

MAIRA NUNES FARIAS PORTUGAL

**COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
EM FORNOS ROTATIVOS DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER:
REGIME JURÍDICO, LOGÍSTICA REVERSA,
DESCARBONIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO LOCAL
SUSTENTÁVEL**



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO LOCAL
DOUTORADO
CAMPO GRANDE/ MS
2025**

MAIRA NUNES FARIAS PORTUGAL

**COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
EM FORNOS ROTATIVOS DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER:
REGIME JURÍDICO, LOGÍSTICA REVERSA,
DESCARBONIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO LOCAL
SUSTENTÁVEL**

Tese apresentada à Universidade Católica Dom Bosco, como requisito final para a obtenção do título de Doutora no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local, na área de concentração de Desenvolvimento Local em Contexto de Territorialidades. Sob orientação da Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa.



O presente trabalho foi realizado com o apoio da empresa SOLURB – Soluções Ambientais, por meio da concessão de bolsa de estudos para desenvolvimento de pesquisa de doutorado



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO LOCAL
DOUTORADO
CAMPO GRANDE/ MS**

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

(CIP) Bibliotecária Mourâmise de Moura Viana -

CRB-1 3360

P839c Portugal, Maira Nunes Farias

Coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer: regime jurídico, logística reversa, descarbonização, e desenvolvimento local sustentável/ Maira Nunes Farias Portugal sob orientação do Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa. -- Campo Grande, MS: 2025.

200 p.: il.

Tese (Doutorado em Desenvolvimento Local) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande-MS, 2025

Bibliografia: p. 173-182

1. Economia circular. 2. Direito ambiental. 3. Mitigação das Emissões de Gases Efeitos Estufa. 4. Desenvolvimento local I.Costa, Reginaldo Brito da. II. Título.

CDD: 628.44

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título: “Coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer: regime jurídico, logística reversa, descarbonização e Desenvolvimento Local sustentável”

Área de concentração: Desenvolvimento Local em Contexto de Territorialidades

Linha de Pesquisa: Políticas Públicas e Dinâmicas e de Inovação em Desenvolvimento Territorial

Tese submetida à Comissão Examinadora designada pelo Conselho do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local – Doutorado da Universidade Católica Dom Bosco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento Local.

Exame de Defesa aprovado em: 28/10/2025

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa
Universidade Católica Dom Bosco



Prof. Dr. Luciano Furtado Loubet
Ministério Público de Mato Grosso do Sul

Documento assinado digitalmente



MARIA CORETTE PASA

Data: 29/10/2025 12:08:05-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maria Corette Pasa
Universidade Federal do Mato Grosso



Prof. Dr. Denilson de Oliveira Guilherme
Universidade Católica Dom Bosco



Prof. Dr. Michel Constantino de Oliveira
Universidade Católica Dom Bosco

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, porque eu nunca imaginei, na minha vida, que um dia conseguiria fazer uma faculdade, muito menos uma pós-graduação, mestrado e doutorado. Sei que tudo isso é o favor de Deus sobre a minha vida. Foi Ele quem me deu sabedoria, quem me fortaleceu, quem colocou pessoas em meu caminho para que essa jornada pudesse ser cumprida.

E é por isso que, como forma de agradecimento, registro aqui os nomes das pessoas que fazem parte da minha trajetória acadêmica e profissional, reconhecendo que sem a graça de Deus, nada disso seria possível. A Ele, toda honra e toda glória.

À minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou com amor e dedicação.

Ao meu pai, Mário Roberto Serra Portugal, que um dia me disse: “Você vai estudar, você vai fazer uma faculdade.” E, na tradução do seu coração, eu sabia que ele não só estava se esforçando ao máximo para que eu chegasse lá, como também dizia silenciosamente: “Filha, você vai conseguir.” Sei o quanto você batalhou ao lado da minha mãe, Maristela Nunes Farias Portugal (in memoriam). O quanto vocês dois lutaram para que eu pudesse alcançar esse sonho. Juntos, vocês se abdicaram de tantas coisas para que um dia eu alcançasse o direito de dizer: nós vencemos.

Hoje, escrevo esses agradecimentos com os olhos cheios de lágrimas, porque passa um filme na minha cabeça, todas as dificuldades que enfrentamos. Mas o difícil é passageiro. Vocês plantaram em mim não apenas a coragem de correr atrás dos sonhos, mas também o sentimento de humildade, de respeito ao próximo e a certeza de que todo esforço vale a pena.

À minha tia Marli, tio José Antônio e tia Amélia, pelo apoio constante e amor incondicional, que sempre me sustentaram nos momentos mais difíceis.

Ao meu esposo, que acredita em mim, que esteve ao meu lado em todos os momentos, e aos meus filhos, Marina e Daniel, que, com paciência e compreensão, permitiram que eu me dedicasse aos estudos, entendendo que esse silêncio seria temporário e que juntos colheríamos os frutos desse esforço.

À minha sogra, Leonir Mesquita, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando de forma incansável e generosa, me ajudando em tudo o que fosse necessário. Seu carinho e disponibilidade foram fundamentais ao longo dessa caminhada.

Ao meu sogro, que também esteve presente, sempre contribuindo com carinho nos momentos mais desafiadores.

Às minhas irmãs, Mariely e Maiany, por sempre estarem ao meu lado.

Ao meu orientador, Professor Reginaldo, meu profundo agradecimento. O senhor não foi apenas orientador, mas um verdadeiro mentor. Obrigada pelo carinho, dedicação e paciência com que sempre me guiou, me corrigiu e me ensinou. Mesmo em domingos e feriados, esteve disponível para tirar dúvidas, incentivar e acreditar no meu potencial, desafiando-me a ir além. Foi ainda na época do mestrado, quando começamos a pesquisar juntos, que me apaixonei pela Logística Reversa. Desde então, essa pesquisa se tornou parte da minha trajetória acadêmica e profissional. Chegar até aqui só foi possível porque, um dia, o senhor me apresentou esse tema com sensibilidade, rigor científico e compromisso com a justiça socioambiental. Sua postura ética, verdadeira e generosa, que nunca mede esforços para fazer o melhor, inspira profundamente. Eu sou uma orientanda muito abençoada por ter o senhor ao meu lado

Ao meu mentor, Dr. Luciano Furtado Loubet, que sempre me orientou com sabedoria, me colocando em ambientes e oportunidades para aprender mais sobre a prática ambiental. Seus ensinamentos, tanto na teoria quanto na prática, foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao professor Michel Constantino, meu ex-chefe e amigo, por sua orientação e direção constantes, por acreditar no meu potencial e me guiar no caminho certo. Sua visão, desde o início do doutorado, possibilitou uma sólida parceria entre a Universidade e a empresa Solurb. Graças a essa colaboração, consegui alcançar minhas metas de estudo e pesquisa.

À Solurb, empresa que não apenas acreditou em meu projeto, mas também me concedeu uma bolsa de estudos essencial para a realização deste doutorado. O apoio da Solurb foi decisivo para que eu pudesse me dedicar integralmente à minha pesquisa e alcançar este marco na minha vida acadêmica. Em nome de Lucas Dolzan, que representa com grande empenho a Solurb, agradeço sinceramente pelo suporte financeiro e logístico, que possibilitou minha continuidade no doutorado e proporcionou a realização deste sonho.

À empresa Ecosuply, que tem se destacado pelo seu trabalho na área ambiental, agradeço pela sua contribuição indireta para minha formação e pelo exemplo de responsabilidade e inovação que oferecem no mercado.

À Intercement, pela sua parceria e pelo exemplo de sustentabilidade, que também serviu de inspiração durante minha pesquisa.

Às minhas queridas amigas e parceiras de corrida, Carol, Elaine, Thays, e Jordana, agradeço profundamente pela amizade verdadeira, pela parceria e pelo apoio incondicional.

Juntas, compartilhamos sonhos e metas, e a cada treino, encontramos uma forma de relaxar e colocar nossos projetos em movimento. As conversas, os treinos e os cafés que dividimos foram essenciais em minha jornada, e sou imensamente grata por ter todas vocês ao meu lado.

Aos meus queridos amigos, que são mais chegados que irmãos, Rubens (Bebeto), Taysa, Ana Paula e João, agradeço por estarem ao meu lado, vivendo e realizando mais este sonho comigo. Amo estar junto de vocês.

À Dra. Sandra Artioli e ao Professor Alex, que há mais de 15 anos foram duas das pessoas que me incentivaram na docência, me orientaram, me indicaram e estenderam oportunidades na minha vida que eu jamais poderia imaginar. Registro aqui minha eterna gratidão por acreditarem em mim desde o início.

À Professora Maria Augusta, uma mãe, uma professora, uma mulher forte. Tive a honra e a experiência de escrever um livro com a professora mais escritora que conheço na UCDB. Muito obrigada pela confiança e oportunidade.

Ao Dr. Wilson e à Dra. Katy Braun, que também fazem parte dessa caminhada. Vocês não apenas me acolheram profissionalmente, como também conheceram minha família, nossa história e nossos sonhos. Muitos anos atrás, abriram uma porta que mudou o rumo da minha vida ao me permitir aprender e vivenciar a advocacia na prática.

Às minhas amigas da pesquisa, Micaella e Adriana, presentes de Deus que encontrei ao longo dessa trajetória no Doutorado em Desenvolvimento Local, pela amizade e parceria nesta jornada.

À Bellit, pela dedicação e disponibilidade constante na Secretaria Acadêmica, sempre pronta para nos apoiar com atenção e eficiência.

À Selma, Selmi... Selma do meu coração. Você está comigo há mais de 10 anos, acompanha minha rotina, sente e vive de perto toda a correria que passo, e sempre está ali ao meu lado, ajudando com os afazeres em casa. Obrigada por cuidar da casa e das crianças. Você sabe que essa conquista também é sua. Sem o seu apoio no dia a dia, eu não teria conseguido escrever.

Como não lembrar da primeira oportunidade de estágio que tive, no ano de 2002? Renata, obrigada! Minha história com o Direito estava apenas começando. À Dona Bety e ao Seu Waldir, hoje olho para trás e vejo o quanto sou abençoada por ter conhecido pessoas tão especiais como vocês.

Aproveito também para lembrar com carinho do Professor Herbet, que um dia, no meu aniversário de 18 anos, compartilhou comigo a palavra de Eclesiastes 3:1 – “Tudo tem o seu tempo

determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu.” Por muitas vezes, essa palavra me fortaleceu e me fez lembrar que tudo acontece no tempo de Deus. Inclusive, no lançamento do livro *José Thomaz: Um libanês visionário*, eu a mencionei em meu discurso, porque ali também vi se cumprir uma promessa de Deus. Esse livro me fez recordar da caminhada, às vezes longa, às vezes curta, mas sempre dentro da perfeita vontade de Deus.

Também agradeço ao Dr. Job (in memoriam), e à sua família – Maristela, Juliana, Carol e Camila. O Dr. Job me ensinou a prática trabalhista com dedicação e generosidade. Quando passei na OAB, estudei e fiz a segunda fase em Direito do Trabalho, e fui aprovada com nota 9,0. Isso só foi possível porque ele me ensinou, acreditou em mim e me deu uma grande oportunidade. Os dois últimos anos da faculdade ao seu lado foram cruciais para meu aprendizado prático. Além disso, tive a honra de, por meio dele, conquistar uma valiosa oportunidade de estágio no Banco do Brasil, onde vivi experiências que marcaram profundamente minha formação e ampliaram minha visão profissional. À família Cesco Brandão, o meu carinho e agradecimento: vocês são especiais.

À minha amiga e parceira de livro, Elaine Paganotti, com quem compartilhei muitas histórias, batalhas e vitórias. Juntas, crescemos pessoal e profissionalmente, e sabemos o quanto Deus tem nos ajudado até aqui. Obrigada por caminhar comigo.

À família Thomaz, em nome do José Thomaz (Zezo), por um dia abrirem as portas de suas casas e me permitirem conhecer uma linda história de vida. A trajetória da sua família me inspirou profundamente e foi essencial para que eu escrevesse com tanta verdade e emoção sobre a vida do Sr. José Thomaz.

A todos que de alguma forma contribuíram para que esse momento se tornasse possível, o meu mais profundo agradecimento. Que essa conquista seja não apenas minha, mas de todos que me ajudaram a chegar até aqui.

*“Compre a verdade e não abra mão dela, nem tampouco da sabedoria, da
disciplina e do discernimento”
Provérbios 23,23*

*“Não existe um planeta B.”
Ban Ki-moon*

PORTUGAL, Nunes Farias Maira. **Coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer: regime jurídico, logística reversa, descarbonização e desenvolvimento local sustentável.** 200p. 2025. Tese (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local – Doutorado Acadêmico) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande/MS, Brasil.

RESUMO

Esta tese analisa o regime jurídico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) em fornos rotativos para produção de clínquer, com ênfase na articulação entre os princípios de ecodesign, logística reversa e sustentabilidade no contexto do desenvolvimento local. A pesquisa adota o método de estudo de múltiplos casos, abrangendo as empresas Solurb, Intercement e Ecosupply, situadas nos municípios de Campo Grande e Bodoquena (MS), com o objetivo de identificar os condicionantes normativos, institucionais e operacionais que influenciam a adoção dessa tecnologia de valorização energética de resíduos. A metodologia baseia-se na revisão bibliográfica, na análise documental de fontes normativas, técnicas e institucionais oriundas dos setores público e privado, bem como na realização de visitas técnicas às Unidades de Tratamento de Resíduos (UTRs) da Solurb e às instalações operacionais da Ecosupply, ambas em Campo Grande, e da Intercement, localizada no município de Bodoquena (MS), com o objetivo de observar *in loco* aspectos normativos, institucionais e operacionais relacionados ao coprocessamento de resíduos sólidos urbanos. Os resultados demonstram que, embora o marco legal brasileiro, representado pela Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e pela Resolução CONAMA nº 499/2020 ofereça diretrizes para o aproveitamento energético de resíduos como combustíveis alternativos, ainda persistem lacunas regulatórias, desarticulação entre esferas de governança e carência de incentivos estruturantes. Ressalta-se que a promulgação da Lei nº 15.042/2024, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), amplia o potencial do coprocessamento como instrumento de mitigação climática, geração de créditos de carbono e indução de inovação ambiental. Conclui-se que a consolidação do coprocessamento como prática sustentável exige o fortalecimento do arcabouço normativo, o incentivo a parcerias interinstitucionais e a formulação de políticas públicas integradas à economia circular, à descarbonização produtiva e à justiça socioambiental nos territórios.

Palavras-chave: Economia circular. Direito Ambiental. Mitigação das emissões de gases efeito estufa. Desenvolvimento local.

PORTUGAL, Nunes Farias Maira. **Co-processing of municipal solid waste in rotary kilns for clinker production: legal framework, reverse logistics, decarbonization and sustainable local development.** 200p. 2025. Thesis (PhD in Local Development – Academic Doctorate Program) – Catholic University Dom Bosco, Campo Grande/MS, Brazil.

ABSTRACT

This dissertation analyzes the legal framework governing the co-processing of municipal solid waste (MSW) in rotary kilns for clinker production, with an emphasis on the articulation of the principles of ecodesign, reverse logistics, and sustainability in the context of local development. The research adopts a multiple case study method, focusing on the companies Solurb, Intercement, and Ecosupply, located in the municipalities of Campo Grande and Bodoquena (Mato Grosso do Sul, Brazil), with the aim of identifying the normative, institutional, and operational conditions that influence the adoption of this waste-to-energy recovery technology. The methodology is based on bibliographic review and documentary analysis of normative, technical, and institutional sources from both the public and private sectors, as well as technical visits to the Waste Treatment Units (UTRs) of Solurb and to the operational facilities of Ecosupply, both in Campo Grande, and Intercement, located in Bodoquena, with the objective of observing *in loco* the legal, institutional, and operational aspects related to the co-processing of MSW. The results show that although the Brazilian legal framework represented by Law No. 12,305/2010 (National Solid Waste Policy) and CONAMA Resolution No. 499/2020 provides guidelines for the energy use of waste as alternative fuel, regulatory gaps, governance fragmentation, and lack of structural incentives still persist. It is noteworthy that the enactment of Law No. 15,042/2024, which establishes the Brazilian Emissions Trading System (SBCE), enhances the potential of co-processing as a strategy for climate change mitigation, carbon credit generation, and environmental innovation. The study concludes that consolidating co-processing as a sustainable practice requires strengthening the legal framework, fostering interinstitutional partnerships, and implementing public policies integrated with the circular economy, productive decarbonization, and socio-environmental justice at the territorial level.

Keywords: Circular economy. Environmental law. Greenhouse gas emissions mitigation; Local development.

PORTUGAL, Nunes Farias Maira. **Co-procesamiento de residuos sólidos urbanos en hornos rotatorios para la producción de clínker: marco jurídico, logística inversa, descarbonización y desarrollo local sostenible**. 200p. 2025. Tesis (Doctorado Académico en Desarrollo Local) – Universidad Católica Don Bosco, Campo Grande/MS, Brasil.

