

O COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO VIGENTE E DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Mariana Cristina de Araceli Mendes (EG), Rogério José da Silva (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Aproveitamento Energético. Gestão de Resíduos. Emissões. Poluentes.

Introdução

O coprocessamento é uma das alternativas para se destinar vários tipos de resíduos industriais, urbanos e agrícolas gerados, tendo como objetivo a recuperação da energia contida nesses materiais ao serem queimados, gerando energia e reduzindo a quantidade de rejeitos em aterros sanitários e industriais (BELATO, 2013). O crescimento populacional ocasiona o aumento na geração de resíduos sólidos e demanda, cada vez mais, alternativas sustentáveis para sua destinação. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos de 2022 foram gerados no Brasil cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos domiciliares, das quais 76 milhões de toneladas foram coletadas e aproximadamente 33,3 milhões de tiveram destinação inadequada em 2022.

Em fábricas de cimento os resíduos industriais de alto poder calorífico têm sido co-processados, reduzindo a necessidade de se queimar combustíveis fósseis para a fabricação de clínquer. De acordo com o Sindicato Nacional do Cimento - SNIC - entre os anos de 2000 a 2020 a indústria cimenteira aumentou o uso de combustíveis alternativos em sua matriz energética de 9% para 26%. Em 2022, foram co-processadas pouco mais de 3 milhões de toneladas de resíduos, das quais 2,856 milhões de toneladas corresponderam a combustíveis alternativos e biomassas, e 179 mil toneladas a matérias-primas alternativas (Panorama do Coprocessamento, 2023).

Contudo, o setor é considerado um dos maiores emissores industriais de GEE, com emissões que são inerentes ao seu processo produtivo. Com a tecnologia de coprocessamento, busca-se reduzir as emissões de CO₂ por meio da utilização de diferentes tipos de resíduos. A mais recente inovação é a adoção do CDRU (Combustível Derivado de Resíduos Urbanos) como substituto do coque de petróleo, que é o combustível mais comum no processo de fabricação de cimento. Além do benefício ambiental, as indústrias buscam também economia financeira reduzindo gastos com a compra de

combustíveis fósseis, pois a longo prazo, a substituição deles por resíduos é mais barata.

O objetivo dessa pesquisa foi revisar a legislação específica no Brasil, os produtos utilizados como substitutos e as tecnologias disponíveis para implementar soluções sustentáveis, que deve seguir as normas para garantir a eficiência e a segurança.

Metodologia

Esse trabalho foi realizado com base em pesquisas bibliográficas em artigos, notícias, documentos institucionais, publicações oficiais e normativas que discutiam a atividade de coprocessamento de resíduos industriais e urbanos em fornos rotativos na produção de cimento. Foi analisada a legislação acerca da atividade, os resíduos passíveis de serem utilizados e o cenário emissor, bem como outras informações relevantes ao tema. Através dessas referências foi possível entender as questões ambientais ligadas a utilização de resíduos na produção de cimento e como as indústrias vem tentando substituir a utilização de combustíveis fósseis.

Resultados e discussão

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, em seu artigo 9º permite a utilização de tecnologias para a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que se comprove a viabilidade técnica e ambiental e que haja um programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão Ambiental.

Atualmente, a legislação que regulamenta a atividade de coprocessamento é a Resolução CONAMA 499, de 6 de outubro de 2020. A legislação define procedimentos e critérios para o processo de coprocessamento e prevê limites máximos de emissão atmosférica de poluentes (Figura 1). Então, para que o licenciamento ambiental seja concedido, são requeridos os estudos técnicos que dizem respeito à fábrica de cimento e aos resíduos que

eles desejam utilizar. Dentro desses estudos técnicos são realizados os testes de emissões dos fornos para verificar se estão dentro dos limites máximos de emissão.

A resolução CONAMA não traz limites máximos de emissões para o monóxido de carbono. Já a deliberação normativa COPAM nº 154, de 25 de agosto de 2010, que é o órgão ambiental estadual de Minas Gerais, por sua vez, estabelece que o padrão de emissão para CO é de 100 ppm.

Em relação às normas, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 17.100-1, inclui o coprocessamento em fornos de cimento como uma tecnologia de destinação de resíduos e diz que, caso o resíduo seja destinado para uso como insumo ou matéria-prima, é essencial que os requisitos e especificações para a avaliação desse material sejam observados, garantindo a proteção ao meio ambiente e à saúde pública (ABNT, 2023). E a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo tem publicada a norma técnica “Procedimento para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer” contendo um suporte técnico para o licenciamento dessas atividades.

