período analizado. En RS, la mayor parte de los residuos declarados como coprocesados en el sistema SIGECORS resultaron no aptos para la realización del método. En general, fue posible verificar el impulso de la tecnología de coprocesamiento en el estado de RS, trayendo ventajas en los aspectos ambientales, sociales y económicos, siempre que se aplique con los debidos controles ambientales.

**Palabras clave:** Destino final; residuos peligrosos; inflamabilidad; mezcla; escoria de huella.

## Introdução

A geração de resíduos é inerente aos processos produtivos, e a destinação final ambientalmente segura representa um grande desafio para as empresas, visto que o gerenciamento inadequado pode resultar em riscos à saúde pública e à qualidade ambiental, requerendo inovações tecnológicas e soluções definitivas. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), foram geradas mais de 41 milhões de toneladas de RSI perigosos no Brasil apenas em 2020, e uma importante parcela foi destinada para aterros Classe I.

O estado do Rio Grande do Sul (RS) foi o pioneiro no país na publicação de legislação acerca da gestão de resíduos sólidos e também na proibição da disposição de resíduos inflamáveis em aterros industriais e centrais de recebimento e destinação de resíduos classe I, através da Portaria FEPAM N° 016/2010, como forma de redução dos riscos de acidentes e melhoria na operação do gerenciamento nestes empreendimentos. Essa restrição incentivou a busca por outras destinações ambientalmente adequadas fomentadas pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS (Lei 12.305/10), que aumentou a responsabilidade ambiental dos setores industriais em relação aos resíduos gerados.

Entre as alternativas descritas na Portaria FEPAM n° 16/2010, o coprocessamento em fornos da indústria cimenteira, técnica amplamente utilizada na Europa, Estados Unidos China e Japão, demonstra ser uma forma de destinação ambiental e socialmente adequada para os resíduos perigosos provenientes de diversos processos industriais (ALSAIF, 2021; XU; JIANG E SHI, 2022). A tecnologia visa à queima de biomassa e resíduos com características de inflamabilidade em fornos de cimenteiras do tipo clínquer, em substituição parcial aos



combustíveis tradicionais não renováveis, como o coque de petróleo, o óleo combustível e o carvão mineral (TORRES; LANGE, 2022).

Para o aproveitamento energético através do coprocessamento, os resíduos industriais são primeiramente enviados para unidades de preparação dos *blends*, que são misturas de vários resíduos, com objetivo de obter um combustível alternativo eficiente que atenda às especificações definidas pela cimenteira, garantindo a qualidade do cimento e das emissões atmosféricas (NASCIMENTO, 2018). Posteriormente, o *blend* será utilizado em substituição aos combustíveis fósseis em fornos de clínquer, que, com temperaturas elevadas e longos ciclos produtivos, promovem a destruição total dos resíduos e incorporação das cinzas ao cimento, não havendo geração de passivos ambientais (XU; JIANG E SHI, 2022).

No Brasil, a atividade de coprocessamento iniciou na década de 90, regulamentada pela Resolução CONAMA 264/99, e desde então o país já coprocessou mais de 20 milhões de toneladas de resíduos e, no ano de 2020 foram coprocessados dois milhões de toneladas, sendo 1,865 milhão de toneladas de combustíveis alternativos e biomassas, e 153 mil toneladas de matérias-primas alternativas (ABCP, 2021). No RS existem duas unidades de blendagem. A pioneira localiza-se no município de Nova Santa Rita e iniciou suas atividades em 2013; a segunda unidade localiza-se em Farroupilha, e suas atividades iniciaram em 2014. As unidades possuem capacidade de recebimento de 5.000 e 4.000 t/mês de resíduos, respectivamente (FEPAM, 2022). Os fornos de cimento com licença para coprocessar resíduos no RS localizam-se nos municípios de Candiota e Pinheiro Machado. O primeiro forno está autorizado a utilizar *blends* de resíduos como combustível e como matéria-prima alternativa, e o segundo somente matéria-prima alternativa.

Visto que a Portaria da Fepam nº 16/2010 é relativamente recente, estimulou a blendagem e o coprocessamento de resíduos industriais, e que ainda não existe um diagnóstico sobre a utilização dessa técnica no estado, esta pesquisa teve como objetivo analisar o panorama do coprocessamento dos resíduos industriais no estado do Rio Grande do Sul no período de 2010 a 2020.