RESUMEN

Esta tesis analiza el régimen jurídico del coprocesamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) en hornos rotatorios para la producción de clínker, con énfasis en la articulación de los principios de ecodiseño, logística inversa y sostenibilidad en el contexto del desarrollo local. La investigación adopta el método de estudio de casos múltiples, abarcando las empresas Solurb, Intercement y Ecosupply, ubicadas en los municipios de Campo Grande y Bodoquena (Mato Grosso do Sul, Brasil), con el objetivo de identificar los condicionantes normativos, institucionales y operativos que influyen en la adopción de esta tecnología de valorización energética de residuos. La metodología se basa en revisión bibliográfica y análisis documental de fuentes normativas, técnicas e institucionales provenientes de los sectores público y privado, así como en visitas técnicas a las Unidades de Tratamiento de Residuos (UTRs) de Solurb y a las instalaciones operativas de Ecosupply, ambas en Campo Grande, y de Intercement, ubicada en Bodoquena, con el propósito de observar *in situ* los aspectos jurídicos, institucionales y operativos relacionados con el coprocesamiento de residuos sólidos urbanos. Los resultados demuestran que, aunque el marco legal brasileño —representado por la Ley n.º 12.305/2010 (Política Nacional de Residuos Sólidos) y por la Resolución CONAMA n.º 499/2020— ofrece directrices para el aprovechamiento energético de residuos como combustibles alternativos, persisten vacíos regulatorios, fragmentación de la gobernanza y ausencia de incentivos estructurales. Cabe destacar que la reciente promulgación de la Ley n.º 15.042/2024, que instituye el Sistema Brasileño de Comercio de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (SBCE), amplía el potencial del coprocesamiento como estrategia de mitigación climática, generación de créditos de carbono y fomento a la innovación ambiental. Se concluye que la consolidación del coprocesamiento como práctica sostenible exige el fortalecimiento del marco normativo, el estímulo a alianzas interinstitucionales y la formulación de políticas públicas integradas a la economía circular, la descarbonización productiva y la justicia socioambiental en los territorios.

Palabras clave: economía circular; derecho ambiental; mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero; desarrollo local.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - ODS- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - Agenda 2030

Figura 2 - Elementos da responsabilidade compartilhada na gestão de Resíduos Sólidos

Figura 3 - Os três pilares do ESG: Ambiental, Social e Governança

Figura 4 - Práticas ESG e seus benefícios no contexto do coprocessamento

Figura 5 - Princípios estruturantes da economia circular

Figura 6 - Diferença entre economia linear e circular

Figura 7 - Galpão de triagem compartilhado entre cooperativas

Figura 8 - Caçambas para armazenamento de rejeitos recicláveis

Figura 9 - Hierarquia da Gestão de Resíduos

Figura 10 - Ecossistema Nacional de Mercado de Carbono

Figura 11 - Fluxograma: Etapas do monitoramento no âmbito do SBCE previstas na Lei nº 15.042/2024

Figura 12 - Fluxograma da estrutura de governança do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE)

Figura 13 - Fluxograma para a tomada de decisão sobre a adoção da melhor técnica disponível

Figura 14 - Fluxograma de conformidade para a utilização do CDR-SU conforme a Resolução CONAMA 499/2020

Figura 15 - Antigo cenário de destinação inadequada de resíduos sólidos em Campo Grande/MS (2011)

Figura 16 - Vista do aterro sanitário de Campo Grande/MS após reestruturação (2017)

Figura 17 - Equipe da Solurb durante operação de coleta urbana em Campo Grande/MS

Figura 18 - Visita técnica à unidade de triagem de recicláveis em Campo Grande/MS

Figura 19 - Resíduos sólidos previamente separados pelas cooperativas atuantes na UTR de Campo Grande/MS

Figura 20 - Resíduos metálicos diversos armazenados para triagem e tratamento

Figura 21 - Depósito controlado de pneus inservíveis

Figura 22 - Visita técnica à InterCement: triagem, recebimento e controle tecnológico de resíduos utilizados no coprocessamento em forno rotativo

Figura 23 - Esquema do processo de fabricação do cimento Portland

Figura 24 - Representação técnica de pré-aquecedor utilizado na produção de clínquer

Figura 25 - Esquema do sistema integrado de produção de clínquer em forno rotativo

Figura 26 - Fluxograma do processo de fabricação do cimento por via seca

Figura 27 - Matérias-primas, elementos e aditivos na produção do cimento Portland

Figura 28 - Fluxograma ilustrativo do processo de licenciamento ambiental do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer, conforme Resolução CONAMA nº 499/2020

Figura 29 - Exemplo de rejeitos impróprios ao coprocessamento identificados durante triagem manual em cooperativas de Campo Grande/MS

Figura 30 - Fluxograma do fluxo de resíduos triados pelas cooperativas até o coprocessamento em forno rotativo

Figura 31 - Acondicionamento de rejeitos segregados em big bags na Central de Triagem da Solurb

Figura 32 - Caçamba de 20 m³ utilizada pela Solurb (verde) e a caçamba de 40 m³ da Ecosupply (cinza), durante os testes de acondicionamento

Figura 33 - Compactação dos rejeitos com pá carregadeira no interior da caçamba metálica durante o carregamento, realizada pela Solurb

Figura 34 - Avaliação da composição química de embalagens plásticas com espectrômetro portátil (XRF) durante triagem dos rejeitos

Figura 35 - Contaminantes visuais (inclusive PVC) presentes em carga de rejeito triado pelas cooperativas e recebido pela Ecosupply para análise

Figura 36 - Armazenamento do blend de resíduos triturados na unidade da InterCement – Bodoquena/MS

Figura 37 - Amostragem e preparação laboratorial

Figura 38 - Tela do sistema de alimentação da unidade InterCement – Bodoquena/MS

Figura 39 - Variação do PCI e teor de cloro (%) nas cargas de blend com rejeitos das cooperativas (abr.–ago./2024)

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Contribuições do Coprocessamento de Resíduos Sólidos Urbanos aos ODS

Quadro 2 - Relação entre Ecodesign, Logística Reversa e Coprocessamento

Quadro 3 - Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos

Quadro 4 - Etapas operacionais do modelo de coprocessamento em Bodoquena/MS

Quadro 5 - Elementos da cadeia de suprimentos e práticas adotadas no Projeto Bodoquena/MS

Quadro 6 - Dimensões e pontos positivos do coprocessamento de RSU em fornos rotativos de clínquer para os principais atores em Campo Grande (MS)

Quadro 7 - Normas Aplicáveis ao Coprocessamento no Brasil

Quadro 8 - Requisitos da NBR 16605:2017 para o Coprocessamento de Resíduos em Fornos de Cimento

Quadro 9 - Classificação dos Resíduos segundo sua periculosidade

Quadro 10 - Normas Técnicas aplicáveis à gestão de resíduos sólidos

Quadro 11 - Comparativo entre Incineração, Carbonização, Pirólise e Coprocessamento

Quadro 12 - Estrutura da Lei n. 15.042/2024 e o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE)

Quadro 13 - Princípios e justificativas técnicas para aplicação da melhor tecnologia disponível

Quadro 14 - Estrutura de Governança do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GRR (SBCE)

Quadro 15 - Princípios e justificativas técnicas para aplicação da melhor tecnologia disponível

Quadro 16 - Base Jurídica para a Remuneração dos Catadores de Materiais Recicláveis

Quadro 17 - Tipos de resíduos utilizados como combustíveis alternativos

Quadro 18 - Etapas do processo de produção do cimento

Quadro 19 - Principais resíduos aptos ao coprocessamento industrial, segundo sua origem

Quadro 20 - Hipóteses de testes-piloto para a avaliação da viabilidade do coprocessamento de rejeitos em escala real

Quadro 21 - Resíduos passíveis e não passíveis de coprocessamento segundo a Resolução CONAMA N 499/2020

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cargas de rejeitos enviadas à Ecosupply para coprocessamento.

Tabela 2 – Resultados de análise de qualidade dos rejeitos oriundos das cooperativas de Campo Grande/MS.

Tabela 3 – Especificações técnicas do blend de resíduos aceito pela InterCement para coprocessamento

Tabela 4 - Cargas de blend com rejeito das cooperativas enviadas à InterCement.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BREFs – Best Available Techniques Reference Documents

BMU – Bundesministerium für Umwelt (Ministério do Meio Ambiente da Alemanha)

B3 - Brasil, Bolsa e Balcão

CDR – Combustível derivado de Resíduos

CDRU – Combustível derivado de Resíduos Urbanos

CDR-SU -Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CLR - Créditos de logística reversa

CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP – Conferências das partes

NDC – Contribuição Nacionalmente determinada

EC – European Commission - Comissão Europeia

ESG - Environmental, Social and Governance (Ambiental, Social e Governança)

EPA – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

GEE – Gases de Efeito Estufa

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ISE - Índice de Sustentabilidade Empresarial

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

METI – Ministry of Economy, Trade and Industry (Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão)

MTD – Melhor técnica disponível

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PCI - Poder Calorífico Inferior

PVC - Policloreto de vinila

PLANARES - Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCEs - Reduções Certificadas de Emissão

RDF – Refuse-Derived Fuel (Combustível Derivado de Resíduos, em inglês)

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SBCE – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SOLURB – Soluções Ambientais

UE – União Europeia

UTR - Usina de Triagem de Resíduos

WCED – World Commission on Environment and Development.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 Objetivo geral.....	23
1.2 Objetivos específicos.....	23
2 REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1 Objetivos Do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e Agenda 2050	24
2.2 Responsabilidade Compartilhada.....	31
2.3 Environmental, Social, And Governance – ESG no Contexto do Coprocessamento de Resíduos Sólidos	34
2.4 O Ecodesign como Vetor Estruturante para a Sustentabilidade do Coprocessamento de Resíduos e a Efetividade da Logística Reversa.....	37
2.5 Economia Circular e Processo de Logística Reversa na Destinação dos Resíduos	41
2.5.1 Contribuições para o Desenvolvimento Sustentável	46
2.6. O Coprocessamento como estratégia de Desenvolvimento Local Sustentável.....	53
3 REGIME JURÍDICO DO COPROCESSAMENTO DE RSU: FRAGMENTAÇÃO NORMATIVA, PRÁTICAS NACIONAIS E DIRETRIZES PARA UMA LEI ESPECÍFICA	57
3.1 A fragmentação normativa e a ausência de marco legal específico no Brasil	57
3.2 Marcos Jurídicos vigentes no Brasil: Limites e contradições	58
3.2.1 Legislação Federal Aplicável	61
3.2.2 Normas técnicas da ABNT aplicáveis ao coprocessamento de Resíduos Sólidos ..	67
3.2.3 Balizas Jurídicas do Coprocessamento.....	72
3.3 O Coprocessamento como estratégia de mitigação no âmbito da Lei nº 15.042/2024	75
3.3.1 Processo de coprocessamento e utilização do RSU.....	83
3.3.2 Adoção da MTD e Ordem de prioridade na gestão dos resíduos	85
3.3.3 Coleta Seletiva e Triagem como condição prévia	90
3.3.4 O Coprocessamento e o Estado de Carbono Zero	93
3.4 O Coprocessamento no Contexto Internacional: Lições Comparadas	94
3.5 O Coprocessamento de Resíduos como estratégia de desenvolvimento sustentável e os caminhos para um marco jurídico integrado no Brasil	96
3.5.1 Valorização dos Catadores e a Remuneração pela Contribuição Ambiental: Fundamentação Jurídica.....	98
3.5.2 Instrumentos de Incentivo Econômico	100

3.5.2 Articulação com a Política Climática e os ODS.....	100
3.5.3 Experiências Internacionais como base para o Marco Legal	101
3.5.4 Subsídios para a sustentabilidade financeira do sistema de coprocessamento e integração dos catadores	102
3.5.5 Considerações finais e proposta de dispositivos legais	103
4 HISTÓRIA E TRAJETÓRIA DOS ATORES ENVOLVIDOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS E COPROCESSAMENTO.....	106
4.1 A concessão pública da Solurb e sua atuação na coleta e triagem de resíduos.....	108
4.2 O papel das cooperativas e da associação de catadores na logística reversa	116
4.3 A atuação da Ecosupply na trituração e blendagem dos rejeitos	119
4.5 Prefeitura de Campo Grande/MS na estruturação da Política Municipal de Resíduos	124
5. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO COPROCESSAMENTO.....	128
5.1 Cadeia Produtiva do Cimento e inserção do CDRU	131
5.1.2 Etapas de Produção do Clínquer.....	133
5.1.3 Etapas finais de moagem e expedição	135
6 ESTUDO DE CASO: VALIDAÇÃO, TÉCNICA E SUBSÍDIOS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS	141
6.1 Metodologia e validação das hipóteses do teste-piloto	146
6.2 Análise da compactação e densidade dos rejeitos das cooperativas	148
6.3 Avaliação do teor de cloro e vidro nos rejeitos.....	153
6.4 Presença de Peças Ferrosas e Contaminantes não recicláveis.....	157
6.5 Processo de trituração, blendagem e coprocessamento experimental.....	159
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	168
REFERÊNCIAS.....	171
ANEXO A.....	181
PROPOSTA DE PROJETO DE LEI	181
ANEXO B.....	188
MATRIZ DE RESPONSABILIDADES INSTITUCIONAIS NA POLÍTICA NACIONAL DE COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – PNCRSU.....	188
ANEXO C	189
REGISTRO FOTOGRÁFICO DAS VISITAS TÉCNICAS	189

1 INTRODUÇÃO

A gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos constitui um dos principais desafios ambientais, sociais e econômicos contemporâneos, especialmente em setores industriais de elevado consumo energético, como a indústria cimenteira. O cimento, insumo essencial à construção civil, é produzido a partir do clínquer, um material intermediário obtido pela queima de calcário e argila em fornos rotativos a altas temperaturas (cerca de 1.450°C). Trata-se do principal componente do cimento Portland, cuja fabricação é reconhecida por sua elevada intensidade energética e emissão de dióxido de carbono (CO₂).¹

Diante da intensificação das pressões ambientais e da necessidade de mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), torna-se imperativa a adoção de estratégias integradas que aliem inovação tecnológica, responsabilidade ambiental e articulação normativa. Nesse contexto, destaca-se o coprocessamento como prática capaz de converter resíduos sólidos urbanos e industriais em fontes energéticas ou matérias-primas, substituindo, de forma parcial, os combustíveis fósseis utilizados nos fornos rotativos de produção de clínquer.

O coprocessamento insere-se nos princípios da economia circular, ao promover a valorização de resíduos que, tradicionalmente, seriam destinados a aterros sanitários. Essa abordagem não apenas contribui para a redução da dependência de recursos fósseis, como também aprimora a eficiência energética da indústria do cimento, reconhecida por sua elevada intensidade carbônica. A viabilização dessa prática, contudo, requer um regime jurídico estruturado, que assegure sua conformidade técnica, ambiental e social, integrando os princípios do ecodesign e da logística reversa.

No Brasil, o marco normativo para o gerenciamento de resíduos é delineado principalmente pela Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e pela Lei nº 14.026/2020, conhecida como o novo Marco do Saneamento. Ambas estabelecem diretrizes para a gestão integrada de resíduos, bem como instrumentos de responsabilidade compartilhada entre o poder público, o setor produtivo e a sociedade civil.

Além disso, o coprocessamento surge como alternativa estratégica, não apenas ambientalmente viável, mas também geradora de externalidades positivas para o

¹ Conforme a ABNT NBR 16697:2018 (Cimento Portland – Requisitos), o clínquer Portland é definido como o produto obtido pela clinquerização, em alta temperatura, de uma mistura adequada e homogeneizada de matérias-primas, constituídas essencialmente de calcário e argila. O termo *Portland* não é tradução, mas designação técnica internacional do tipo de cimento desenvolvido na Inglaterra no século XIX, cuja cor se assemelhava à pedra da região de Portland.

desenvolvimento local, mediante a geração de empregos, o fortalecimento de cooperativas de catadores e o estímulo a cadeias produtivas sustentáveis. Nesse contexto, o coprocessamento pode integrar mecanismos de remuneração ambiental, como créditos de logística reversa e créditos de carbono sociais, ampliando a sustentabilidade financeira do sistema e a valorização dos catadores de materiais recicláveis.

O coprocessamento também envolve implicações relevantes sob a ótica da governança ambiental, sendo diretamente influenciado por práticas corporativas alinhadas a critérios de ESG (Environmental, Social and Governance), por iniciativas de ecodesign na concepção de produtos e embalagens, bem como por políticas públicas voltadas à logística reversa. Essas dimensões operam de maneira interdependente, exigindo não apenas inovação tecnológica, mas também segurança jurídica, clareza regulatória e atuação coordenada entre empresas e entes públicos.

Adicionalmente, com a recente promulgação da Lei nº 15.042/2024, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), o coprocessamento ganha nova relevância como estratégia de mitigação climática e potencial geração de créditos de carbono, ampliando sua conexão com instrumentos econômicos da política ambiental. Nesse sentido, o coprocessamento é reconhecido não apenas como prática de gestão de resíduos, mas também como estratégia de transição para o Estado de Carbono Zero, em alinhamento aos compromissos internacionais do Brasil de neutralidade climática até 2050.