No co-processamento de resíduos em indústrias cimenteiras, a matéria-prima e o combustível secundário desempenham papéis distintos. Matéria prima são aqueles materiais utilizados para formar o clínquer, que é a base do cimento. Para o cimento Portland, os principais constituintes são calcário, argila, óxidos de ferro e alumínio e areia (BELATO, 2013). Portanto, podemos usar resíduos como substitutos dessas matérias-primas, como escórias de siderurgia ou cinzas volantes. Também há os resíduos que são utilizados para gerar a energia térmica. Tradicionalmente, combustíveis fósseis, como carvão, coque de petróleo e gás natural (SIGNORETTI, 2008), são usados para fornecer essa energia. No entanto, o co-processamento permite o uso de combustíveis alternativos ou secundários, que podem ser vistos na figura 1. Isso reduz a dependência de combustíveis fósseis e contribui para a gestão de resíduos de forma sustentável.

Os resíduos ideais para serem utilizados como combustíveis alternativos são aqueles que tenham um poder calorífico parecido com o de combustíveis fósseis tradicionais. Os pneus inservíveis são uma boa alternativa pois seu poder calorífico normalmente se apresenta superior ao do carvão (BELATO, 2013).

Para substituir a matéria-prima tradicional do cimento, o resíduo deve ter composição química semelhante, garantindo a qualidade do produto final. Caso o poder calorífico seja baixo ou não tenha semelhança química com a matéria química, o processo só estará sendo uma forma de destinação final para o resíduo, sem substituição térmica (BELATO, 2013).

Figura 1 – Tabela dos tipos de resíduos usados como combustível secundário

Biomassa	Resíduos industriais	Outros resíduos
Resíduos de madeira, serragem, papel e papelão	Pneumáticos usados	Solo contaminado
Lodo de ETE	Borras oleosas, graxas, tintas e solventes	Resíduos sólidos urbanos
Resíduo de cana de açúcar e grãos vencidos	Plásticos e borrachas	
Carcças de animais	Moinha de carbono	

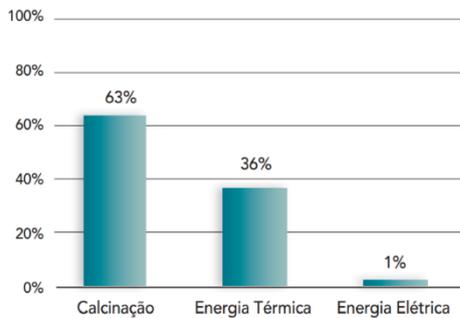
Fonte: Adaptado de Belato (2013), SNIC (2012).

A resolução CONAMA nº 264 previa que os resíduos domiciliares brutos, de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados e os agrotóxicos não poderiam ser co-processados na produção de clínquer. Com a sua revogação e a publicação da resolução CONAMA nº 499, a lei continua não se aplicando a resíduos radioativos, explosivos e de serviços de saúde, exceto em casos específicos. Já os resíduos sólidos urbanos, comerciais e de serviços públicos de saneamento agora podem ser destinados ao coprocessamento, desde que passem por triagem, classificação ou tratamento prévio. Apesar da legislação existente acerca do coprocessamento de resíduos em fornos rotativos, há falhas que precisam ser revistas, bem como a intensificação da fiscalização e do controle dessas atividades (ROCHA et al., 2011). Alguns dos principais poluentes formados nas fábricas de cimento são os óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, metais pesados, dióxido de carbono (RAMOS, 2015) e material particulado. Essa indústria é responsável por cerca de 5% do total de emissões de CO₂ por fontes antrópicas, em nível mundial (WBCSD, 2010). A maior parte das emissões de carbono é resultante do consumo de energia térmica para queima de combustíveis e na etapa de calcinação, mas também há o consumo de energia elétrica em algumas etapas do processo de produção do cimento (ver figura 2).

A estabilidade no processo de queima e nas características químicas dos materiais é crucial para evitar a emissão de substâncias tóxicas, como dioxinas e furanos (JÚNIOR E BRAGA, 2005), que são muito tóxicas e cancerígenas, segundo o Programa Nacional de Toxicologia dos EUA e podem causar problemas de saúde como transtornos imunológicos, endócrinos e reprodutivos (JÚNIOR E BRAGA, 2005). Essas substâncias podem ser geradas em diversas operações de combustão, incluindo incineradores de resíduos,

queimadas ao ar livre e veículos (BERTOLINO, 2024).