## Metodologia

Ao considerar o seu desenvolvimento, esta pesquisa utilizou uma abordagem quantitativa. Para o seu desenvolvimento foram avaliados os resíduos industriais com características de inflamabilidade destinados para coprocessamento no estado do RS e em outros estados, os tipos de resíduos e os destinos declarados pelos geradores.

## Coleta dos dados

A consulta e coleta dos dados foram realizadas por meio de dados secundários disponibilizados pelo Sistema de Gerenciamento e Controle dos Resíduos Sólidos Industriais (SIGECORS), da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM/RS) e a partir das unidades de pré-tratamento e blendagem. Os dados coletados da planilha SIGECORS englobam o período de 2010 a 2017, abrangendo os dados lançados trimestralmente, de forma autodeclaratória, pelas empresas licenciadas pelo órgão, contemplando a descrição do resíduo gerado, volume e destino final para coprocessamento.

Nas unidades de blendagem foram coletados dados referentes à quantidade do *blend* produzido (em toneladas) pelas duas unidades, entre os anos de 2013 e 2020, e expedido para coprocessamento em cimenteiras do RS e de outros estados. É importante citar que os dados fornecidos pelas unidades de blendagem incluem o volume gerado por empresas de todos os portes, enquanto que os obtidos a partir da planilha da FEPAM incluem apenas os grandes geradores, pois o órgão licencia apenas atividades que não sejam de impacto local, conforme CONSEMA 372/2018.

## Crítérios de análise e interpretação dos dados

### a) Análise dos municípios receptores de resíduos destinados para coprocessamento

Primeiramente foram identificados os municípios informados na planilha SIGECORS como destino pelos

geradores. Após, foi realizada consulta ao Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) do estado do RS e às licenças ambientais emitidas pela FEPAM, a fim de identificar em que municípios estão localizadas as unidades de blendagem, as unidades de coprocessamento e as centrais de recebimento e armazenamento temporário de resíduos classe I.

Após a análise dos dados, dois grupos de destino para coprocessamento foram formados: grupo I — dentro do estado do RS; e grupo II — fora do estado do RS. A partir desta subdivisão foi realizada a comparação e análise do volume coprocessado no estado do RS e do enviado para coprocessamento em outros estados. Para a quantificação dos dados da planilha SIGECORS foram considerados os resíduos expressos em quilogramas e toneladas no período de 2010 a 2017, sendo agrupados por tipo, por ano e por grupo, conforme critério supracitado.

#### b) Volume de blend gerado pelas unidades de blendagem do RS no período de 2013 a 2020

O volume de resíduos recebidos pelas unidades de blendagem foi determinado a partir dos dados fornecidos pelas empresas (2013-2020). Para fins de análise da evolução de resíduos destinados para coprocessamento foram utilizadas as informações da massa anual em toneladas.

#### c) Análise da composição dos resíduos destinados para coprocessamento no período de 2010 a 2017

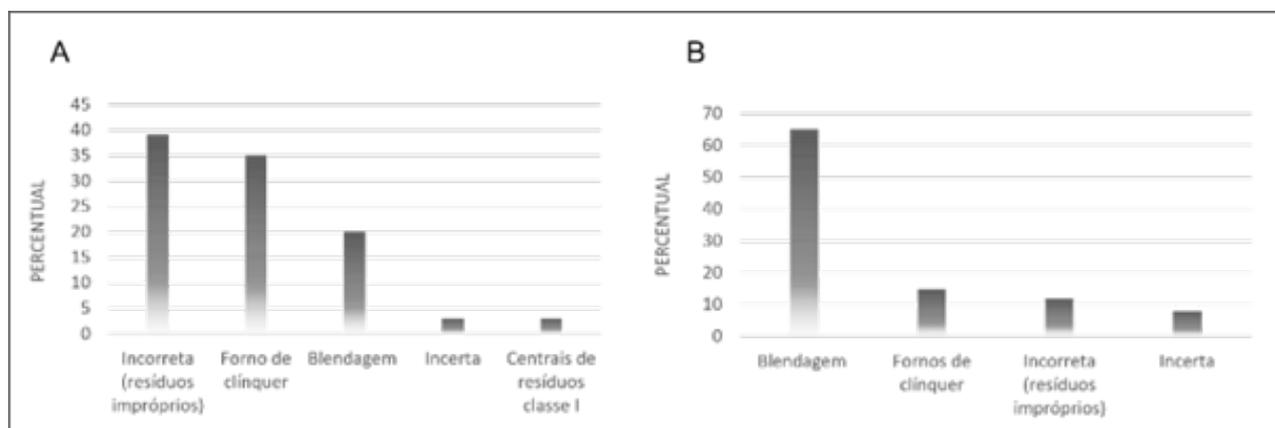
Os dados da composição dos resíduos destinados ao coprocessamento foram provenientes dos dados da planilha SIGECORS (2010-2017). A partir disso, foram identificados os principais tipos de resíduos enviados para coprocessamento de acordo com o volume correspondente.