Neste sentido, esta pesquisa tem por objetivo analisar o regime jurídico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer, com foco na inter-relação entre os princípios de ecodesign, logística reversa e as práticas adotadas pelas empresas Solurb, Intercement e Ecosupply. A partir dessa análise, pretende-se identificar desafios e oportunidades para o aprimoramento da sustentabilidade e da eficiência na gestão de resíduos sólidos urbanos, com vistas a subsidiar propostas jurídico-econômicas que integrem instrumentos legais e financeiros capazes de promover o desenvolvimento local ambientalmente responsável.

A investigação parte da seguinte questão-norteadora: Como o regime jurídico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos para produção de clínquer interage com os instrumentos de valorização de resíduos e a logística reversa, e de que forma essa inter-relação pode contribuir para a sustentabilidade, a eficiência na gestão de resíduos e a promoção do desenvolvimento local em contextos empresariais específicos?

Nesse sentido, espera-se contribuir com reflexões teóricas e práticas para o

fortalecimento de políticas públicas e estratégias empresariais orientadas pela sustentabilidade, promovendo a valorização dos resíduos como recursos estratégicos e o fortalecimento de arranjos institucionais capazes de impulsionar o desenvolvimento sustentável local.

Este estudo está estruturado em seis capítulos, além das considerações finais e anexos. O capítulo 1 apresenta a introdução, com a contextualização do tema, delimitação do problema, objetivos e metodologia. O capítulo 2 reúne a revisão da literatura, abordando os fundamentos teóricos e normativos sobre desenvolvimento sustentável, responsabilidade compartilhada, ESG, ecodesign, logística reversa no contexto da economia circular.

O capítulo 3 analisa o regime jurídico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil, destacando a fragmentação normativa, os marcos legais vigentes e a necessidade de um marco regulatório específico.

O capítulo 4 descreve a atuação dos principais atores institucionais envolvidos na gestão de resíduos e no coprocessamento, com foco nos municípios de Campo Grande e Bodoquena/MS.

O capítulo 5 discute a viabilidade técnica e econômica do coprocessamento, abordando a cadeia produtiva do cimento, etapas do licenciamento ambiental e instrumentos de incentivo.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta o estudo de caso, com os dados técnicos e empíricos obtidos a partir da aplicação de testes-piloto e entrevistas, oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e a consolidação de um modelo sustentável de coprocessamento no território.

1.1 Objetivo geral

Analisar o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos na produção de clínquer, abrangendo o regime jurídico aplicável, inter-relação entre os princípios da logística reversa e as práticas adotadas pelas empresas Solurb, Intercement e Ecosupply, a fim de identificar desafios, oportunidades e eficiência na gestão de resíduos no contexto do desenvolvimento local sustentável.

1.2 Objetivos específicos

Identificar e sistematizar as normas e regulamentações que disciplinam o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil, com ênfase na legislação ambiental.

Avaliar a eficácia dos mecanismos de logística reversa implementados pelas empresas analisadas, considerando seu potencial para valorização dos resíduos.

Diagnosticar os principais entraves e potencialidades na adoção do coprocessamento pelas empresas, à luz da sustentabilidade e eficiência operacional.

Propor diretrizes jurídicas e políticas públicas voltadas à ampliação do uso sustentável do coprocessamento nos municípios de Campo Grande e Bodoquena.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A compreensão do regime jurídico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer requer uma análise integrada de conceitos estruturantes que embasam a sustentabilidade ambiental, a responsabilidade compartilhada e a governança institucional.

A literatura especializada revela que os avanços normativos e técnicos nessa área estão intrinsecamente ligados a agendas internacionais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), bem como a instrumentos nacionais como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Para tanto, este tópico reúne os principais referenciais teóricos e normativos que fundamentam a análise proposta, com especial atenção ao papel do ecodesign, da logística reversa e da economia circular como estratégias de transição para modelos produtivos mais sustentáveis.

A revisão teórica contempla ainda a aplicação de critérios ESG (Environmental, Social and Governance) no setor industrial, a consolidação de práticas de valorização energética e a atuação dos atores locais na governança de resíduos.

A partir desses fundamentos, busca-se estabelecer o pano de fundo conceitual necessário para compreender as oportunidades e desafios relacionados à implementação do coprocessamento como política pública e instrumento jurídico voltado à promoção do desenvolvimento local sustentável.

Assim, os tópicos subsequentes apresentam os marcos teóricos e normativos que sustentam a análise empírica conduzida nos estudos de caso desenvolvidos nos municípios de Campo Grande e Bodoquena, no Estado de Mato Grosso do Sul

2.1 Objetivos Do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e Agenda 2050

A formulação do conceito de desenvolvimento sustentável foi precedida por um contexto internacional marcado pela crescente preocupação com os efeitos negativos do modelo de crescimento econômico baseado na exploração intensiva de recursos naturais, poluição e degradação ambiental. A partir da década de 1970, publicações como o relatório *The Limits to*

*Growth*² (1972), do Clube de Roma, e eventos como a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, Suécia, no mesmo ano, inauguraram as articulações multilaterais em torno da temática ambiental, marcando sua entrada definitiva na agenda internacional.

Esse processo culminou, em 1987, na publicação do Relatório Brundtland³, intitulado *Nosso Futuro Comum*, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU (CMMAD, 1987). O documento definiu desenvolvimento sustentável como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades”. A partir dessa concepção, consolidou-se a noção do tripé da sustentabilidade, que integra de forma indissociável as dimensões ambiental, social e econômica, promovendo um modelo de desenvolvimento justo, viável e responsável.

Nas décadas seguintes, sucessivas conferências internacionais aprofundaram esse paradigma, levando à formulação, em 2015, da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas.

Essa agenda foi concebida como um pacto internacional que articula governos, setor privado e sociedade civil no enfrentamento de desafios interdependentes do século XXI, como pobreza, desigualdade, mudanças climáticas e degradação ambiental. O ODS 17, em especial, reforça a necessidade de parcerias para viabilizar as metas propostas, mobilizando recursos, tecnologia e governança compartilhada (UN WSS, 2017).

Em complemento à Agenda 2030, a Agenda 2050 constitui uma iniciativa estratégica de longo prazo, não vinculante, que projeta diretrizes para a transição rumo a um futuro sustentável, resiliente e inclusivo. Suas metas incluem a neutralização das emissões líquidas de carbono, a eliminação progressiva dos combustíveis fósseis e a adoção plena de modelos baseados na economia circular até meados do século XXI, consolidando uma trajetória de desenvolvimento ambientalmente regenerativo.

Nesse contexto, o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer desponta como uma prática industrial alinhada aos princípios da sustentabilidade e aos ODS. Essa técnica permite a substituição parcial de combustíveis fósseis por resíduos urbanos ou industriais, reduzindo emissões de gases de efeito estufa, promovendo

² Tradução livre: *Os Limites do Crescimento*

³ Relatório oficialmente intitulado *Our Common Future (Nosso Futuro Comum)*, publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) da ONU, também conhecido como Relatório Brundtland, nome da então primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, que presidiu a comissão.

a valorização energética e material dos resíduos, e estimulando a eficiência produtiva. O coprocessamento contribui, de modo particular, para os seguintes objetivos (ONU, 2015):

- ODS 9: ao incentivar inovação tecnológica e infraestrutura industrial de baixo carbono;
- ODS 12: ao promover padrões de consumo e produção responsáveis, com ênfase na economia circular;
- ODS 13: ao mitigar as mudanças climáticas por meio da redução de emissões;
- ODS 17: ao exigir parcerias entre setor público, empresas e sociedade civil.

A efetividade dessa prática, contudo, está condicionada à existência de um regime jurídico estruturado, que assegure sua implementação segura e ambientalmente adequada. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), complementada por dispositivos como a Resolução CONAMA nº 499/2020, estabelece diretrizes para o gerenciamento integrado de resíduos e para o uso ambientalmente responsável do coprocessamento. A normatização dessa atividade é, portanto, essencial para garantir sua viabilidade técnica, legal e social, contribuindo para o cumprimento das metas pactuadas na Agenda 2030 e para os horizontes propostos na Agenda 2050.

QUADRO 1 – CONTRIBUIÇÕES DO COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS AOS ODS

OBJETIVOS DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL ODS	DESCRIÇÃO	CONTRIBUIÇÃO DO COPROCESSAMENTO
ODS 6 ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO	Garantir disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento para todos	Reduz o risco de contaminação de corpos hídricos e aquíferos subterrâneos ao evitar a disposição inadequada de resíduos em lixões e aterros sanitários.
ODS 7 ENERGIA ACESSÍVEL E LIMPA	Garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos	Utiliza resíduos como fonte alternativa de energia térmica, contribuindo para a diversificação da matriz energética e para a redução da dependência de combustíveis fósseis.

<p>ODS 8 TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO</p>	<p>Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos</p>	<p>Estimula cadeias produtivas locais por meio da valorização do trabalho de catadores, promovendo inclusão socioeconômica e geração de emprego formal no setor de gestão de resíduos.</p>
<p>ODS 9 INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA</p>	<p>Inovação em Processos</p>	<p>O coprocessamento é uma abordagem inovadora que pode transformar a forma como a indústria de cimento lida com resíduos, promovendo inovação e sustentabilidade.</p>
	<p>Fortalecimento da Capacidade Industrial</p>	<p>O uso de resíduos como matérias-primas fortalece a infraestrutura industrial, favorecendo a economia circular</p>
<p>ODS 11 CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS</p>	<p>Melhoria da Gestão de Resíduos Urbanos</p>	<p>Contribui para a redução do volume de resíduos encaminhados aos aterros, aliviando infraestrutura urbana e promovendo cidades mais limpas e sustentáveis</p>
	<p>Redução de Impactos Ambientais Locais</p>	<p>Minimiza impactos associados ao descarte inadequado</p>
<p>ODS 12 CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS</p>	<p>Redução de Resíduos</p>	<p>O coprocessamento permite a valorização de resíduos, promovendo um consumo responsável e reduzindo a quantidade de resíduos destinados a aterros.</p>
	<p>Valorização de Materiais</p>	<p>Transforma resíduos em recursos valiosos, como combustíveis e matérias-primas, alinhando-se ao objetivo de produção e consumo sustentáveis.</p>

ODS 13 AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA	Redução das Emissões de GEE	Ao substituir combustíveis fósseis por resíduos, contribui para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, apoiando esforços de mitigação das mudanças climáticas.
	Eficiência Energética	Utilizar resíduos como fonte de energia melhora a eficiência energética na produção de clínquer, reduzindo a pegada de carbono da indústria.
ODS 15 VIDA TERRESTRE	Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.	Ao reduzir o envio de resíduos aos aterros sanitários, o coprocessamento contribui para a preservação dos solos e ecossistemas locais, evitando a contaminação do solo e das águas subterrâneas, e promovendo o uso sustentável dos recursos naturais.
ODS 16 PAZ, JUSTIÇA E INSTITUIÇÕES EFICAZES	Promover sociedades pacíficas e inclusivas, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.	O coprocessamento estimula a transparência, a participação social e a corresponsabilidade institucional na gestão de resíduos, fortalecendo a governança ambiental e promovendo a confiança entre poder público, empresas e cooperativas.
ODS 17 PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO	Colaboração Multissetorial	Requer colaboração entre diferentes partes interessadas, como governos, indústrias e cooperativas, enfatizando a importância de parcerias para o desenvolvimento sustentável.
	Desenvolvimento de Políticas Públicas	Políticas que incentivem o coprocessamento podem ser apoiadas por redes de parcerias, criando um

		ambiente favorável para práticas sustentáveis.
--	--	--

Fonte: Elaboração da autora (2024), com base na ONU (2015)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Agenda 2050 constituem marcos estratégicos fundamentais para a promoção de práticas sustentáveis, como o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos. Ao alinhar-se a essas diretrizes, o coprocessamento contribui não apenas para o enfrentamento de desafios ambientais contemporâneos, mas também para o fortalecimento de um modelo econômico mais circular, regenerativo e socialmente responsável.

A figura 1 ilustra os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em setembro de 2015, no âmbito da Agenda 2030, os quais englobam 169 metas a serem alcançadas até o ano de 2030.

Figura 1 - ODS- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Agenda 2030



Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Assembleia Geral da ONU, A/RES/70/1, 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em 11 de outubro de 2024

O coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer constitui uma prática industrial alinhada de forma estratégica aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os de números 6, 7, 8, 9, 12, 13 e 17, conforme preconizado pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). Além de representar

uma solução tecnicamente viável e ambientalmente segura para a gestão de resíduos, tal prática contribui para a transição rumo a uma economia circular, ao integrar sustentabilidade ambiental, inovação tecnológica e governança colaborativa.

O ODS 6, que trata da garantia de disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento, é contemplado na medida em que o coprocessamento reduz os riscos de contaminação de solos e aquíferos. Ao evitar a disposição inadequada de resíduos em lixões e aterros, essa prática contribui para a proteção dos recursos hídricos, promovendo um ambiente urbano mais saudável.

O ODS 7, voltado à promoção de energia acessível e limpa, também é atendido pelo coprocessamento, que viabiliza o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos como fonte térmica complementar. Essa substituição de combustíveis fósseis favorece a diversificação da matriz energética da indústria cimenteira e contribui para a redução da dependência de fontes não renováveis.

No âmbito do ODS 8, que busca promover o crescimento econômico inclusivo e o trabalho decente, o coprocessamento estimula o fortalecimento das cadeias locais de reaproveitamento de resíduos e a valorização das cooperativas e catadores. Além disso, fomenta a geração de empregos formais e o desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis, promovendo inclusão socioprodutiva no setor de resíduos.

O ODS 9, que trata da construção de infraestruturas resilientes e da industrialização sustentável, também se relaciona diretamente com o coprocessamento. Essa prática representa uma inovação tecnológica no setor da construção civil, ao introduzir soluções limpas e eficientes para o aproveitamento de resíduos como insumos energéticos. Além disso, contribui para a descarbonização dos processos industriais e para o fortalecimento da economia circular.

O ODS 12, que visa assegurar padrões sustentáveis de produção e consumo, é atendido na medida em que o coprocessamento reduz a pressão sobre recursos naturais virgens ao permitir o reaproveitamento de resíduos como matéria-prima alternativa. Com isso, promove-se a valorização de materiais, a redução da geração de resíduos e a disseminação de práticas de reutilização e reciclagem.

Quanto ao ODS 13, relacionado à ação contra a mudança global do clima, o coprocessamento contribui de forma significativa para a mitigação dos impactos ambientais do setor cimenteiro. A substituição parcial de combustíveis fósseis por resíduos sólidos urbanos resulta na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), em especial o dióxido de carbono (CO₂), ao mesmo tempo em que aumenta a eficiência energética dos processos industriais.

Por fim, o ODS 17, que enfatiza a importância de parcerias e meios de implementação, é mobilizado na medida em que o coprocessamento depende de arranjos institucionais colaborativos. A efetivação dessa prática exige articulação entre entes públicos, setor privado, cooperativas e sociedade civil, envolvendo desde a coleta e triagem até o transporte e a destinação final dos resíduos. Ademais, parcerias internacionais e incentivos legais podem fomentar investimentos em infraestrutura, inovação e pesquisa tecnológica voltada à transição para uma economia de baixo carbono.

Nesse contexto, o regime jurídico do coprocessamento exerce papel fundamental ao estabelecer os parâmetros técnicos, ambientais e institucionais para sua viabilização. A Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e a Resolução CONAMA n.º 499, de 6 de outubro de 2020, que disciplina o uso de resíduos como combustíveis alternativos em fornos rotativos de produção de clínquer, constituem os principais marcos normativos que garantem a segurança ambiental, a rastreabilidade dos resíduos e a responsabilização compartilhada entre os atores envolvidos.

Dessa forma, a articulação entre coprocessamento, ODS e ordenamento jurídico não apenas promove soluções sustentáveis no setor de resíduos, como também atua como vetor de desenvolvimento local sustentável, integrando inovação tecnológica, justiça social e proteção ambiental de forma sistêmica.

2.2 Responsabilidade Compartilhada

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos constitui um princípio estruturante na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), diretamente aplicável ao coprocessamento. Trata-se de um modelo que pressupõe a atuação conjunta e articulada de diversos agentes, públicos e privados, na gestão integrada dos resíduos e na promoção de práticas sustentáveis ao longo de todas as etapas da cadeia produtiva e de consumo.

Esse princípio está positivado no art. 3º, inciso XVII, da Lei nº 12.305/2010, nos seguintes termos:

Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

A responsabilidade compartilhada visa assegurar que todos os elos da cadeia socioeconômica contribuam para a redução dos impactos ambientais, o aproveitamento de materiais e a eficiência no uso dos recursos naturais. No contexto específico do coprocessamento, esse princípio adquire especial relevância, pois envolve a destinação de resíduos como substitutos energéticos e materiais em processos industriais, o que demanda uma atuação coordenada entre geradores de resíduos, operadores industriais e entes públicos.

A própria Lei nº 12.305/2010 reforça essa abordagem em seu art. 30, ao estabelecer:

Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.

Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;

II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;

III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;

IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;

V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;

VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;

VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.

No âmbito do coprocessamento, a responsabilidade compartilhada opera como eixo integrador entre a política ambiental e a atividade industrial, viabilizando a valorização energética e material de resíduos em consonância com os princípios da economia circular. Essa colaboração entre os setores público e privado, notadamente entre geradores, operadores de coprocessamento e órgãos ambientais, é essencial para garantir a rastreabilidade, a conformidade normativa e a efetividade da gestão sustentável de resíduos.

A seguir, destacam-se os principais aspectos que caracterizam a aplicação da responsabilidade compartilhada no coprocessamento:

Figura 2 – Elementos da responsabilidade compartilhada na gestão de Resíduos Sólidos



Fonte: Elaborado pela autora com base na Lei 12.305/2010 – PNRS (2024)

A promoção da cooperação entre diferentes atores na gestão de resíduos sólidos é fundamental, sobretudo no contexto do coprocessamento, pois essa abordagem não apenas eleva a eficiência e a eficácia das práticas adotadas, mas também contribui diretamente para a consolidação de uma economia circular e sustentável.

Nesse sentido, destaca-se o disposto no art. 32 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que estabelece diretrizes específicas para o design de embalagens. Conforme esse dispositivo, as embalagens devem ser fabricadas com materiais que possibilitem a reutilização ou a reciclagem. O §1º do referido artigo dispõe que é responsabilidade dos fabricantes assegurar que as embalagens sejam dimensionadas de modo a atender às exigências de proteção do conteúdo e viabilidade comercial, devendo ainda permitir sua reutilização ou, na impossibilidade, garantir que sejam recicláveis.

Tais dispositivos legislativos evidenciam a centralidade do ecodesign, entendido como abordagem estratégica voltada à concepção de produtos e embalagens com base na minimização

dos impactos ambientais ao longo de seu ciclo de vida.

Nesse contexto, o ecodesign deixa de ser uma diretriz acessória para tornar-se obrigação vinculada à responsabilidade compartilhada dos agentes produtivos, visto que ao incorporar princípios de sustentabilidade desde a fase de concepção do produto, as empresas não apenas atendem às exigências legais, mas também se posicionam como protagonistas na transição para modelos industriais mais responsáveis, inovadores e ambientalmente conscientes.

Ademais, é importante ressaltar que a responsabilidade compartilhada abrange a totalidade da cadeia de suprimento, englobando todas as atividades relacionadas ao fluxo e à transformação de bens, desde a matéria-prima até o consumidor final. Trata-se de uma rede de interações que envolve múltiplos parceiros responsáveis pela gestão e troca de materiais, informações e recursos financeiros (PARMIGIANI; RIVERA-SANTOS, 2015, p. 61).

Nos últimos vinte anos, observa-se uma crescente responsabilização das empresas pelos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes não apenas de suas atividades diretas, mas também de toda a sua cadeia de valor, conforme destacam Koberg e Longoni (2019, p. 1085), essa ampliação da responsabilidade evidencia a necessidade de uma gestão sustentável e integrada das cadeias produtivas, orientada não apenas pela eficiência econômica, mas também pela mitigação dos impactos socioambientais.

2.3 Environmental, Social, And Governance – ESG no Contexto do Coprocessamento de Resíduos Sólidos

A sigla ESG (Environmental, Social and Governance)⁴ foi introduzida oficialmente em 2004, por meio da iniciativa *Who Cares Wins*⁵, promovida pelo então secretário-geral da Organização das Nações Unidas (ONU), Kofi Annan. O objetivo central da proposta era integrar critérios ambientais, sociais e de governança às decisões do mercado de capitais, estimulando práticas empresariais mais sustentáveis e responsáveis. A iniciativa contou com a participação de mais de cinquenta executivos de grandes instituições financeiras, incluindo vinte organizações oriundas de nove países, entre eles o Brasil (PACTO GLOBAL, 2023).

Naquele momento, defendia-se que a adoção de práticas ESG representava não apenas um diferencial estratégico para as empresas, mas também uma contribuição efetiva para a

⁴ ESG é a sigla em inglês para *Environmental, Social and Governance*, que se refere aos critérios ambientais, sociais e de governança utilizados na avaliação de práticas sustentáveis e éticas de organizações públicas e privadas.

⁵ Em tradução livre: “Quem se importa, vence

construção de um mercado global mais sustentável.

Essa abordagem dialogava com a agenda internacional de desenvolvimento, antecipando os fundamentos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), lançados posteriormente em 2015.

Nesse contexto, o conceito de ESG estrutura-se em três pilares fundamentais:

Figura 3 – Os três pilares do ESG: Ambiental, Social e Governança



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, evidencia-se que o pilar ambiental desempenha papel central no contexto do ESG nas organizações, na medida em que orienta as empresas a buscarem conformidade com a legislação vigente, ao mesmo tempo em que promove o aprimoramento da performance ambiental e a mitigação dos impactos negativos decorrentes de seus processos produtivos (ADAMS, 2020).

Nesse cenário, destaca-se a publicação da ABNT PR 2030, em dezembro de 2022, como prática recomendada para o alinhamento dos principais conceitos e princípios relacionados ao ESG. O documento oferece diretrizes gerais sobre a compreensão e implementação dessa agenda nas organizações brasileiras (ABNT, 2022).

Considerando o crescimento produtivo em diversos setores, e o consequente aumento na geração de resíduos, a destinação final ambientalmente adequada tornou-se uma das principais preocupações relacionadas ao meio ambiente. Isso porque o descarte incorreto ou o acúmulo de resíduos sólidos impacta diretamente a saúde pública, os ecossistemas e a sustentabilidade urbana.

De fato, o tema tem despertado crescente atenção por parte de governos, empresas e sociedade civil, como apontam Nogueira et al. (2020), as certificações ambientais vêm assumindo papel estratégico nas organizações, funcionando como instrumentos de validação da conformidade dos processos com padrões de sustentabilidade e integridade ambiental. Para consumidores, investidores e órgãos reguladores, tais selos comunicam o compromisso da organização com a responsabilidade socioambiental.

Desse modo, o conceito de ESG revela-se fundamental para compreender a implementação do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer. Trata-se de um regime jurídico e técnico que, além de buscar soluções eficientes para o gerenciamento de resíduos, promove práticas sustentáveis e éticas que podem ser avaliadas por meio dos critérios ambientais, sociais e de governança.

A adoção de práticas ESG no contexto do coprocessamento é, portanto, indispensável para:

Figura 4 - Práticas ESG e seus benefícios no contexto do coprocessamento (2024)



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

No Brasil, diversas iniciativas têm sido implementadas no âmbito empresarial para incentivar práticas sustentáveis, entre as quais se destaca a adoção dos princípios ESG — sigla em inglês para *Environmental, Social and Governance*, usualmente traduzida como Ambiental, Social e de Governança Corporativa, e tais diretrizes orientam organizações a integrarem

critérios socioambientais e de governança em suas estratégias, processos e modelos de negócio.

Um marco relevante nesse contexto foi a criação, em 2005, do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) pela B3 (Brasil, Bolsa e Balcão), sendo que o ISE constitui uma ferramenta de avaliação do desempenho das empresas a partir de três dimensões: econômica, ambiental e social, além de promover boas práticas corporativas, o índice tornou-se um diferencial competitivo, na medida em que investidores vêm priorizando ações de companhias comprometidas com a sustentabilidade (SILVEIRA, 2017).

A integração dos princípios ESG ao regime jurídico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos representa um passo estratégico para a promoção da economia circular. Isso porque tais certificações e práticas de gestão orientam as organizações a avaliarem os impactos ambientais de suas atividades e a se comprometerem com a sustentabilidade ao longo de toda a cadeia produtiva.

Adicionalmente, o coprocessamento pode atuar como instrumento de garantia da confiabilidade dessas práticas, ao incorporar metodologias robustas de monitoramento ambiental, auditorias, relatórios de sustentabilidade e sistemas de gestão integrados. Tais mecanismos permitem avaliar de forma rigorosa e transparente o desempenho ambiental das organizações, contribuindo para sua credibilidade institucional e para a conformidade com exigências normativas nacionais e internacionais.

2.4 O Ecodesign como Vetor Estruturante para a Sustentabilidade do Coprocessamento de Resíduos e a Efetividade da Logística Reversa

A aplicação do ecodesign no contexto da gestão de resíduos sólidos urbanos representa um avanço normativo e técnico que favorece tanto a eficiência da logística reversa quanto a viabilidade ambiental e operacional do coprocessamento. Ao incorporar princípios de sustentabilidade na concepção de produtos, o ecodesign atua de forma preventiva na geração de resíduos e na qualidade do material descartado, influenciando diretamente as etapas posteriores de separação, triagem e reaproveitamento.

A hierarquia de gestão de resíduos, estabelecida na Lei nº 12.305/2010, prioriza a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem, antes da disposição final. O ecodesign se insere como um vetor que estrutura as duas primeiras etapas dessa hierarquia, ao planejar o ciclo de vida dos produtos com foco na minimização dos impactos ambientais, na otimização do uso de materiais e na extensão da vida útil dos bens de consumo. Isso contribui não apenas para a eficiência da logística reversa, mas também para a qualificação dos rejeitos que, por não apresentarem viabilidade de reciclagem, podem ser convertidos em combustível derivado de

resíduos urbanos (CDRU) para uso em fornos de clínquer.

Além disso, o ecodesign reforça a rastreabilidade dos resíduos e a segurança jurídica nas cadeias de logística reversa e coprocessamento, uma vez que favorece a criação de produtos mais homogêneos, com menor presença de contaminantes e maior potencial de aproveitamento energético. O projeto intencional de embalagens, por exemplo, pode facilitar sua separação na triagem mecânica e permitir sua destinação apropriada, seja para reciclagem, seja para valorização energética. (KHOR et al., 2020).

Nesse contexto, o ecodesign atua como elemento de prevenção e racionalidade na gestão dos resíduos, ao condicionar o projeto das embalagens à sua durabilidade, reutilização e reciclabilidade. Tal perspectiva reforça a hierarquia normativa estabelecida pela PNRS e conecta-se diretamente às balizas jurídicas do coprocessamento (Capítulo 3), uma vez que o aproveitamento energético deve ser entendido como última etapa do ciclo, não podendo competir, mas apenas complementar, os processos de reutilização e reciclagem.

O papel do ecodesign como ferramenta integradora entre logística reversa e coprocessamento é evidenciado no quadro a seguir:

Quadro 2 – Relação entre Ecodesign, Logística Reversa e Coprocessamento

Aspecto	Ecodesign	Logística Reversa	Coprocessamento
Foco	Concepção de produtos com menor impacto ambiental	Retorno de produtos e embalagens ao ciclo produtivo	Valorização energética de resíduos sem viabilidade de reciclagem
Ponto da cadeia	Início (planejamento e produção)	Meio (distribuição reversa e triagem)	Fim (destinação e tratamento final)
Contribuição ao RSU	Redução e melhor qualidade dos resíduos gerados	Recuperação e separação de materiais recicláveis	Aproveitamento dos rejeitos para substituição de combustíveis fósseis
Impacto jurídico	Prevenção e responsabilidade compartilhada	Cumprimento das obrigações de logística reversa	Necessidade de regulação específica e licenciamento ambiental
Integração com ODS	ODS 12 (consumo responsável) e ODS 9 (inovação)	ODS 11 (cidades sustentáveis)	ODS 13 (ação climática) e ODS 12 (produção sustentável)

Fonte: Elaborado pela autora com base em BRASIL (2010), CONAMA (2020), ABNT NBR ISO 14006:2011, e ONU (2015).

A inserção do ecodesign como categoria jurídica autônoma e como princípio transversal da Política Nacional de Resíduos Sólidos ainda carece de regulamentação específica no Brasil. No entanto, sua adoção como critério técnico na formulação de políticas públicas

pode representar um avanço significativo na estruturação de modelos locais de gestão integrada de resíduos, especialmente em municípios que desejam aliar logística reversa, inclusão socioprodutiva e coprocessamento como soluções complementares e sustentáveis.

O conceito de ecodesign surgiu como uma abordagem estratégica voltada à integração da sustentabilidade no processo produtivo, visando à redução de impactos ambientais desde a fase de concepção dos produtos, com o crescimento das preocupações relativas à gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e à busca por soluções tecnológicas sustentáveis, o ecodesign configura-se como uma ferramenta essencial para minimizar a geração de resíduos e viabilizar sua inserção em processos como o coprocessamento em fornos rotativos de clínquer.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) já estabelece diretrizes que atribuem relevância às estratégias preventivas, como o ecodesign, no escopo da responsabilidade compartilhada, promovendo a destinação ambientalmente adequada dos

O ecodesign fundamenta-se na premissa de que o impacto ambiental dos produtos deve ser considerado desde sua concepção, abrangendo desde a seleção dos materiais até sua disposição final (VEZZOLI, 2018).

Para Manzini e Vezzoli (2005) o ecodesign visa reduzir a degradação ambiental através da concepção de produtos que minimizam a geração de resíduos e otimizam o uso de recursos naturais. Nesse sentido, a norma ISO 14006:2011, emitida pela *International Organization for Standardization*⁶ (ISO), estabelece diretrizes para a integração da gestão ambiental ao design de produtos e serviços.

Entre seus princípios estão a redução do consumo de recursos naturais, o aumento da reciclabilidade e a eliminação de substâncias tóxicas, tais parâmetros são especialmente relevantes para o coprocessamento, ao garantir que os materiais descartados possam ser reaproveitados de maneira segura e eficiente.

A introdução do ecodesign na indústria, especialmente na fabricação de embalagens, tem demonstrado impacto significativo na redução da quantidade de resíduos encaminhados a aterros sanitários, posto que a adoção de materiais biodegradáveis ou recicláveis contribui diretamente para a logística reversa e para a adequação dos rejeitos ao coprocessamento como substitutos de combustíveis fósseis nos fornos de clínquer.

A adoção do ecodesign pelas indústrias viabiliza a fabricação de produtos cuja composição, ao final da vida útil, seja compatível com os requisitos técnicos dos fornos de clínquer. Tal compatibilidade está alinhada às exigências da Associação Brasileira de Normas

⁶ *International Organization for Standardization* (ISO), entidade responsável pela elaboração de normas técnicas internacionais voltadas à padronização de processos, produtos e sistemas.

Técnicas (ABNT), como previsto na NBR 16605/2017, que estabelece critérios para o coprocessamento de resíduos.

Empresas como a InterCement têm demonstrado que a aplicação do ecodesign possibilita o aproveitamento de resíduos industriais no coprocessamento, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais, e de acordo com relatório da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2023), aproximadamente 30% da matriz energética utilizada na produção de cimento no Brasil já é proveniente de combustíveis alternativos, refletindo o avanço da economia circular impulsionada por estratégias de ecodesign.

A logística reversa, conforme estabelecido na Lei nº 12.305/2010, atribui a responsabilidade pelo retorno de produtos e embalagens pós-consumo aos fabricantes, distribuidores e comerciantes, com vistas à sua reinserção no ciclo produtivo.

O ecodesign, ao incorporar parâmetros ambientais desde a concepção dos produtos, potencializa essa política ao facilitar a separação, desmontagem e reaproveitamento dos materiais constituintes.

Segundo Seuring e Müller (2008), o design sustentável transcende a função ambiental, promovendo ganhos econômicos nas cadeias produtivas por meio do estímulo à reutilização e à reciclagem. No Brasil, experiências conduzidas por setores industriais, como os de embalagens PET e papelão, demonstram que produtos desenvolvidos com princípios de ecodesign apresentam taxas significativamente superiores de reaproveitamento, viabilizando sua utilização em processos industriais como o coprocessamento.

A produção de Combustíveis Derivados de Resíduos Urbanos (CDRU) configura-se como um exemplo emblemático do papel do ecodesign na conversão de resíduos em energia, e de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2023), o CDRU já representa 10% (dez por cento) da matriz energética da indústria cimenteira brasileira, tendência que tende a se intensificar com a adoção de estratégias sustentáveis de design por parte do setor produtivo.

O ecodesign também atua como elemento-chave na mitigação da geração de resíduos sólidos urbanos e na viabilização de sua destinação ambientalmente adequada.

A priorização de materiais recicláveis, biodegradáveis e de menor carga tóxica favorece a conversão de resíduos urbanos e industriais em combustíveis alternativos, contribuindo para a redução da dependência de fontes fósseis e para o processo de descarbonização da indústria cimenteira.

Ademais, a integração entre o ecodesign e os mecanismos de logística reversa promove

o fechamento do ciclo de vida dos produtos, ampliando as possibilidades de reciclagem e reaproveitamento de materiais, visto que tal sinergia atende não apenas aos dispositivos legais da Política Nacional de Resíduos Sólidos, mas também impulsiona a transição rumo a um modelo de economia circular, alicerçado na sustentabilidade sistêmica da gestão de resíduos no país.

2.5 Economia Circular e Processo de Logística Reversa na Destinação dos Resíduos

A economia circular constitui um paradigma econômico orientado à maximização da eficiência no uso de recursos, contrapondo-se ao modelo linear tradicional, baseado nas etapas de extração, transformação, consumo e descarte.