Figura 2. Emissões de CO₂ na produção de cimento



Fonte: Adaptado de Roadmap tecnológico do cimento. Dados: CSI; SNIC, (2014)

Ainda, o perigo no coprocessamento não se limita à emissão de poluentes, mas também inclui a exposição dos trabalhadores aos resíduos ao longo de toda a cadeia produtiva. Além da procedência dos resíduos, conhecer a constituição deles também é crucial. Pneus inservíveis são amplamente utilizados como combustível alternativo em fornos de clínquer, com 68 milhões de unidades aproveitadas em 2022 (Agência Estado, 2023). Apesar do seu uso como combustível alternativo na produção de cimento ajudar a reduzir esse passivo ambiental, a presença de enxofre na borracha dos pneus representa um desafio (ROCHA et al., 2011). Da mesma forma o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) brutos apresenta-se desafiador devido ao seu alto teor de umidade, o baixo poder calorífico, a composição variável e a presença de potenciais contaminantes (TORRES e LANGE, 2021). A resolução CONAMA n° 499 proíbe o coprocessamento de RSU bruto, exigindo a triagem ou o tratamento. Mesmo assim, o poder calorífico do RSU triado, seco e com 20% de umidade é inferior ao de outros combustíveis, como carvão e pneus (figura 3).

Apesar da preocupação popular a respeito da queima de resíduos nas indústrias de cimento ser uma das principais limitações para a atividade é importante perceber que a PNRS foi implantada há mais de 10 anos mas a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é precária até hoje. Em 2022, mais de 30 milhões de toneladas de RSU foram descartadas inadequadamente, segundo a ABREMA. E o coprocessamento é considerado uma alternativa viável com resultados positivos mas deve ser implementado com cautela, respeitando as legislações e evitando corrupção nos órgãos ambientais, para proteger a saúde e o meio ambiente.

Figura 3 - Tabela de comparação do poder calorífico inferior de alguns materiais

Comparação de PCI		
Autor fonte do dado	Material	PCI [KJ.kg-1]
SIGNORETTI, 2008	Carvão Mineral	27792
SIGNORETTI, 2008	Madeira	19200
TORRES e LANGE, 2021	RSU bruto	12100
TORRES e LANGE, 2021	RSU triado, seco, com retirada de inertes e 20% de umidade	15300
Lagarinhos e Tenório (2008)	Pneu	32100

Fonte: elaboração própria.

Em seu estudo sobre a geração de poluentes na produção de cimento Portland, Belato (2013) utilizou raspas de pneu no coprocessamento como componente do blend de combustíveis. Ela analisou, então, de forma estequiométrica, a emissão de SO₂ e CO₂. Belato (2013) apresentou que a emissão de dióxido de enxofre aumentou nas amostras com maior porcentagem de pneu, mas que era um aumento baixo em relação à porcentagem de raspas nas amostras. Sendo assim, para esse caso, o uso do blend torna-se uma solução para que as raspas de pneu possam ser inseridas no coprocessamento sem ultrapassar os padrões de emissão, já que a emissão ficou abaixo dos valores permitidos pela legislação comparada por ela (COPAM n° 154, CETESB P4236/03). Já em relação ao CO₂, quanto maior foi a taxa de substituição do carvão mineral por raspas de pneu, menor foi a formação de dióxido de carbono, pois o pneu tem uma menor taxa de carbono do que o carvão colombiano.

Como a atividade de coprocessamento já vem sendo utilizada há décadas no Brasil, a indústria já vem se inovando para reduzir as emissões de CO₂. De acordo com o Roadmap Tecnológico do Cimento, as indústrias nacionais apresentam um dos menores índices de emissão específica de dióxido de carbono no mundo.

Recentemente, a prefeitura de Curitiba firmou um acordo com o Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e cimenteiras da região (SANEAS, 2023), em que parte dos rejeitos gerados na cidade é transformado em Combustível Derivado de Resíduo Urbano (CDU). Então, o coprocessamento de resíduos sólidos, especialmente os resíduos sólidos urbanos (RSU), apresenta potencial significativo, dada a relevância da indústria de cimento, que é o segundo material mais consumido globalmente (FERNANDES, 2020). Em 2016, o Brasil se destacou como o sexto maior

produtor e o oitavo maior consumidor de cimento. Independente da utilização de resíduos ou não, como substitutos, a indústria continuará operando e emitindo gases de efeito estufa. Por isso a importância de incluir os resíduos no processo, pois aliados às tecnologias existentes que ajudam controlar as emissões de poluentes, e inovações que prometem tornar o coprocessamento mais eficiente, será possível mitigar impactos negativos e promovendo a circularidade na gestão de materiais.