## Resultados e Discussão

### Destinos para coprocessamento

A partir dos dados contidos na tabela SIGECORS, foi possível identificar os locais de destinação de RSI com características de inflamabilidade para coprocessamento informados no período analisado (2010-2017). Foram encontrados 74 municípios no grupo I (dentro do estado do RS) e 27 no grupo II (fora do estado do RS). A destinação para os municípios do grupo I totalizou 91.234,1 t, representando 66% do volume dos RSI declarados nas tabelas SIGECORS; para o grupo II o volume total foi de 47.754,534 t, representando 34%. Após avaliação do volume declarado nos Grupos I e II, foi possível segregar o montante de resíduos inseridos na planilha SIGECORS de acordo com a destinação, conforme apresentado na Figura 1.

**Figura 1 - Percentual de destinação de resíduos enviados para coprocessamento: A) Grupo I — no estado; B) Grupo II — fora do estado.**



Fonte: Autores, 2022.

No grupo I, apresentado na figura 1A, observou-se que 35% do volume de RSI foi destinado diretamente para fornos de clínquer no município de Candiota, e 20% apresentava como destino a unidade de blendagem no município de Nova Santa Rita, sendo coprocessados posteriormente. Entre as localidades de destino informadas e que possuem centrais de recebimento e destinação de RSI Classe I, 14 municípios receberam mais de 2,3 mil toneladas de resíduos com características de inflamabilidade no período avaliado (3% do total): Capela de Santana, Novo Hamburgo, Santa Cruz do Sul, Lajeado, Pinto Bandeira, Três Coroas, Campo Bom, Igrejinha, Triunfo, Estância Velha, Gravataí, São Sebastião do Caí, Cruzeiro do Sul e Dois Irmãos. Os demais municípios informados, cujo volume destinado corresponde a 3% do total, não possuem centrais de recebimento de resíduos e unidades de blendagem, e a destinação de RSI para estes locais é incerta.

É importante enfatizar que 39% dos resíduos lançados na planilha como destinados para coprocessamento tiveram sua destinação classificada incorretamente, visto que esses resíduos não estão contemplados em legislações que permitam sua queima. Estes resíduos incluem lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias, sucata metálica, resíduo de vidro, resíduo orgânico de processo, resíduo orgânico animal e vegetal, e resíduos do serviço de saúde. Este achado evidencia que a autodeclaração torna o preenchimento da planilha SIGECORS muito flexível, o que pode ocasionar erros de lançamento. Apesar disso, é provável que esses resíduos não tenham sido coprocessados, visto que nas cimenteiras há uma fiscalização rigorosa dos materiais recebidos, devido à necessidade de controle operacional dos fornos para a manutenção da temperatura e completa destruição dos resíduos, o que evita a geração de emissões danosas. Um estudo prévio, que avaliou os RSI gerados na Serra Gaúcha nos anos de 2014 e 2015, encontrou o mesmo problema, visto que não foi possível determinar a destinação final de mais de 50% dos resíduos devido a falhas de preenchimento da planilha SIGECORS (ZANATTA, 2020). O incorreto preenchimento da planilha pode ter sido ocasionada pelo descaso dos usuários, e evidencia um risco ambiental decorrente do desconhecimento da destinação desses resíduos. Além disso, exemplifica a fragilidade dos sistemas autodeclaratórios, como a Licença Ambiental por Compromisso — LAC que foi instituída no RS em 2021 pela Resolução CONSEMA 455.