Fundamenta-se em princípios como a manutenção do valor dos materiais ao longo do tempo, o prolongamento da vida útil de produtos e a regeneração de sistemas naturais, contribuindo para a construção de cadeias produtivas mais resilientes e ambientalmente sustentáveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Nesse contexto, práticas como reutilização, remanufatura, reparo e reciclagem são essenciais para manter os materiais em circulação por mais tempo, minimizando o desperdício e reduzindo a pressão sobre os recursos naturais. Portanto, a economia circular demanda um redesenho dos processos produtivos, integrando princípios de ecodesign, inovação tecnológica e logística reversa como estratégias complementares. A logística reversa, por sua vez, desempenha papel instrumental na operacionalização da economia circular ao permitir o retorno de produtos e resíduos pós-consumo ao ciclo produtivo. Essa reintegração pode ocorrer sob diferentes formas, seja por meio da reciclagem, do reuso ou da valorização energética, desde que observados critérios técnicos e ambientais estabelecidos pelas políticas públicas de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A articulação entre os fundamentos da economia circular e os processos logísticos de retorno exige, portanto, uma abordagem sistêmica e integrada, em que a reinserção de materiais no sistema produtivo seja conduzida de forma planejada, eficiente e ambientalmente adequada.

Os princípios que estruturam essa lógica circular estão ilustrados a Figura 4 com os fundamentos norteadores da economia circular, destacando a contraposição à lógica linear no sentido de favorecer a continuidade do uso de recursos ao longo do tempo.

Figura 5 - Princípios estruturantes da economia circular

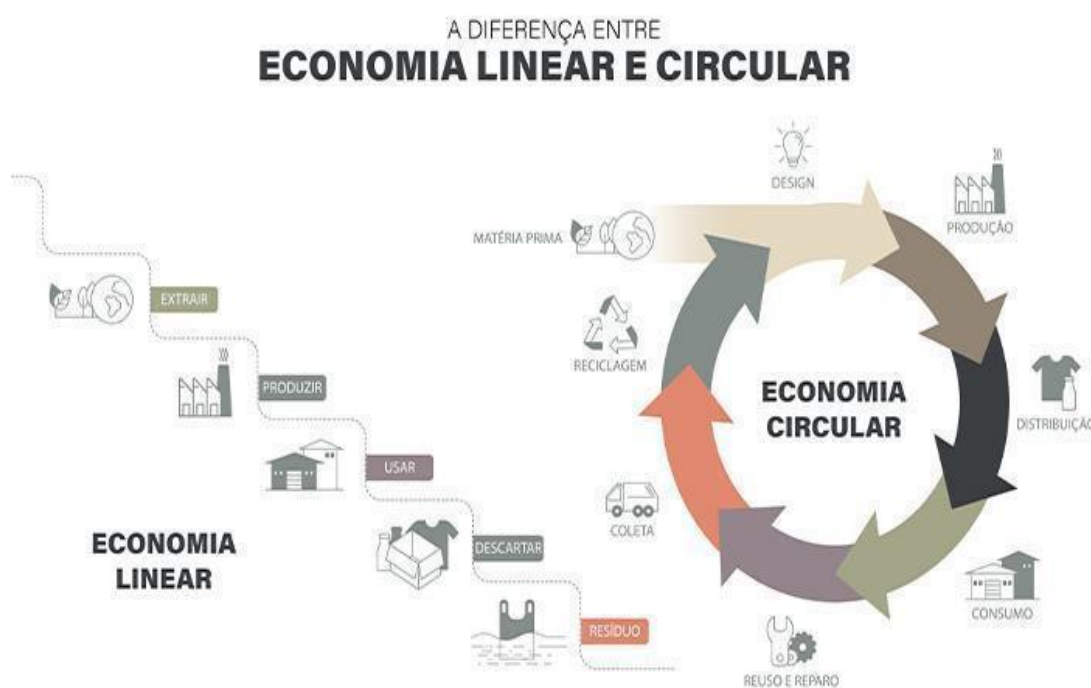


Fonte: Elaborado pela autora com base no Decreto Lei n.12.082 de 27 de junho de 2024

O modelo de economia circular contrapõe-se à lógica linear, a qual se fundamenta na extração intensiva de recursos naturais, consumo imediato e descarte ao final da vida útil dos produtos. Em oposição, a economia circular busca otimizar o uso dos recursos, reduzir a geração de resíduos e mitigar a poluição, promovendo simultaneamente a sustentabilidade ambiental, econômica e social.

A Figura 6 contém elementos que diferenciam os modelos de economia linear e circular, evidenciando suas estruturas operacionais e implicações para a gestão de recursos e resíduos.

Figura 6- Diferença entre economia linear e circular



Fonte: IVC Embalagens. Disponível em <https://ivcembalagens.com.br/economia-circular>. Acesso 09.10.24

No contexto da sustentabilidade, a logística reversa (LR) configura-se como um instrumento com potencial significativo de contribuição para o avanço do desenvolvimento sustentável. Nos termos da Lei nº 12.305/2010, a “logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social que permeia a valorização dos resíduos, o controle e o tratamento adequado, retornando-os ao setor empresarial” (BRASIL, 2010).

Embora frequentemente associadas, economia circular e logística reversa não são

conceitos equivalentes, visto que a economia circular corresponde a um modelo econômico sistêmico e abrangente, que visa ao fechamento dos ciclos produtivos por meio da extensão da vida útil dos materiais e da minimização da extração de recursos naturais, e a logística reversa, por sua vez, constitui uma das ferramentas operacionais desse modelo, sendo responsável pela reintegração dos resíduos ao ciclo produtivo, por meio de ações como reutilização, reciclagem e destinação ambientalmente adequada.

Nesse sentido, enquanto a economia circular representa uma mudança paradigmática na estrutura produtiva, a logística reversa configura-se como um mecanismo normativo e prático, previsto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que viabiliza a operacionalização desse paradigma sustentável.

A PNRS, instituída pela Lei nº 12.305/2010, organiza a gestão de resíduos sólidos no Brasil, estabelecendo diretrizes que envolvem tanto o setor público quanto o privado, e diante do crescimento populacional e da urbanização acelerada, observa-se uma intensificação na geração de resíduos sólidos urbanos, frequentemente descartados de maneira inadequada. Tal situação compromete não apenas o meio ambiente, mas também a saúde pública, uma vez que materiais recicláveis e reutilizáveis são desperdiçados, resultando em perdas de recursos naturais e aumento das emissões de CO₂, com impactos diretos sobre o clima.

Nesse cenário, a logística reversa emerge como uma estratégia fundamental, no entanto, sua implementação encontra obstáculos importantes, especialmente no que tange aos custos operacionais. Arantes e Pereira (2021) enfatizam que, tanto a destinação regular em aterros quanto a reinserção dos produtos no ciclo reverso, representam desafios econômicos significativos para as empresas. Reconhecendo que a redução de resíduos destinados a aterros e lixões, impõem altos custos, sobretudo no tratamento de resíduos industriais (Santaella, 2014).

Sob a ótica do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2020), tais custos não deveriam ser vistos como barreiras, mas sim como componentes intrínsecos ao custo de fabricação de qualquer produto, uma prática comum em países europeus, contudo, no contexto brasileiro, a ausência de incentivos públicos adequados dificulta a internalização desses custos por parte das empresas, e como alternativa, muitas organizações têm terceirizado a gestão de seus resíduos a prestadoras de serviços especializadas, que oferecem soluções tecnológicas compatíveis com as exigências legais da PNRS.

Conforme previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos, a logística reversa deve estar articulada a instrumentos como a coleta seletiva, a reciclagem, a educação ambiental e os incentivos fiscais, e entre seus objetivos estratégicos, destacam-se a redução da geração de resíduos, a eliminação de lixões e a promoção da inclusão socioeconômica dos catadores de

materiais recicláveis.

Para melhor compreensão desses propósitos, o Quadro 3, sintetiza-se os principais objetivos da PNRS no que se refere à destinação final adequada dos resíduos e à implementação da logística reversa no Brasil.

Quadro 3 - Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos

OBJETIVOS DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS
1. Proteção da saúde pública e qualidade ambiental
2. Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento de resíduos sólidos, com disposição final adequada para rejeitos.
3. Promoção de padrões sustentáveis de produção e consumo.
4. Desenvolvimento de tecnologias limpas para minimizar impactos ambientais.
5. Redução do volume e periculosidade dos resíduos perigosos.
6. Incentivo à reciclagem e uso de materiais recicláveis.
7. Gestão integrada de resíduos sólidos
8. Cooperação técnica e financeira entre esferas de poder e setor empresarial.
9. Capacitação técnica e financeira entre esferas de poder e setor empresarial.
10. Universalização dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos.
11. Prioridade a produtos reciclados e sustentáveis em aquisições governamentais.
12. Inclusão de catadores nas ações de responsabilidade compartilhada.
13. Implementação da avaliação do ciclo de vida dos produtos.
14. Desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial.
15. Estimulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Fonte: Elaborado pela autora com base na Lei n.12.305/2010 - PNRS

Assim, conforme estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, seus objetivos expressam um compromisso normativo com a sustentabilidade ambiental e com a transição para um modelo de economia circular. Entre esses objetivos, destacam-se a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, diretrizes que orientam tanto a formulação de políticas públicas quanto a atuação dos agentes privados na gestão de resíduos.

Nesse contexto, o coprocessamento, entendido como o aproveitamento de resíduos sólidos como substitutos de combustíveis fósseis ou de matérias-primas em processos industriais, como na fabricação de cimento, configura-se como uma estratégia compatível com os fundamentos da PNRS. Embora tecnicamente não se enquadre na categoria de reciclagem, o coprocessamento contribui para a valorização de resíduos ao evitar sua disposição em aterros sanitários, promovendo seu reaproveitamento energético e/ou material (SNIC, 2023).

2.5.1 Contribuições para o Desenvolvimento Sustentável

As práticas socioambientais têm adquirido papel central nas estratégias públicas e privadas de transição para modelos econômicos sustentáveis, em um cenário histórico marcado por sucessivas crises ecológicas, Jacobi (2003) argumenta que a sustentabilidade emerge como resposta à degradação ambiental provocada por padrões insustentáveis de produção e consumo.

Nesse sentido, Silveira (2017) sustenta que a adoção de estratégias sustentáveis não é mais uma opção, mas uma necessidade vital para a continuidade das atividades empresariais, para a estabilidade social e para a integridade ambiental do planeta.

A sustentabilidade empresarial, nesse contexto, é compreendida como a capacidade de alinhar os interesses econômicos da organização com a preservação ambiental e a justiça social, por meio de práticas éticas, consumo responsável e inovação em processos e produtos (SILVEIRA, 2017).

Conforme o Relatório Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, 1987), o conceito central de sustentabilidade consiste em “satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem suas próprias necessidades”.

A crescente relevância das questões ambientais na agenda empresarial pode ser observada, no Brasil, pela institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), resultado de duas décadas de debates sobre a gestão adequada dos rejeitos. No

plano internacional, destaca-se o Acordo de Paris, assinado em 2015 por 190 países, incluindo o Brasil, com metas ambiciosas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o país comprometeu-se a reduzir suas emissões em 37% (trinta e sete por cento) até 2025, o que intensifica a responsabilidade de setores produtivos e gestores públicos na implementação de soluções sustentáveis (SANTAELLA, 2014).

Entre essas soluções, destaca-se o reaproveitamento de materiais e energia por meio da logística reversa e do coprocessamento, com o objetivo de reduzir o uso de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, as emissões de CO₂ e outros GEE, tendo em visto que o coprocessamento representa uma prática ambientalmente adequada, pois transforma resíduos sólidos urbanos e industriais em insumos energéticos ou matérias-primas substitutivas, alinhando-se aos princípios da economia circular e aos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Em 2022, a retomada das atividades econômicas após a pandemia de COVID-19 gerou novas dinâmicas no setor de limpeza urbana e manejo de resíduos, e com a flexibilização das restrições sanitárias, houve aumento expressivo na geração de resíduos, especialmente em áreas comerciais e educacionais. Esse processo foi acompanhado de transformações nos padrões de consumo e descarte, o que exigiu adaptações rápidas nos sistemas de coleta e tratamento de resíduos (ABRELPE, 2022).

Do ponto de vista normativo, 2022 também se destacou pela publicação do Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a PNRS, e do Decreto nº 11.043/2022, que institui o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), principal instrumento de planejamento do setor.

O Planares estabelece diretrizes, metas e estratégias para aprimorar a gestão de resíduos no Brasil, com ênfase na valorização, redução da disposição final e inclusão socioeconômica dos catadores.

Nesse cenário, o coprocessamento desponta como solução de alto valor agregado, ao possibilitar a conversão de rejeitos em energia ou insumos industriais, sem a geração de novos resíduos. Sua aplicação prática contribui para o cumprimento das metas climáticas, para o avanço das políticas públicas e para a consolidação de um modelo de desenvolvimento mais justo e resiliente.

A aplicação desses princípios pode ser observada em experiências locais de gestão compartilhada de resíduos, em que a atuação de cooperativas e associações de catadores se articula à cadeia de valorização, inclusive como etapa prévia ao coprocessamento. Um exemplo representativo dessa dinâmica está ilustrado na Figura 7, o galpão de triagem em questão abriga três cooperativas e uma associação de catadores, que operam no local em turnos distintos,

compartilhando o espaço de forma rotativa. Essa organização viabiliza o uso eficiente da estrutura disponível e permite o funcionamento contínuo das atividades de separação e acondicionamento dos resíduos oriundos da coleta seletiva.

Ressalta-se que as informações a seguir não se constituem ainda em resultados analíticos, mas sim em uma descrição de campo, destinada a contextualizar o estudo, caracterizando os atores locais e a realidade empírica de Campo Grande/MS e Bodoquena/MS. Os resultados propriamente ditos serão apresentados no Capítulo 6.

Figura 7 – Galpão de triagem compartilhado entre cooperativas



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

Atualmente, o galpão recebe cerca de 500 toneladas/mês de resíduos recicláveis. Desse total, aproximadamente 300 toneladas/mês são efetivamente triadas e encaminhadas para reciclagem pelas cooperativas. O volume restante, equivalente a 200 toneladas/mês, é classificado como rejeito, por não atender aos critérios técnicos de reaproveitamento ou por estar contaminado.

A Figura 8 ilustra a organização logística das operações realizadas no galpão de triagem, evidenciando as condições estruturais e o fluxo de resíduos provenientes da coleta seletiva. A partir dessa visualização empírica, é possível compreender como a prática do reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos, em especial por meio do coprocessamento, pode

representar uma estratégia concreta de conformidade com a legislação ambiental brasileira. Nesse sentido, convém destacar os dispositivos legais que fundamentam a distinção entre destinação e disposição final ambientalmente adequada, conforme preceituado na Lei nº 12.305/2010.

Figura 8 – Caçambas para armazenamento de rejeitos recicláveis



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

Entre os mecanismos disponíveis para assegurar a conformidade com a legislação ambiental brasileira, destaca-se a adoção de práticas de coprocessamento, as quais favorecem a valorização de resíduos sólidos e evitam sua destinação inadequada a aterros sanitários. Para que tais práticas estejam em consonância com o ordenamento jurídico, é essencial compreender a distinção entre dois conceitos definidos no artigo 3º da Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos):

VII – destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou

riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

VIII – disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (BRASIL, 2010, grifo nosso)

A distinção é clara: enquanto a destinação final inclui práticas de reaproveitamento e valorização dos resíduos, como o coprocessamento, a disposição final refere-se apenas ao encaminhamento de rejeitos aos aterros sanitários.

Nesse sentido, o coprocessamento se insere como instrumento de destinação ambientalmente adequada, alinhado aos princípios da economia circular e da gestão integrada de resíduos.

No Estado de Mato Grosso do Sul, destaca-se a atuação da indústria InterCement no município de Bodoquena, onde, na segunda etapa da produção de cimento (cozimento do clínquer), resíduos sólidos urbanos e industriais são utilizados como substitutos energéticos ao combustível fóssil tradicional. Tal prática contribui para a redução das emissões atmosféricas e para o cumprimento de metas legais e ambientais.

Com o objetivo de operacionalizar esse modelo de destinação sustentável, a InterCement, em parceria com a empresa EcoSupply e cooperativas locais de catadores, estruturou um arranjo interinstitucional para a triagem, pré-processamento e envio dos resíduos ao coprocessamento. A seguir, descrevem-se as etapas que compõem essa operação (Quadro 4).