Conclusões

O crescimento populacional tem intensificado a geração de resíduos sólidos, criando a necessidade urgente de alternativas sustentáveis para sua destinação. Nesse contexto, o coprocessamento se destaca como uma solução eficaz, permitindo a recuperação de energia a partir de resíduos, o que reduz a quantidade de rejeitos em aterros e diminui a dependência de combustíveis fósseis na indústria cimenteira.

Vimos que há uma ampla variedade de resíduos que podem ser utilizados como substitutos das matérias-primas do clínquer e como alternativas aos combustíveis tradicionais, como o uso de Combustível Derivado de Resíduos Urbanos.

Por fim, apesar de o setor ser um dos maiores emissores de gases de efeito estufa, inovações tecnológicas para o controle de emissões de poluentes são aliadas ao coprocessamento de resíduos, tornando o processo ainda mais seguro para o meio ambiente.

Agradecimentos

Agradecimentos a Universidade Federal de Itajubá pelo apoio e pelo ambiente acadêmico disponibilizados durante a realização desse estudo e ao FNDE pelo financiamento de bolsa do Programa de Educação Tutorial que possibilitou a realização desse trabalho.

Referências

ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17100-1: Gerenciamento de resíduos Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro. 2023.

Belato, Mariana Natale. Análise da geração de poluentes na produção de Cimento Portland com o coprocessamento de resíduos industriais / Mariana Natale Belato. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2013. 171 p. : il.

BERTOLINO, Marco Túlio. Risco de dioxinas e furanos nos alimentos. Food Safety Brazil. 2 de julho de 2024. 2 de julho de 2024. Acesso em 04 de outubro de 2024. Disponível em:

<[Brasil. Ministério do Meio Ambiente \(MMA\). Conselho Nacional do Meio Ambiente \(CONAMA\). Resolução CONAMA N° 499, de 06/10/2023. Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.](https://foodsafetybrazil.org/risco-de-dioxinas-e-furanos-nos-alimentos/#:~:text=Dioxinas%20e%20furanos%20s%C3%A3o%20duas,propriedades%20f%C3%ADsicas%20e%20qu%C3%ADmicas%20semelhantes.></p></div><div data-bbox=)

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Norma técnica. Procedimento para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer. P4 263. Dez/2003. 19p.

FERNANDES, William. Cimento: produção pode ser menos agressiva ao ambiente. Ministério da Educação - Notícias. 26 Ago. 2022. Acesso em 04 Out. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/noticias/cimento-producao-pode-ser-menos-agressiva-ao-ambiente>

JÚNIOR, Afrânio Gomes Pinto. BRAGA, Ana Maria Cheble Bahia. Trabalho e saúde: a atividade da queima de resíduos tóxicos em fornos de cimenteiras de Cantagalo, Rio de Janeiro. 2009.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Deliberação Normativa nº 154, de 25 de agosto de 2010. Dispõe sobre o Coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer.

Panorama do Coprocessamento 2023 (Ano base 2022). São Paulo, 2023. 20p.

PANORAMAS Setoriais: mudanças climáticas. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016. 71 p.

ROCHA, Sônia Denise Ferreira. LINS, Vanessa de Freitas Cunha. SANTO, Belinazir Costa do Espírito. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Eng Sanit Ambient. v.16 n.1. Jan/mar 2011. p. 1-10

SANEAS - Água e Saneamento. Curitiba transforma resíduos urbanos em fonte de energia para a indústria do cimento. 30 Ago. 2023. Disponível em: <https://www.saneasonline.com.br/noticias/curitiba-transforma-residuos-urbanos-em-fonte-de-energia-para-a-industria-do-cimento/#:~:text=O%20processo%2C%20chamado%20de%20coprocessamento,vezes%20superior%20%C3%A0%20do%20CO2.> Acesso em: 06 Set. 2024.

SIGNORETTI, Valdir Tesche. Controle das emissões de NOx, SOx e metais pesados quando se utilizam combustíveis alternativos e de alto teor de enxofre na indústria de cimento. Itajubá, MG, 2008. 232 p.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. Relatório anual 2022. São Paulo, SP.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. Cement Sustainability Initiative. Cement technology roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050. Paris, 2010.