A falta de dados confiáveis pode ter sido um dos fatores que levaram à descontinuidade do SIGECORS, a partir do segundo trimestre de 2022, visto que o processo de acompanhamento da destinação final de resíduos sofreu importantes alterações no RS a partir da criação do MTR (Manifesto de Transporte de Resíduos) *online*. O MTR *online* garante a rastreabilidade dos resíduos desde a geração até a destinação final, já que toda movimentação no estado deverá ser declarada no sistema, devendo o gerador, o transportador e o destinador atestarem, sucessivamente, a efetivação do embarque, do transporte e do recebimento de resíduos, substituindo o SIGECORS no controle e monitoramento dos resíduos gerados, assegurando maior confiabilidade nas informações declaradas, além da emissão de certificado de destinação final (FEPAM, 2018).

Embora importante parcela dos resíduos lançados na planilha não possuam características para coprocessamento, há vários estudos que atestam a viabilidade para coprocessamento de resíduos orgânicos (TORRES, LANGE; 2021), perigosos diversos (XU; JIANG E SHI, 2022), não perigosos diversos (WEBER *et al.*; 2020), cerâmicos (ALSAIF, 2021), entre outros. No Brasil, a indústria cimenteira utiliza, desde 2019, o CDRU — Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos, nos estados de São Paulo e Paraíba, tornando-se uma alternativa promissora para esse tipo de resíduo, o que evita a destinação inadequada ABCP (2021). Entretanto, para que haja coprocessamento de novos tipos de resíduos, são necessários estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental e aprovação do órgão ambiental competente.

Para o Grupo II (figura 1B), observou-se que 65% dos resíduos foram enviados inicialmente para a unidade de blendagem em Farroupilha e, após a preparação do *blend*, foram enviados para coprocessamento em outros estados. Os municípios declarados no grupo II que possuem atividade licenciada para fabricação de cimento e coprocessamento de resíduos classe I e II foram: Balsa Nova/PR, Cezarina/GO, Rio Branco do Sul/PR, Vidal Ramos/SC e Pedro Leopoldo/MG, representando 15% do volume total de resíduos declarados. No entanto, de acordo com Nascimento (2018), antes do envio para coprocessamento, os resíduos deveriam ter sido encaminhados para unidades de blendagem, a fim de obter as características e composições físico-químicas exigidas pelas cimenteiras, o que denota que as informações autodeclaratórias lançadas nas planilhas não garantem que a destinação ocorreu de fato, ou também, que não ocorreu de forma diferente da lançada no sistema.

Para os demais municípios indicados, que correspondem a 8% do volume total, não foi possível identificar destinações licenciadas para a atividade. Supõe-se que os resíduos tenham sido enviados a aterros e centrais

de recebimento de resíduos classe I e II, visto que não há impedimento na disposição de resíduos com características de inflamabilidade em outros estados. Os resíduos impróprios para coprocessamento correspondem a 12% do volume total do grupo II, e da mesma forma que no grupo I, demonstra a flexibilidade no lançamento dos dados nas planilhas SIGECORS. Entre os municípios informados nas planilhas SIGECORS, Farroupilha e Nova Santa Rita são os únicos que possuem unidades de produção de *blend* para coprocessamento, e juntos totalizaram 49.271,64 t de resíduos, o que representa um percentual de 35% do volume total dos resíduos declarados nas planilhas SIGECORS no período de 2010 a 2017.

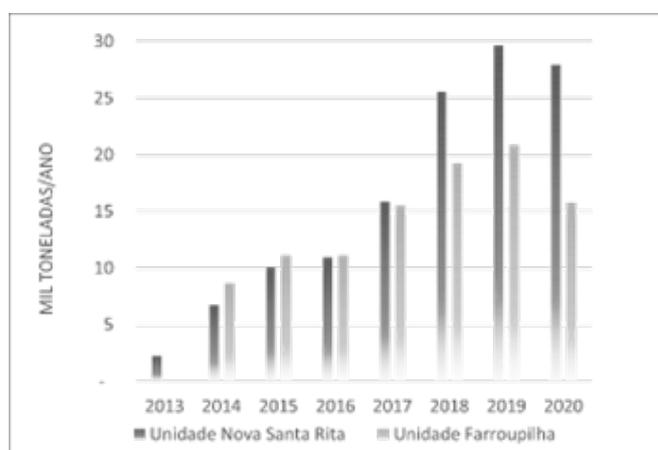
A partir dos dados, foi possível verificar que a parcela de resíduos destinados incorretamente para coprocessamento é alto, porém não é a maioria, evidenciando que, mesmo constatada a fragilidade do sistema em aceitar as informações de resíduos impróprios para o coprocessamento e destinações desconhecidas, a maior parcela de resíduos com características de inflamabilidade está sendo destinada adequadamente. Entretanto, as unidades de preparação do *blend* confirmam que, embora seja realizada uma análise preliminar da amostra do gerador na negociação, ainda são encaminhados resíduos impróprios para coprocessamento, sendo necessária a emissão de não conformidade e a devolução da carga. No entanto, apesar da triagem realizada, pequenos resíduos metálicos misturados aos demais causam danos aos equipamentos e custos com manutenção.