Quadro 4 – Etapas operacionais do modelo de coprocessamento no município de Bodoquena/MS

Atividade	Descrição	Objetivo	Responsável
Enfardamento	Enfardar os rejeitos da cooperativa, quantificando os recursos necessários (tempo, pessoas e materiais). Pesar os fardos para avaliar produtividade.	Mensurar o custo por tonelada para enfardamento e precificar o valor de "venda" dos rejeitos	Cooperativas UTR
Carregamento	Carregamento das caixas basculante com o material enfardado. Avaliação da melhor forma ou equipamento para carregar o veículo.	Avaliar o grau de enchimento da carga com o fardo do rejeito, avaliação dos custos e riscos de segurança.	Cooperativas UTR

Transporte Ecosupply	Envio de veículo para transporte dos rejeitos da UTR até a Ecosupply	Avaliar o tempo de viagem e riscos a segurança no descarregamento. Validar custo de transporte.	Ecosupply
Separação	Através de mesa de Catação e Extrator Ferroso, equipe fará a separação manual dos recicláveis e PVC e pelo extrator ferroso as sucatas ferrosas serão separadas. Posteriormente os materiais serão pesados.	Levantar quantidade de PVC, recicláveis e sucata ferrosa	Ecosupply e InterCement
Trituração e Blendagem	Trituração do rejeito das cooperativas e mistura do material triturado com outros resíduos para aumento de densidade	Mensurar produtividade e custo de trituração	Ecosupply e InterCement
Transporte BDQ	Carregamento e transporte até a fábrica de cimento da InterCement em Bodoquena. Veículo utilizado de 9 eixos basculante.	Avaliar grau de enchimento e validação de custo.	Ecosupply e InterCement
Coprocessamento	Destruição térmica do CDR/Blend	Avaliar comportamento do material nas correias e no forno, além de analisar a qualidade do CDR/Blend enviado	InterCement
Certificação	Validação do MTR e Emissão do CDF no SINIR	Apresentar para os envolvidos o fim da vida do resíduo com o aproveitamento da fração energética contida nele.	InterCement

Fonte: Elaborado pela autora com base em informações da InterCement e Ecosupply (2024)

O Quadro 5 sintetiza os principais elementos da cadeia de suprimentos dos resíduos reaproveitados no Projeto Bodoquena/MS, destacando práticas colaborativas, de continuidade, gestão de riscos e inovação adotadas pelas organizações envolvidas. A articulação entre os atores, como Solurb, InterCement, Ecosupply, e a Cooperativa, revela um modelo de governança baseado na confiança mútua, na comunicação transparente e no desenvolvimento de parcerias de longo prazo.

Quadro 5 – Elementos da cadeia de suprimentos e práticas adotadas no Projeto Bodoquena/MS

CATEGORIA	PRÁTICAS	PROJETO BODOQUENA
CONTINUIDADE	Desenvolvimento de Parceiros e relações de longo prazo	Confiança entre todos os parceiros é explicitada nas entrevistas, reforçando compromisso de longo prazo.
COLABORAÇÃO	Integração Tecnológica	
	Integração Logística	A Solurb desenvolveu uma ótima relação com o cooperado e mantém uma comunicação transparente
	Comunicação Aprimorada	InterCement, Cooperativas Ecosuply e Solurb tomada de decisão integrada
	Desenvolvimento	Apresentação dos Cooperados
	Conjunto	Projetos de interesse em comum
GESTÃO DE RISCO	Monitoramento Seletivo	InterCement atenta aos riscos do suprimento
PROATIVIDADE	Aprendizado	Motivação dos parceiros
	Inovação	

Fonte: Elaborado pela autora com base em informações da InterCement e Ecosupply (2024)

Diante dos desafios impostos pelo ciclo de vida dos produtos e da necessidade de concretizar o princípio do desenvolvimento sustentável de forma sistêmica e integrada, torna-se essencial considerar, de maneira simultânea, as dimensões social, econômica e ambiental na formulação de estratégias industriais.

Nesse contexto, a indústria cimenteira, em razão de sua elevada intensidade energética e significativo impacto ambiental, é instada a adotar práticas mais sustentáveis ao longo de sua cadeia produtiva, e uma das vertentes críticas nesse processo é a gestão sustentável da cadeia de suprimentos, promovendo o uso racional de recursos naturais e a valorização de resíduos.

Considerando que o cimento é a segunda substância mais consumida no mundo, atrás apenas da água, a geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos (RSU) desponta

como alternativa viável e estratégica para mitigar a pressão sobre recursos escassos e enfrentar o crescente problema da destinação inadequada de resíduos. Embora a gestão dos resíduos constitua uma questão de abrangência global, sua abordagem exige soluções localizadas e territorializadas, que levem em conta as especificidades dos resíduos gerados em cada região.

Nesse sentido, a elaboração e implementação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) mostra-se fundamental para orientar as ações voltadas à gestão ambientalmente adequada dos resíduos, incluindo aspectos legais como a responsabilidade compartilhada entre fornecedores e operadores logísticos envolvidos na destinação final, conforme argumenta Leite (2011).

A esse conjunto de instrumentos soma-se a Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021, conhecida como Lei de Incentivo à Reciclagem, que institui mecanismos de apoio a projetos voltados à reutilização, tratamento e transformação de resíduos sólidos. A norma estabelece incentivos fiscais a pessoas físicas e jurídicas que patrocinem iniciativas de reciclagem, além de fomentar um ambiente institucional propício ao investimento em infraestrutura, inovação tecnológica e capacitação de atores sociais.

Trata-se de legislação complementar à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), por reforçar os princípios da economia circular, da inclusão social e da responsabilidade compartilhada.

Nesse escopo, a Lei nº 14.260/2021 dialoga diretamente com a prática do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos, ao incentivar estratégias que reduzem o volume de rejeitos encaminhados a aterros e promovem sua valorização energética e material, visto que a sua efetivação pode representar um mecanismo estruturante de fomento à inclusão socioproductiva de catadores e cooperativas, ao mesmo tempo em que contribui para o cumprimento dos princípios constitucionais da proteção ambiental, da dignidade do trabalho e da promoção do desenvolvimento sustentável.

2.6. O Coprocessamento como estratégia de Desenvolvimento Local Sustentável

A sustentabilidade dos territórios pressupõe a articulação entre crescimento econômico, proteção ambiental e justiça social, em uma dinâmica que respeite as singularidades locais e valorize as vocações endógenas.

Nesse contexto, o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer se apresenta como uma tecnologia estratégica para impulsionar o desenvolvimento local sustentável, à medida que converte passivos ambientais em ativos

produtivos, promove inovação industrial e gera externalidades positivas em escala regional.

De acordo com Sachs (2008), o desenvolvimento local deve ser compreendido como um processo construído a partir das potencialidades do território, com protagonismo dos atores locais e respeito às características socioambientais e culturais da região, assim, coprocessamento se insere nesse modelo por seu caráter descentralizado e por demandar ações conjuntas entre empresas cimenteiras, cooperativas de catadores, órgãos públicos e comunidades locais, tendo em vista que trata de uma estratégia que vai além da simples substituição de combustíveis fósseis, englobando ações de planejamento urbano, educação ambiental, fortalecimento institucional e geração de renda.

A implementação do coprocessamento requer uma rede articulada de atores, incluindo o setor empresarial, responsável pela adequação tecnológica dos processos produtivos; o poder público, encarregado da regulação e fiscalização; as cooperativas e associações de catadores, que atuam na triagem e fornecimento dos resíduos; e a sociedade civil, enquanto consumidora, geradora de resíduos e agente de controle social. Essa integração institucional e social materializa o princípio da responsabilidade compartilhada, previsto no art. 30 da Lei nº 12.305/2010, e fortalece a governança ambiental participativa, elemento indispensável à efetividade das políticas públicas ambientais em escala local.

No plano institucional, o coprocessamento também se vincula aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente os ODS 9 (indústria, inovação e infraestrutura), 11 (cidades sustentáveis), 12 (produção e consumo responsáveis) e 13 (ação contra a mudança climática), posto que ao substituir combustíveis fósseis por resíduos urbanos e industriais, essa prática contribui para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e valoriza materiais que seriam descartados e estimula a transição para uma economia circular.

A viabilidade do coprocessamento como vetor de desenvolvimento local manifesta-se em experiências concretas nos municípios de Campo Grande e Bodoquena (MS), onde empresas como Solurb, InterCement e EcoSupply atuam de forma articulada com o poder público e organizações sociais para estruturar cadeias locais de valorização de resíduos. Essa cooperação interinstitucional evidencia o potencial transformador do coprocessamento quando integrado a políticas públicas de gestão de resíduos, ações de capacitação técnica e estratégias de inclusão produtiva.

O desenvolvimento local, nesse contexto, demanda uma releitura crítica das práticas econômicas e sociais a partir das especificidades territoriais, com base na articulação de saberes locais, redes institucionais e formas solidárias de produção (ÁVILA, 2012). Nessa perspectiva,

o coprocessamento ultrapassa seu caráter técnico-operacional e se configura como uma estratégia que mobiliza recursos endógenos e amplia capacidades sociais no enfrentamento das desigualdades socioambientais.

Ainda segundo Ávila (2012), é por meio da coesão institucional e da corresponsabilidade entre atores sociais, empresariais e governamentais que se constroem alternativas viáveis de desenvolvimento sustentável no território. Essa lógica encontra expressão nas iniciativas observadas em Campo Grande, nas quais a inclusão produtiva de catadores, o reaproveitamento de resíduos e o fortalecimento de parcerias público-privadas convergem para a geração de benefícios ambientais e sociais significativos.

Para sistematizar os impactos positivos dessa articulação, no Quadro 6 contém uma breve análise das contribuições institucionais, econômicas, ambientais e sociais observadas para os principais agentes envolvidos no contexto de Campo Grande (MS).

Quadro 6 – Dimensões e pontos positivos do coprocessamento de RSU em fornos rotativos de clínquer para os principais atores em Campo Grande (MS)

ATORES ENVOLVIDOS	DIMENSÃO	PONTOS POSITIVOS
SOLURB (Concessionária de limpeza urbana)	JURÍDICA E CONTRATUAL	Atende à PNRS e a cláusulas
	ECONÔMICA	Reduz custos de disposição final em aterros.
	AMBIENTAL	Diminui a emissão de GEE
	INSTITUCIONAL	Consolida imagem como gestora ambientalmente responsável.
InterCement (Indústria cimenteira)	JURÍDICA	Cumprir resoluções ambientais (CONAMA 499/2020) e metas da PNMC.
	ECONÔMICA	Reduz custos com combustíveis fósseis; uso de CDRU como insumo energético.
	TECNOLÓGICA	Estimula inovações nos sistemas de combustão.
	AMBIENTAL	Alinha-se às metas ESG e compromissos de descarbonização.
EcoSupply (Fornecedora de CDRU)	ECONÔMICA	Expande mercado para venda de CDRU com contratos industriais.
	TECNOLÓGICA	Consolida know-how em tecnologia de valorização energética.
	NORMATIVA	Atua conforme diretrizes da PNRS e marcos estaduais.

	AMBIENTAL	Contribui para a valorização energética de resíduos não recicláveis.
Município de Campo Grande (MS)	JURÍDICA E INSTITUCIONAL	Cumpre obrigações legais de gestão integrada e eliminação de lixo.
	ECONÔMICA	Reduz gastos com ampliação de aterros; atrai investimentos.
	SOCIAL	Gera empregos e inclui catadores em cadeias de valorização.
	AMBIENTAL	Melhora indicadores urbanos e ambientais, inserindo a cidade em agendas climáticas.

Fonte: Elaboração própria, com base em BRASIL (2010), SNIC (2023), IPEA (2020).

No âmbito do que se tem sobre as dimensões e pontos positivos, para que o coprocessamento cumpra seu papel de catalisador do desenvolvimento local, é imprescindível o fortalecimento do marco legal e a criação de incentivos econômicos e fiscais.

O reconhecimento do Crédito de Logística Reversa (CLR), previsto no Decreto nº 11.413/2023, é um exemplo de política pública que pode estimular a adoção dessa prática, ao permitir que empresas contabilizem os resíduos reaproveitados como cumprimento de metas legais, gerando valor econômico a partir de ações sustentáveis.

Esse processo está em consonância com a concepção de desenvolvimento local como um fenômeno endógeno e emancipatório, que, segundo Ávila (2012), exige a mobilização das capacidades sociais e produtivas do território, fundamentando-se na participação ativa da comunidade e na valorização de seus recursos humanos, sociais e ambientais. De forma similar, Sachs (2004) argumenta que o desenvolvimento territorial sustentável depende da integração simultânea de dimensões ecológicas, sociais e econômicas, exigindo políticas que promovam sinergias entre inclusão social, inovação produtiva e uso racional dos recursos naturais. Além disso, o fortalecimento da governança local e das redes institucionais são essenciais para a viabilização de estratégias de desenvolvimento sustentável, uma vez que a fragmentação institucional compromete a eficácia das ações públicas e privadas voltadas à sustentabilidade (CARVALHO, 2001)

Por fim, o sucesso do coprocessamento como estratégia de desenvolvimento local está diretamente relacionado à construção de um ambiente de confiança institucional, com transparência nos processos, inclusão social, segurança jurídica e capacidade de inovação tecnológica. Dessa forma, mais do que uma solução técnica para a destinação de resíduos, o

coprocessamento representa um paradigma de transformação territorial, que alia eficiência ambiental, justiça social e dinamismo econômico.

3 REGIME JURÍDICO DO COPROCESSAMENTO DE RSU: FRAGMENTAÇÃO NORMATIVA, PRÁTICAS NACIONAIS E DIRETRIZES PARA UMA LEI ESPECÍFICA

A análise do regime jurídico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) revela um cenário normativo fragmentado, marcado pela ausência de legislação específica que regule de forma clara, técnica e sistematizada o aproveitamento energético de frações não recicláveis em fornos rotativos de produção de clínquer.

Embora o ordenamento jurídico brasileiro contemple princípios e diretrizes gerais sobre gestão de resíduos, sustentabilidade e responsabilidade ambiental, a falta de um marco legal próprio para o coprocessamento limita a segurança jurídica dos agentes envolvidos, dificulta o planejamento de políticas públicas e compromete a implementação de soluções ambientalmente adequadas e economicamente viáveis no âmbito da economia circular.

Diante dessa lacuna, este capítulo se propõe a examinar criticamente o conjunto normativo atualmente aplicável, evidenciando os entraves decorrentes da dispersão legislativa, bem como as iniciativas institucionais e boas práticas em curso em diferentes regiões do país.

A partir dessa análise, busca-se consolidar diretrizes para a construção de um marco legal específico, capaz de integrar aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais, promovendo a valorização dos resíduos urbanos e o fortalecimento de arranjos locais sustentáveis, tendo em vista que o objetivo é contribuir para o avanço da governança ambiental no Brasil, alinhada aos compromissos internacionais assumidos pelo país no âmbito da Agenda 2030 e da transição para modelos de produção e consumo mais sustentáveis.

3.1 A fragmentação normativa e a ausência de marco legal específico no Brasil

O coprocessamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) em fornos rotativos de clínquer

é reconhecido como alternativa tecnológica ambientalmente adequada, em consonância com os princípios da economia circular, da responsabilidade compartilhada e da valorização energética, conforme previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Contudo, o Brasil ainda não dispõe de um marco legal específico que discipline, de forma abrangente, integrada e vinculativa, o uso do Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU) como substituto energético no setor cimenteiro.

Essa lacuna normativa tem gerado assimetrias regulatórias entre as unidades federativas, insegurança jurídica nos processos de licenciamento ambiental e dificuldades para a consolidação de modelos de negócio sustentáveis, como alerta Fiorillo (2021, p. 79), "a ausência de normas claras e articuladas no campo do direito ambiental provoca insegurança jurídica e desestimula o investimento em tecnologias sustentáveis".

Em linha semelhante, Loures (2018) argumenta que a previsibilidade regulatória é condição necessária para a transição ecológica, sendo o direito ambiental chamado a atuar como "instrumento estruturante de políticas públicas sustentáveis e integradas", assim a ausência de normatização específica, portanto, compromete a efetividade do princípio da função socioambiental da atividade econômica, ao limitar o uso de tecnologias que conciliam mitigação de emissões, redução de resíduos e inclusão social.

Ademais, a falta de diretrizes Federais claras sobre o coprocessamento dificulta sua integração com outras políticas públicas, especialmente as de gestão integrada de resíduos sólidos, mitigação das mudanças climáticas, matriz energética renovável e desenvolvimento local com base em cadeias circulares, e segundo Porto (2019), a fragmentação normativa no setor ambiental brasileiro cria zonas cinzentas de competência e descontinuidade institucional, dificultando a implementação de soluções tecnológicas complexas como o CDRU.

Diante disso, torna-se urgente a elaboração de um marco regulatório nacional para o coprocessamento, capaz de harmonizar normas ambientais, técnicas e econômicas, assegurar a segurança jurídica dos agentes envolvidos e viabilizar o alinhamento do Brasil aos compromissos internacionais da Agenda 2030 e do Acordo de Paris.

3.2 Marcos Jurídicos vigentes no Brasil: Limites e contradições

A ausência de um marco legal específico e unificado para o coprocessamento de resíduos sólidos no Brasil resulta em uma regulamentação pulverizada, distribuída entre instrumentos normativos de diferentes esferas e com distintos níveis de obrigatoriedade.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010) constitui o principal

marco legal sobre o tema, ao estabelecer a hierarquia de gestão de resíduos, priorizando a não geração, seguida pela redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, por fim, a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010), e dentro dessa lógica, o coprocessamento se insere como alternativa tecnológica compatível com os princípios de valorização de resíduos e promoção da economia circular.

Em complemento, a Resolução CONAMA n. 499/2020 regula o uso de resíduos como combustível alternativo em fornos de clínquer, aplicando-se particularmente ao setor cimenteiro. Essa norma estabelece requisitos que abrange a caracterização físico-química dos resíduos, avaliação de riscos e comprovação da viabilidade técnica e ambiental do processo, constituindo um avanço normativo em relação à segurança e à eficiência do coprocessamento (CONAMA, 2020).

Adicionalmente, a ABNT NBR 16605:2017, embora não possua força obrigatória, oferece diretrizes técnicas para a produção e uso do Combustível Derivado de Resíduos (CDR), visto que a norma define padrões de qualidade, critérios de segurança e parâmetros de classificação que auxiliam na padronização técnica da atividade (ABNT, 2017), contudo, sua natureza não vinculante limita a uniformidade regulatória e a fiscalização do setor.

Por sua vez, o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei n. 14.026/2020) introduz diretrizes para a universalização da prestação dos serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos, ainda que não mencione explicitamente o coprocessamento como estratégia preferencial, a norma valoriza soluções sustentáveis, integradas e tecnologicamente apropriadas, reforçando o papel do planejamento e da inovação na gestão dos resíduos (BRASIL, 2020).

Além do corpo normativo, a doutrina do Direito Ambiental também oferece fundamentos que legitimam o uso do coprocessamento, conforme salienta Paulo Affonso Leme Machado, “a atividade poluente acaba sendo uma apropriação pelo poluidor dos direitos de outrem, pois na realidade a emissão poluente representa um confisco dos direitos de alguém em respirar ar puro, beber água saudável e viver em tranquilidade” (MACHADO, 2010, p. 234).

Nesse sentido, o coprocessamento, ao viabilizar a destruição térmica controlada de resíduos e reduzir o uso de combustíveis fósseis, contribui para a mitigação da poluição e para a proteção dos direitos difusos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, alinha-se, assim, aos princípios constitucionais da prevenção, função socioambiental da atividade econômica e desenvolvimento sustentável, reforçando a responsabilidade compartilhada entre o Estado, o setor produtivo e a sociedade.

Com o objetivo de sistematizar as normas atualmente vigentes no ordenamento

jurídico brasileiro que tratam, direta ou indiretamente, do coprocessamento de resíduos sólidos, apresenta-se, a seguir, um quadro-resumo contendo os principais instrumentos legais e normativos aplicáveis à matéria.

O Quadro 7 evidencia que, embora o Brasil ainda careça de um marco legal específico e unificado para o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos, já existe um conjunto de dispositivos normativos que, de forma complementar, delineiam um caminho regulatório em construção. Esses instrumentos oferecem diretrizes técnicas, operacionais e ambientais que contribuem para a conformação progressiva de um regime jurídico funcional, ainda que marcado pela fragmentação normativa.

A formulação das diretrizes para um marco legal específico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos decorre de uma abordagem jurídico-dogmática de caráter indutivo. Partindo da análise da fragmentação normativa existente e das práticas nacionais, a pesquisa identificou a lacuna regulatória e, a partir dela, elaborou subsídios propositivos. Essa construção dialoga com o chamado ciclo wallaceano⁷, em que a preparação (revisão legislativa e documental) e a incubação (reflexão crítica sobre a insuficiência normativa) conduzem à iluminação (proposição de diretrizes) e à verificação (confronto com experiências nacionais e internacionais).

Quadro 7 - Normas Aplicáveis ao Coprocessamento no Brasil

INSTRUMENTO	CONTEÚDO
Lei n. 12.305/2010 (PNRS)	Hierarquia de gestão; responsabilidade compartilhada; logística reversa
Lei n. 14.026/2020	Diretrizes para manejo adequado dos resíduos; metas de universalização
Resolução CONAMA n. 499/2020	Critérios técnicos e ambientais para o coprocessamento em fornos de clínquer
ABNT NBR 16605:2017	Parâmetros técnicos para produção e uso de CDR

Fonte: Elaborado pela autora com base na Lei n. 12.305/2010, Lei n 14.026/2020, Resolução do CONAMA n.499/2020 e ABNT NBR 16605:2017

A presença de normas com diferentes graus de coercitividade como leis federais, resoluções administrativas e normas técnicas, revela uma estrutura jurídica em formação, na

⁷ O ciclo wallaceano foi proposto por Graham Wallace em *The Art of Thought* (1926), estruturando o processo de investigação científica em quatro etapas: preparação, incubação, iluminação e verificação. Trata-se de um referencial metodológico clássico, ainda hoje utilizado em pesquisas das ciências sociais aplicadas.

qual coexistem obrigações legais, recomendações técnicas e diretrizes operacionais. Essa multiplicidade normativa, embora fragmentada, permite certa flexibilidade interpretativa e adaptabilidade às realidades locais, sendo especialmente relevante em um contexto de transição para modelos produtivos mais sustentáveis. Ao mesmo tempo, reforça-se a necessidade de harmonização e integração normativa para garantir segurança jurídica, padronização de critérios técnicos e efetividade ambiental no uso do coprocessamento como estratégia de valorização de resíduos

3.2.1 Legislação Federal Aplicável

O coprocessamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil é regulado por um conjunto de normas legais e infralegais que têm por objetivo assegurar a segurança ambiental, a proteção à saúde pública e a eficiência no uso de recursos naturais.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, constitui o principal marco normativo sobre o tema, estabelecendo os princípios da gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos. Entre suas diretrizes, destacam-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a hierarquização das ações de manejo, priorizando, nesta ordem: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e, por fim, disposição final ambientalmente adequada (art. 9º).

No que tange à dimensão social da política, o artigo 7º, inciso XII, da mesma lei determina que a inclusão dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações de responsabilidade compartilhada é condição fundamental para a efetividade da PNRS. Essa previsão normativa evidencia o reconhecimento jurídico do papel desempenhado por esses trabalhadores e suas cooperativas na cadeia de gestão de resíduos, conferindo-lhes status de atores estratégicos na promoção da justiça social, da inclusão produtiva e na transição para modelos circulares de desenvolvimento.

Em relação específica ao coprocessamento, a PNRS o reconhece como forma de destinação ambientalmente adequada, ao incluir, na hierarquia estabelecida no artigo 9º, a valorização energética como alternativa complementar às demais etapas da cadeia de reaproveitamento. O uso de resíduos como combustível alternativo em processos industriais, como na produção de clínquer, atende aos objetivos da política ao evitar a disposição em aterros sanitários, reduzir a extração de matérias-primas virgens e mitigar os impactos ambientais associados à destinação inadequada.

Dessa forma, a Lei nº 12.305/2010 não apenas autoriza, mas incentiva expressamente

a adoção do coprocessamento, reafirmando-o como instrumento normativo alinhado aos princípios da economia circular e aos compromissos socioambientais assumidos pelo Brasil no âmbito do desenvolvimento sustentável.

O coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer é uma atividade expressamente regulamentada no ordenamento jurídico brasileiro, estando incorporada ao escopo da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e disciplinada, de forma específica, pela Resolução CONAMA nº 499/2020.

Essa resolução estabelece os critérios técnicos e ambientais para o licenciamento ambiental do coprocessamento, determinando limites máximos de emissões atmosféricas, incluindo poluentes como material particulado, óxidos de nitrogênio e dioxinas, além de requisitos para a triagem, segregação e tratamento prévio dos resíduos utilizados como combustível alternativo. O normativo também define parâmetros para a substituição parcial de combustíveis fósseis por resíduos sólidos aptos à valorização energética, assegurando que o processo ocorra de forma tecnicamente segura, ambientalmente adequada e socialmente responsável.

Ao regulamentar as condições operacionais e ambientais para o aproveitamento energético de resíduos, a Resolução CONAMA nº 499/2020 consolida o coprocessamento como instrumento efetivo da PNRS, ao promover a destinação final ambientalmente adequada, a redução da dependência de combustíveis fósseis e a mitigação das emissões de CO₂, em consonância com os princípios da economia circular e da produção mais limpa.

Dessa forma, o coprocessamento não apenas cumpre função técnica no setor cimenteiro, mas também se afirma como estratégia estruturante para a gestão sustentável de resíduos urbanos no Brasil.

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. (GRIFO NOSSO)

Apesar dos avanços tecnológicos e das estratégias adotadas pelos principais produtores mundiais, o maior desafio ambiental da indústria cimenteira permanece: reduzir suas emissões de dióxido de carbono (CO₂) frente à expectativa de crescimento no consumo de cimento nas próximas décadas.

Segundo Gartner et al. (2018) e Hurme e Kajaste (2016), embora haja esforços consistentes no sentido de mitigar as emissões, a taxa global de aumento da produção ainda supera os índices de redução de CO₂, indicando uma assimetria preocupante entre expansão econômica e responsabilidade climática.

No plano normativo brasileiro, destacam-se duas resoluções federais relevantes para o controle das emissões atmosféricas associadas aos fornos de cimento. A Resolução CONAMA nº 499/2020 regulamenta os critérios específicos para o licenciamento ambiental da atividade de coprocessamento, estabelecendo limites de emissão e exigências técnicas para o uso de resíduos como combustíveis alternativos. Complementarmente, a Resolução CONAMA nº 316/2002 dispõe sobre os procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de

tratamento térmico de resíduos, abrangendo aspectos de monitoramento, operação e controle das emissões, aplicáveis também à indústria cimenteira, como segue:

Art. 2º Considera-se, para os fins desta Resolução: I - Resíduos: os materiais ou substâncias, que sejam inservíveis ou não passíveis de aproveitamento econômico, resultantes de atividades de origem industrial, urbana, serviços de saúde, agrícola e comercial dentre os quais incluem-se aqueles provenientes de portos, aeroportos e fronteiras, e outras, além dos contaminados por agrotóxicos; II - Melhores técnicas disponíveis: o estágio mais eficaz e avançado de desenvolvimento das diversas tecnologias de tratamento, beneficiamento e de disposição final de resíduos, bem como das suas atividades e métodos de operação, indicando a combinação prática destas técnicas que levem à produção de emissões em valores iguais ou inferiores aos fixados por esta Resolução, visando eliminar e, onde não seja viável, reduzir as emissões em geral, bem como os seus efeitos no meio ambiente como um todo.

Considerando a tradição civilista brasileira, observa-se que, historicamente, a gestão dos resíduos sólidos era tratada como atribuição privada, cabendo ao Estado apenas a atuação em questões de natureza sanitária, como a limpeza urbana, a coleta e o transporte dos resíduos até sua destinação final. Tal abordagem, limitada às políticas públicas de saneamento básico, prevaleceu até o advento de um marco legal específico (SILVA, 2016).

Após décadas de discussões legislativas e diante da crescente degradação ambiental associada à disposição inadequada de resíduos, foi promulgada, em 2 de agosto de 2010, a Lei nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Esta norma representou uma inflexão paradigmática na gestão ambiental brasileira, ao estabelecer princípios, diretrizes e instrumentos voltados ao gerenciamento integrado e sustentável dos resíduos sólidos (SILVA, 2016).

Entre as inovações centrais da PNRS, destaca-se a determinação da eliminação dos lixões a céu aberto, com a consequente obrigatoriedade da implantação de aterros sanitários regulamentados e a proibição da instalação de moradias sobre áreas de disposição irregular.

Além disso, a lei impõe aos entes municipais a responsabilidade de implementar coleta seletiva, sistemas de compostagem para resíduos orgânicos e ações que promovam a inclusão socioeconômica dos catadores.

Em seu artigo 9º, a legislação estabelece uma hierarquia normativa para o gerenciamento de resíduos, que deve observar, em ordem prioritária: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, por fim, disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Essa lógica normativa visa transformar o modelo de consumo e produção vigente, promovendo a transição para uma economia circular.

A PNRS também reconhece o resíduo sólido reutilizável e reciclável como bem econômico e de valor social, destacando seu potencial para geração de trabalho, renda, promoção da cidadania e dignidade humana (MATTOS, 2013).

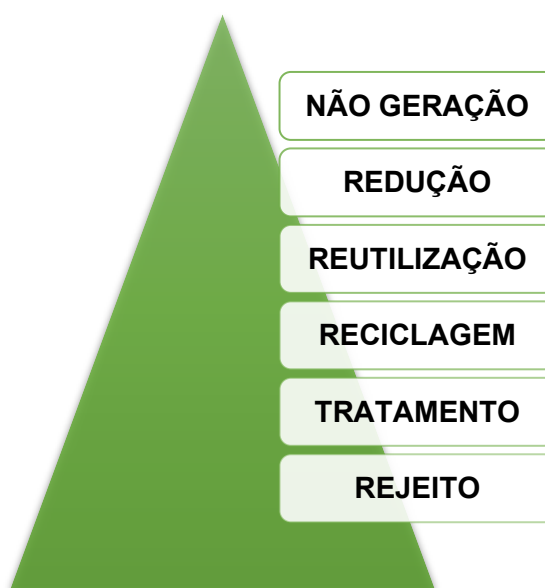
Nessa perspectiva, a gestão dos resíduos transcende sua dimensão operacional e passa a integrar políticas públicas estruturantes de desenvolvimento sustentável.

Por fim, a PNRS estabelece diretrizes para a formulação de Planos de Gestão de Resíduos Sólidos, exigindo que estes contemplem todos os tipos de resíduos gerados, com a definição de metas quantitativas e qualitativas, programas, projetos e ações correspondentes.

Trata-se, portanto, de um instrumento normativo de caráter estratégico, que estrutura o arcabouço jurídico necessário à consolidação de práticas como o coprocessamento, em consonância com os princípios da precaução, prevenção, responsabilidade compartilhada e sustentabilidade.

A Figura 9 sintetiza visualmente os fundamentos da hierarquia da gestão de resíduos, conforme estabelecido na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, evidenciando a prioridade dada à não geração, à redução, à reutilização, à reciclagem e, por fim, à disposição final adequada dos rejeitos. Esse ordenamento estratégico serve como base para a formulação de políticas públicas e instrumentos normativos voltados à sustentabilidade e à economia circular.

Figura 9 – Hierarquia da Gestão de Resíduos



Fonte: Elaborado pela autora, com base na Lei n. 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), 2024.

Nesse contexto, a Lei nº 14.026/2020, conhecida como novo marco legal do saneamento básico, representa um avanço significativo ao incorporar diretrizes que reforçam esse modelo hierárquico e ampliam as responsabilidades dos entes federativos, agências reguladoras e prestadores de serviços públicos no que tange à gestão eficiente e integrada dos resíduos sólidos urbanos.

Entre as alterações mais significativas, destacam-se a obrigatoriedade da cobrança pela prestação dos serviços, com vistas à sustentabilidade econômica dos sistemas, e a vedação à renúncia de receitas, conforme preconiza a Lei de Responsabilidade Fiscal (Lei Complementar nº 101/2000).

A norma também promoveu a revisão dos prazos originalmente estabelecidos no artigo 54 da Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), que previa a eliminação dos lixões até agosto de 2014. Com a nova legislação, os prazos passaram a ser escalonados conforme o porte populacional dos municípios.

Foram fixadas datas diferenciadas para os municípios com população superior a 100 mil habitantes, entre 50 mil e 100 mil habitantes e com menos de 50 mil habitantes, culminando em uma data-limite nacional unificada: 2 de agosto de 2024. A partir dessa data, todos os municípios brasileiros deverão estar em conformidade com as exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos, garantindo a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos, conforme estabelece o Decreto nº 10.940/2022, que alterou o Decreto nº 7.404/2010, regulamentando a Lei nº 12.305/2010.

Nesse cenário, observa-se um aumento dos investimentos privados em tecnologias de reaproveitamento e tratamento de materiais descartados, como resposta às exigências legais e à pressão por soluções ambientalmente responsáveis.

Destaca-se, nesse contexto, a atuação da empresa Ecosupply, fundada em 1992, especializada na gestão de resíduos industriais perigosos e não perigosos. A empresa oferece serviços de tratamento e descarte de emulsões aquosas, efluentes industriais e óleos solúveis, bem como reciclagem de óleos industriais, hidrojateamento e soluções para resíduos oleosos. Essas ações estão alinhadas aos princípios da economia circular e ao uso energético desses materiais por meio do coprocessamento.

O engajamento de empresas como a Ecosupply reforça a importância das parcerias público-privadas para o cumprimento das metas legais estabelecidas pelo novo marco legal do saneamento básico e pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Evidencia-se, assim, que a adoção de práticas sustentáveis e a conformidade ambiental constituem vetores estratégicos para o desenvolvimento local e a sustentabilidade setorial no médio e longo prazo

3.2.2 Normas técnicas da ABNT aplicáveis ao coprocessamento de Resíduos Sólidos

O coprocessamento de resíduos sólidos urbanos é regulado por um conjunto de normas técnicas que asseguram a segurança ambiental, a proteção à saúde pública e a padronização dos procedimentos operacionais. No contexto brasileiro, destaca-se o papel normativo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cujas diretrizes complementam os marcos legais, como a Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e a Resolução CONAMA nº 499/2020.