### Volumes de *blend* produzido pelas unidades de pré-tratamento no período de 2013 a 2020

A partir dos dados informados pelas duas unidades de blendagem, foi obtido o volume de *blend* produzido no período desde a sua implantação no estado (2013) até o ano de 2020, que totalizou 231.479,32 t, conforme observado na Figura 2.

Nos anos anteriores à instalação das unidades de blendagem no RS, a destinação de resíduos para a atividade de coprocessamento era muito pequena, e só pôde ser avaliada através de dados da planilha SIGECORS. O montante equivale a 2.526,89 t foi enviado para unidades de fora do estado, enquanto resíduos de borracha tiveram como destino o município de Candiota/RS. A partir de 2013, com a instalação da unidade de blendagem em Nova Santa Rita, houve um aumento importante no envio de resíduos para coprocessamento, sendo mais significativo a partir de 2014, com a instalação da unidade de blendagem em Farroupilha. Entretanto, o fator determinante para o substancial aumento de resíduos destinados para coprocessamento foi a obtenção da licença de operação (LO) do forno de clínquer de Candiota/RS em 2014, quando foi concedida autorização para a atividade de coprocessamento de *blend* de resíduos industriais, e a unidade passou a receber e coprocessar o *blend* produzido pela unidade de blendagem localizada em Nova Santa Rita/RS, conforme contrato de exclusividade.

**Figura 2** — Evolução do volume de *blend* produzido em toneladas/ano destinadas ao coprocessamento pelas unidades de blendagem.



Fonte: Autores, 2022.

Conforme observado na Figura 2, a tendência é de aumento anual do volume de resíduos enviados para

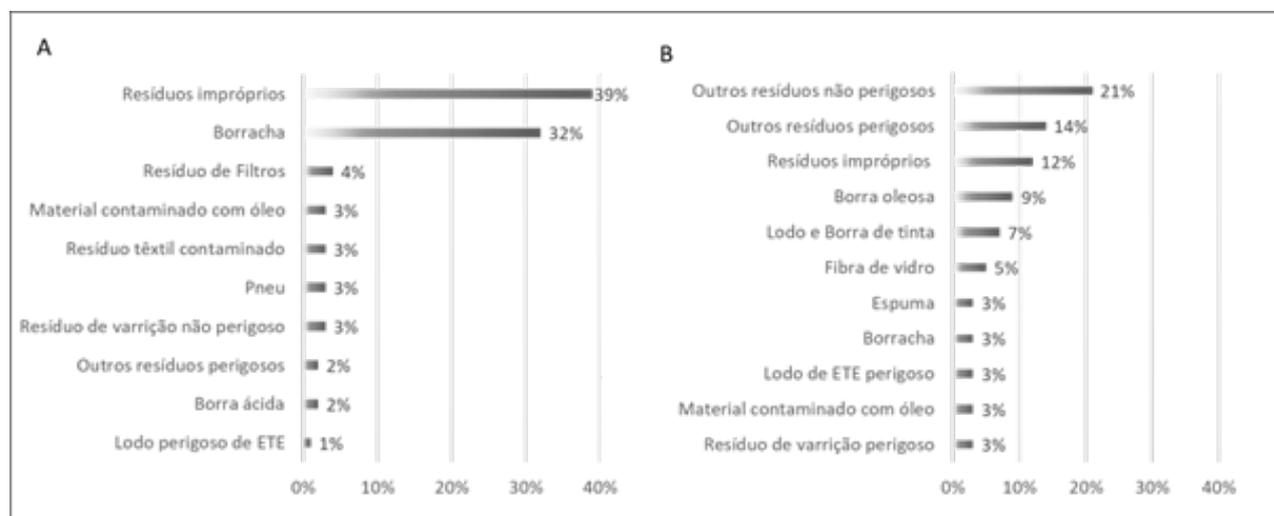
blendagem e coprocessamento no RS, tendo em vista a Portaria 16/2010 e o maior controle e fiscalização após a implementação do MTR *online*. De acordo com dados da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2021), a busca pelo coprocessamento de resíduos aumentou consideravelmente no Brasil a partir de 2006, e em 20 anos de atividade já foram coprocessadas mais de 20 milhões de toneladas de resíduos, que deixaram de ser aterrados e foram transformados em energia. Ainda assim, essa atividade representa apenas 9% da matriz de combustíveis utilizados na indústria do cimento (SNIC, 2021), muito abaixo dos países desenvolvidos como a Alemanha, que coprocessa em média 3 milhões de toneladas de resíduos anualmente em cimenteiras (WEBER *et al.*; 2020).

O coprocessamento na indústria cimenteira oferece muitas vantagens, e entre elas está a redução da emissão de gases do efeito estufa. A produção de cimento libera grande quantidade de CO<sub>2</sub> a partir da descarboxilação da matéria-prima e da queima de combustíveis fósseis, sendo que esta última pode contribuir com 50% do montante de carbono liberado — uma tonelada de clínquer processada pode gerar até 1,2 toneladas de CO<sub>2</sub> (ROVIRA *et al.*, 2021). O uso de proporções de *blends* de resíduos juntamente com o coque de petróleo (principal fonte de energia não renovável utilizada na atividade) pode levar a uma redução da geração de gases do efeito estufa (TSILIGIANNIS; TSILYANNIS, 2021). Desta forma, os combustíveis alternativos oriundos de resíduos têm sido amplamente utilizados na produção de cimento, o que leva à eliminação definitiva de resíduos perigosos e passivos ambientais, redução de emissão dos gases de efeito estufa, entre outros benefícios (WEBER *et al.*; 2020).

### Composições dos resíduos destinados ao coprocessamento no período de 2010 a 2017

A Figura 3 apresenta a composição percentual de resíduos destinados ao coprocessamento no estado do RS (Fig. 3A) e fora do estado (Fig.3B).

**Figura 3** — Composição percentual do total de resíduos destinados ao coprocessamento entre 2010 e 2017 (A) dentro do estado; (B) fora do estado.



Fonte: Autores, 2022.

No RS, a maior parcela de resíduos destinados para coprocessamento é imprópria (Fig. 3A) para a execução do método (39%). Dos resíduos aceitáveis, a borracha, classificada de acordo com a ABNT 10.004:2004 como resíduo de classe II, representa 32% do total. A borracha pode ser destinada diretamente para as cimenteiras, desde que autorizadas a recebê-la, ou enviada às unidades de blendagem para serem processadas junto aos demais resíduos. Os pneus possuem alto poder calorífico, e de acordo com a ABCP (2021), em 2020 foram coprocessados aproximadamente 64 milhões de pneus inservíveis no Brasil, sendo um dos principais resíduos utilizados como substitutos de combustíveis fósseis na produção de cimento no país, enquanto no RS eles representam apenas 3% do montante total de resíduos destinados para coprocessamento (Fig. 3A). A

justificativa para o baixo percentual de pneus, pode ter sido o lançamento dos mesmos como borracha na planilha SIGECORS, ou ainda, atividades que geram pneus inservíveis, podem estar entregando em um dos 122 pontos de coleta distribuídos pelo estado numa parceria da Reciclanip com prefeituras e empresas privadas e, por consequência, não estão declarados (RECICLANIP, 2020).

Dos resíduos destinados para coprocessamento em outros estados (Fig. 3B), uma parcela importante foi lançada de forma generalista como “outros resíduos não perigosos sem especificações” (21% do total) e “outros resíduos” (14% do total). Dos resíduos especificados, predominou a borra oleosa, lodo e borra de tinta, além dos resíduos impróprios para coprocessamento.

Considerando somente os resíduos com características de inflamabilidade destinados para blendagem e coprocessamento declarados nas planilhas do SIGECORS, foi possível observar que no RS, 41% do montante é de resíduos classe II, com destaque para a borracha, e 20% é de resíduos classe I com características de inflamabilidade (material contaminado com óleo, resíduo têxtil contaminado, resíduo de filtro de óleo, outros resíduos perigosos, entre outros). Por outro lado, do montante enviado para outros estados, 47% são resíduos de classe I e 41% Classe II. É importante salientar que, independente da composição declarada, todos os resíduos passam pela análise da amostra antes do aceite pelas unidades de blendagem. Desta forma, os volumes declarados nas planilhas SIGECORS representam apenas o montante enviado para as empresas, e não o volume final blendado.

### Substitutos de combustíveis fósseis e matérias-primas coprocessadas no forno de clínquer em Candiota/RS em 2017

A partir dos dados fornecidos pela unidade de coprocessamento de Candiota, verificou-se que, no ano de 2017, os resíduos de biomassa representaram 62% (19.081 t) do montante total de substitutos de combustíveis fósseis, seguidos de pneus inservíveis (24% do total, representando 7.510 t) e do *blend* de resíduos (representando 14% ou 4.417 t). Segundo a cimenteira, a utilização desses resíduos substituiu no ano de 2017, cerca de 15.584,45 t de combustível fóssil que seriam utilizados na produção de cimento. De acordo com a ABCP (2021), estima-se que os resíduos alternativos e biomassas representam 30% do poder calorífico utilizado na produção de clínquer, e que os combustíveis fósseis predominam com 70% ou mais.

Em relação ao total de resíduos coprocessados em 2017 pela cimenteira, os combustíveis alternativos representaram 87% (31.008 t) e as matérias-primas alternativas como a carepa de ferro representaram 13% (4.590 t).

No cenário nacional de 2020, os pneus inservíveis se destacaram com 52,12%, seguido do *blend* com 39,58% e CDRU com 2,75% e outros com 5,55%. Segundo a ABCP (2021), as projeções são para maior utilização de resíduos sólidos urbanos no país, já coprocessados desde 2019, e lodos de estações de tratamento de efluentes, que demandam de novas regulações e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental.

O uso prioritário de resíduos provenientes da atividade agrícola (biomassa) no RS difere do cenário nacional e se justifica pelo fato de que a cimenteira está localizada em uma região com grande densidade de beneficiadores de arroz, o que aumenta a oferta de casca que possui bom poder calorífico inferior (PCI), de cerca de 2.700 kcal/kg, e alto teor de sílica gerando economia no frete (SELLITTO *et al.*, 2013). Além disso, os resíduos de casca de arroz e pneus são utilizados na cimenteira desde 2003, ou seja, a logística está consolidada há mais tempo se comparada a utilização de outros resíduos, tendo a vantagem de não necessitarem de beneficiamento e mistura preliminar devido ao seu alto poder calorífico. O *blend* de resíduos industriais foi utilizado em menor quantidade quando comparado à biomassa e pneus devido ao fato de o forno possuir capacidade limitada de utilização, além do envio do volume excedente para outros estados a partir de 2016.

Em relação às matérias-primas alternativas, observa-se que a cimenteira utilizou somente a carepa de ferro (4.590 t) oriunda da indústria siderúrgica em 2017, demandando mais estudos sobre a possibilidade de utilização de outros resíduos, como solo contaminado, areia de fundição, gesso, cinzas, entre outros já utilizados em fornos no país, contribuindo para o aumento da vida útil das jazidas e reduzindo o impacto.

## Conclusões

A partir da análise dos dados coletados das planilhas SIGECORS, foi possível caracterizar o cenário de destinação de resíduos industriais para coprocessamento no RS. Desde a restrição estabelecida pela Portaria FEPAM nº 16 em 2010 até o ano 2020, foi observada a eliminação de passivo ambiental na ordem de 231 mil toneladas de resíduos industriais no estado, com a destruição definitiva através do coprocessamento, contribuindo positivamente com o fim da responsabilidade do produtor/gerador, além de aumentar a vida útil dos aterros e gerar economia de combustíveis fósseis.

Os dados também indicam que os resíduos classe I foram os mais destinados para o coprocessamento no período avaliado, especialmente devido à proibição de disposição desta classe de resíduos em aterros industriais, bem como devido ao seu alto poder calorífico. Também foi possível verificar que, apenas em 2017, a cimenteira que coprocessa *blend* de resíduos industriais classe I e II economizou cerca de 15.584,45 toneladas de combustíveis fósseis através da utilização de combustíveis alternativos, como *blend* de resíduos industriais, pneus e biomassa, o que gera redução do custo de produção e contribuição para a gestão ambiental desses resíduos.

O alto volume de resíduos impróprios para coprocessamento lançados no sistema demonstra a flexibilidade no preenchimento das informações nas planilhas do SIGECORS e falta de padronização, o que dificulta a interpretação dos dados e torna o rastreamento da destinação dos resíduos uma tarefa difícil. Para futuras pesquisas recomenda-se a utilização dos dados do MTR *online*, permitindo um estudo mais complexo e com informações confiáveis sobre a geração, transporte e destinação final de resíduos para coprocessamento.

Diante do contexto, observa-se que a técnica de coprocessamento proporciona redução dos impactos ambientais, ganhos financeiros e produtivos, além de maior eficiência no gerenciamento de resíduos. Entretanto, é importante que sejam realizados mais estudos relacionados à queima de outros tipos de resíduos, levando em consideração as melhores condições técnicas e os efeitos ambientais e sociais das emissões atmosféricas na saúde dos trabalhadores e comunidades do entorno da cimenteira.

## Referências

ALSAIF, A. Utilization of ceramic waste as partially cement substitute – A review. **Construction and Building Materials**, 300, 124009, 2021.

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Panorama do Coprocessamento Brasil 2021**. Ano Base 2020. Disponível em: [https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Panorama\\_Coprocessamento\\_2021\\_Ano\\_Base\\_2020.pdf](https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Panorama_Coprocessamento_2021_Ano_Base_2020.pdf). Acesso em 13 nov. 2022.

BRASIL. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007\\_2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007_2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 09 jun. 2022.

CONSEMA. CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 372/2018. Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes>. Acesso: 02 jun. 2022.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 455/2021**. Estabelece procedimentos e critérios para a emissão de Licença Ambiental por Compromisso - LAC, para as atividades passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes>. Acesso em: 23 nov.2022.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Licenciamento Ambiental** – consultas genéricas. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/AreaI/default.asp>. Acesso: jun. 2022.

\_\_\_\_ **Portaria nº 016, de 20 de abril de 2010.** Dispõe sobre o controle da disposição final de resíduos Classe I com características de inflamabilidade no solo, em sistemas de destinação final de resíduos denominados “aterro de resíduos classe I” e “central de recebimento e destinação de resíduos classe I”, no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul. Publicada no DOE em 26/04/2010.

\_\_\_\_ **Portaria Fepam nº 087 29 de outubro de 2018.** (Alterada pela Portaria FEPAM nº 12/2020). Aprova o Sistema de Manifesto de Transporte de Resíduos – Sistema MTR Online e dispõe sobre a obrigatoriedade de utilização do Sistema no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Publicada no Diário Oficial do Estado em 23/01/2020.

NASCIMENTO, C. Y. L. **Blendagem de resíduos.** 2018. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/blendagem-de-res%C3%ADduos-carlos-yuri-le%C3%A3o-do-nascimento>. Acesso em: 09 jun.2022.

RECICLANIP. **Pontos de Coleta 2020.** Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/pontos-de-coleta/coleta-no-brasil/>. Acesso em: 05 abr. 2023.

ROVIRA, J.; MARI, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J. Environmental levels and human health risks of metals and PCDD/Fs near cement plants coprocessing alternative fuels in Catalonia, NE Spain: a mini-review. **Journal of Environmental Science and Health**, 2021.

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

SNIC. SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Coprocessamento.** Disponível em: <http://snic.org.br/sustentabilidade-coprocessamento>. Php. Acesso em: 23 mai. 2022.

SINIR. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. SINIR. **Inventário.** <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>. Acesso em: 24 mai. 2022.

TORRES, V. A.; LANGE, L. C. Rotas tecnológicas, desafios e potencial para valoração energética de resíduo sólido urbano por coprocessamento no Brasil. **Eng. Sanit Ambient**, v.27, n.1, 25-30, 2022.

TSILIGIANNIS, A.; TSILYANNIS, C. Oil refinery sludge and renewable fuel blends as energy sources for the cement industry. **Renewable Energy**, v 157, p 55-70, 2020.

WEBER, K.; QUICKER, P.; ANEWINKEL, J.; LAMMEAND, S. Status of waste-to-energy in Germany, Part I – Waste treatment facilities. **Waste Management & Research**, v 38(1) Supplement 23–44, 2020

XU, J.; JIANG, J.; SHI, Y. An innovative optimization model for sustainable hazardous waste reverse logistics network considering co-processing in cement kilns technology. **Process Safety and Environmental Protection**, v 163, p 167–190, 2022.

ZANATTA, F. et al. Resíduo sólido industrial na Serra Gaúcha: Geração, tipologia e destinação. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 32805-32821, 2020.