Além dessas normas, destaca-se a Portaria nº 274, de 30 de abril de 2019, do Ministério do Meio Ambiente, que estabelece critérios específicos para o licenciamento ambiental e o controle de emissões atmosféricas associadas ao coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Essa portaria define os parâmetros para monitoramento contínuo de poluentes, limites de emissão e condições operacionais para garantir que o processo ocorra de forma ambientalmente segura. Sua aplicação reforça o compromisso normativo com a segurança técnica, a proteção da saúde pública e a minimização dos impactos ambientais, alinhando-se aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos e às diretrizes da Resolução CONAMA nº 499/2020.

A NBR 16605:2017, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece os requisitos e procedimentos técnicos para o coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, regulamentando as condições operacionais e os critérios de segurança ambiental.

Essa norma define diretrizes para a utilização de resíduos como insumos energéticos ou matérias-primas no processo de produção de clínquer, contemplando aspectos como o controle da emissão de poluentes, a caracterização dos resíduos, o monitoramento ambiental e os parâmetros técnicos exigidos para garantir a eficiência e a segurança do coprocessamento.

O Quadro 8 sistematiza os principais requisitos técnicos estabelecidos pela NBR 16605:2017 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), norma fundamental para a regulamentação do coprocessamento de resíduos em fornos de cimento. Essa norma fornece parâmetros essenciais para garantir a viabilidade técnica, a segurança ambiental e a conformidade regulatória da prática, abordando aspectos como a caracterização e rastreabilidade dos resíduos, o controle das emissões atmosféricas e a definição de protocolos operacionais voltados à eficiência do processo e à integridade do clínquer produzido. Ao exigir critérios rigorosos de controle e monitoramento, a NBR 16605:2017 assegura que o

coprocessamento ocorra de forma ambientalmente adequada, em consonância com os princípios da prevenção da poluição e da valorização energética de resíduos.

Quadro 8 – Requisitos da NBR 16605:2017 para o Coprocessamento de Resíduos em Fornos de Cimento

REQUISITOS TÉCNICOS	DESCRIÇÃO /OBJETIVO
Classificação e caracterização dos resíduos	Avaliação da composição química e física dos resíduos, assegurando compatibilidade com o processo de coprocessamento
Controle de emissões atmosféricas	Monitoramento rigoroso das emissões, respeitando os limites legais de poluentes atmosféricos
Rastreamento dos resíduos	Garantia de rastreabilidade desde a geração até a inserção no forno de cimento
Protocolos operacionais	Procedimentos para assegurar a destruição térmica completa dos resíduos e a integridade do clínquer.

Fonte: ABNT NBR 16605:2017, adaptado pela autora

Complementarmente, a norma ABNT NBR 10004:2004 desempenha papel relevante na etapa inicial desse processo ao estabelecer a classificação dos resíduos sólidos segundo seu grau de periculosidade, o que influencia diretamente a elegibilidade desses materiais para o coprocessamento em conformidade com os requisitos legais e ambientais.

Essa classificação é essencial para orientar as decisões relativas à destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, conforme exigido pela legislação ambiental vigente.

Além disso, constitui um parâmetro indispensável para verificar a viabilidade de utilização desses resíduos em processos de coprocessamento, garantindo que apenas materiais compatíveis, do ponto de vista ambiental e técnico, sejam inseridos no ciclo produtivo.

Quadro 9 – Classificação dos Resíduos segundo sua periculosidade

CLASSE	DESCRIÇÃO
Classe I – Perigosos	Apresentam riscos à saúde e ao meio ambiente (ex: solventes, metais pesados)
Classe II – Não Perigosos	Divididos em: - IIA: Não inertes - IIB: Inertes

Fonte: Elaborado pela autora com base na ABNT NBR 10.004 (2004)

Além da NBR 16605:2017 e da NBR 10004:2004, outras normas técnicas complementam o marco regulatório voltado à segurança operacional e à gestão eficiente de resíduos sólidos, fornecendo parâmetros adicionais para a sua manipulação, transporte, armazenamento e destinação.

Quadro 10 – Normas Técnicas aplicáveis à gestão de resíduos sólidos

NORMA/RESOLUÇÃO	ANO	OBJETIVO
NBR 13221	1994	Transporte de resíduos perigosos: segurança no acondicionamento e transporte.
NBR13463	1995	Gerenciamento de resíduos perigosos: segregação, armazenamento e destinação final
CONAMA 499	2020	Regula o uso de resíduos em fornos de cimento e limites de emissão

Fonte: Elaborado pela autora com base na ABNT NBR 10.004 (2004)

Ademais, é fundamental distinguir o coprocessamento de outras tecnologias térmicas de tratamento de resíduos, como a incineração e a carbonização, que, embora semelhantes na utilização de calor, divergem quanto à finalidade, à inserção no ciclo produtivo e aos impactos ambientais.

As tecnologias térmicas aplicadas ao tratamento de resíduos sólidos urbanos constituem um aspecto de processos físico-químicos que devem ser cuidadosamente distinguidos quanto aos seus fundamentos operacionais, impactos ambientais e enquadramento jurídico.

Entre essas tecnologias, a incineração é definida como um processo de combustão controlada, realizado na presença de oxigênio, no qual os resíduos são completamente oxidados, promovendo expressiva redução de volume e eliminação de microrganismos patogênicos, sendo que essa técnica tem sido tradicionalmente utilizada na destinação de resíduos urbanos e hospitalares, sobretudo em contextos que visam à conjugação entre destruição térmica e recuperação energética.

Em contraposição, a carbonização térmica, também denominada pirólise, caracteriza-se pela decomposição térmica da matéria orgânica em ambiente com ausência ou presença mínima de oxigênio, operando, geralmente, entre 300 °C e 700 °C. Esse processo gera

subprodutos como carvão pirolítico (biochar), gases combustíveis e bio-óleos, os quais possuem potencial de reaproveitamento energético em outras cadeias produtivas, conforme observa Freire (2011), a pirólise apresenta menor emissão de poluentes atmosféricos em comparação à incineração, consolidando-se como uma alternativa mais seletiva de valorização térmica. Costa et al. (2020) corroboram essa análise ao afirmar que “a carbonização é mais eficiente na recuperação energética e possui menor impacto ambiental em comparação à incineração” (p. 255). Ainda assim, ambas as técnicas pressupõem infraestrutura industrial específica, mecanismos rigorosos de controle de emissões e posterior destinação adequada dos resíduos remanescentes.

Sob a ótica jurídico-regulatória, o ordenamento brasileiro diferencia essas tecnologias no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), a qual estabelece uma hierarquia de gestão orientada à não geração, redução, reutilização, reciclagem e, apenas subsidiariamente, à valorização energética e à destinação final ambientalmente adequada.

Em complemento, o Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta essa política, estabelece que a valorização energética deve ocorrer somente quando comprovadas sua viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Nesse contexto, o coprocessamento distingue-se substancialmente das formas convencionais de destruição térmica. Trata-se de um processo integrado à atividade industrial principal, especialmente no setor cimenteiro, no qual os resíduos são utilizados como substitutos energéticos e/ou materiais, promovendo simultaneamente a recuperação energética e mineral, e de acordo com a Resolução CONAMA nº 499/2020, art. 2º, inciso III, coprocessamento é o “processo de destruição térmica de resíduos realizado em fornos rotativos de produção de clínquer, que assegura a recuperação simultânea de energia e materiais, sem geração de resíduos adicionais”, ao contrário da incineração e da pirólise, o coprocessamento não gera cinzas, uma vez que os resíduos são integralmente incorporados à matriz mineral do clínquer.

Adicionalmente, o art. 9º da Lei nº 12.305/2010 reconhece a valorização energética como forma de destinação ambientalmente adequada, desde que antecedida pelas etapas prioritárias previstas na hierarquia da gestão. Por integrar os resíduos diretamente à cadeia produtiva, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e eliminar a geração de passivos ambientais secundários, o coprocessamento atende plenamente às diretrizes legais e aos princípios da economia circular, consolidando-se como uma alternativa preferencial no âmbito das tecnologias térmicas.

Assim, enquanto a incineração e a pirólise implicam destruição térmica externa e

subsequente gestão de subprodutos, o coprocessamento transforma os resíduos em insumos produtivos, caracterizando-se como tecnologia de destinação final com respaldo normativo, técnico e ambiental.

Nesse sentido, as diferenças fundamentais entre incineração e carbonização podem ser sistematizadas conforme apresentado no quadro abaixo:

Quadro 11 - Comparativo entre Incineração, Carbonização, Pirólise e Coprocessamento

CRITÉRIO	INCINERAÇÃO	CARBONIZAÇÃO	PIRÓLISE	COPROCESSAMENTO
OXIGÊNIO NO PROCESSO	Presença de oxigênio (combustão completa)	Ausência ou presença mínima de oxigênio	Ausência de oxigênio (decomposição térmica)	Uso controlado de oxigênio no forno de clínquer
TEMPERATURA TÍPICA	Acima de 850 °C	Entre 300 °C e 700 °C	Entre 400 °C e 700 °C	Cerca de 1.450 °C nos fornos rotativos da indústria cimenteira
NATUREZA DO PROCESSO	Combustão controlada	Decomposição térmica parcial	Decomposição térmica sem combustão	Queima integrada ao processo industrial (produção de clínquer)
PRODUTOS/SUBPRODUTOS	Cinzas, gases e calor	Biochar, gases e óleos	Gás pirolítico, bio-óleo, carvão vegetal	Clínquer, sem geração de cinzas ou resíduos adicionais
RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA	Possível, mas com alta emissão	Elevado potencial de aproveitamento energético	Alta eficiência energética com menor impacto ambiental	Substituição de combustíveis fósseis com recuperação simultânea de energia e matéria
DESTINO DOS RESÍDUOS	Requer posterior disposição de cinzas	Requer tratamento dos subprodutos	Subprodutos podem ser reaproveitados, mas requerem controle ambiental	Resíduos são integralmente incorporados ao produto final (clínquer)
ASPECTO LEGAL/REGULATÓRIO	Permitido com restrições ambientais severas	Em expansão, com exigências de licenciamento	Regulamentado como tecnologia de valorização térmica	Regulamentado pela Resolução CONAMA nº 499/2020 e PNRS (Lei nº 12.305/2010)
APLICAÇÃO PRINCIPAL	Resíduos urbanos e hospitalares	Valorização de resíduos orgânicos	Tratamento de resíduos industriais e urbanos específicos	Resíduos industriais e urbanos não recicláveis no setor cimenteiro
INTEGRAÇÃO À CADEIA PRODUTIVA	Não integrada	Parcialmente integrada	Parcialmente integrada	Totalmente integrada ao processo de fabricação do

				cimento
--	--	--	--	---------

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Freire (2011), Costa et al. (2020), CONAMA (2020) e Lei nº 12.305/2010.

Dessa forma, o Quadro 11 permite visualizar de maneira sistemática as distinções técnicas, operacionais e regulatórias entre as tecnologias de tratamento térmico de resíduos. Enquanto a incineração, a carbonização e a pirólise se caracterizam por processos externos e, em geral, exigem posterior tratamento de subprodutos, o coprocessamento se destaca por sua integração plena à cadeia produtiva do cimento, promovendo a valorização energética e material dos resíduos sem geração de passivos adicionais.

Além disso, o respaldo normativo robusto, evidenciado pela Resolução CONAMA nº 499/2020 e pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), confere ao coprocessamento maior segurança jurídica e ambiental, consolidando-o como uma alternativa tecnicamente viável, ambientalmente adequada e alinhada aos princípios da economia circular e do desenvolvimento sustentável.

3.2.3 Balizas Jurídicas do Coprocessamento

A inexistência de um marco legal específico que regule o coprocessamento de resíduos sólidos e o uso do Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU) no Brasil configura uma lacuna normativa que compromete a previsibilidade jurídica, dificulta o planejamento de investimentos e fragmenta os esforços interinstitucionais.

Atualmente, a ausência de uma legislação unificada impede a consolidação de parâmetros técnicos, ambientais e operacionais que garantam segurança jurídica aos diversos agentes envolvidos, do setor industrial ao poder público.

Uma legislação nacional específica permitiria, entre outras medidas: (i) o estabelecimento de metas de substituição de combustíveis fósseis por CDRU; (ii) a padronização de critérios técnicos e ambientais; (iii) a criação de incentivos fiscais e instrumentos de compensação ambiental; (iv) a integração do coprocessamento à Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e ao Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA); e (v) o reconhecimento jurídico do papel estratégico desempenhado por cooperativas de catadores, prefeituras e empresas na cadeia de valorização de resíduos e na promoção da justiça socioambiental.

Conforme sustenta Antunes (2020, p. 147), “o desenvolvimento sustentável não é possível sem um sistema jurídico coerente, comprometido com a justiça ambiental e com o

fortalecimento dos mecanismos democráticos de gestão dos bens comuns”, e tal afirmação destaca que a efetividade das políticas ambientais depende diretamente da existência de arcabouço legal estruturado, capaz de promover a equidade e a governança participativa.

Nesse sentido, a formulação de um marco normativo sobre o coprocessamento se revela como uma condição essencial para alinhar o Brasil às melhores práticas internacionais e consolidar essa tecnologia como vetor de desenvolvimento sustentável.

Como observa Leite (2019), a política de resíduos deve ser orientada não apenas por critérios de eficiência ambiental, mas também por princípios de inclusão social, transparência decisória e corresponsabilidade entre os atores públicos e privados.

Importa ressaltar que as balizas jurídicas do coprocessamento não podem ser interpretadas de forma dissociada da ordem de prioridade estabelecida pela PNRS (Lei nº 12.305/2010, art. 9º), que privilegia, sucessivamente, a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem dos resíduos, reservando às formas de aproveitamento energético, entre elas o coprocessamento, um papel subsidiário e complementar. Assim, as diretrizes jurídicas devem ser compatibilizadas com o art. 32 da PNRS, que impõe ao setor produtivo o dever de adotar práticas de ecodesign em embalagens, assegurando que o coprocessamento seja acionado apenas diante da comprovada impossibilidade técnica ou econômica de reutilização e reciclagem.

De forma complementar, instrumentos internacionais como a Declaração Universal dos Direitos Humanos (art. 7º), a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992) e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo os ODS 11, 12 e 13, reforçam a centralidade da segurança jurídica, da equidade intergeracional e da ação climática como eixos fundamentais da sustentabilidade, e tais diretrizes indicam que, para além da eficiência técnica, é imprescindível que a política nacional de resíduos avance na institucionalização do coprocessamento como estratégia legalmente reconhecida e normativamente regulada.

A experiência internacional evidencia a viabilidade técnica, econômica e jurídica do uso do CDR como solução para os desafios da gestão de resíduos e da transição energética, tendo em vista que a ausência de regulação específica no Brasil representa, portanto, um entrave concreto à inovação institucional e ao cumprimento de compromissos ambientais assumidos em nível global.

Assim, a criação de um marco legal próprio permitiria não apenas suprir essa lacuna, mas também articular as dimensões ambiental, econômica e social da sustentabilidade, em conformidade com os princípios constitucionais da precaução, da função socioambiental e da

participação democrática.

Além da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), outros marcos legais dialogam com o tema do coprocessamento, ainda que de maneira indireta, a Lei nº 6.938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece no artigo 2º, inciso I, o princípio da ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico.

Essa diretriz, conjugada com o artigo 225 da Constituição Federal de 1988, sustenta a obrigação do Estado em desenvolver políticas públicas que promovam tecnologias limpas e sustentáveis, como o uso do CDRU. O coprocessamento, portanto, deve ser interpretado como instrumento legítimo de concretização do direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, de forma harmônica com os princípios constitucionais da prevenção e precaução.

Do ponto de vista normativo-operacional, destaca-se a Resolução CONAMA nº 499/2020, que estabelece diretrizes para o licenciamento de atividades que utilizam resíduos como combustível alternativo em fornos de clínquer. Apesar de representar um avanço, essa resolução carece de força normativa para conferir estabilidade jurídica ao setor, pois não configura uma lei ordinária com abrangência nacional plena.

Ademais, ela limita-se a aspectos ambientais, não abrangendo as dimensões econômicas, sociais e institucionais necessárias para a consolidação do coprocessamento como política pública estruturada.

No plano técnico, a ABNT NBR 10004:2004, que classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, e a ABNT NBR 15116:2004, que trata da especificação do CDRU, oferecem parâmetros relevantes para assegurar a qualidade e a segurança na produção e no uso desses combustíveis. Entretanto, a ausência de um sistema legal que integre essas normas técnicas à legislação ambiental e industrial dificulta sua efetiva aplicação e fiscalização, criando um vazio regulatório que fragiliza o controle estatal e a responsabilização dos agentes econômicos.

Por fim, destaca-se a importância de o futuro marco legal sobre o coprocessamento incorporar os compromissos internacionais firmados pelo Brasil, como o Acordo de Paris (Decreto nº 9.073/2017) e a Agenda 2030 da ONU.

O alinhamento normativo com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) e o ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), é essencial para que o país avance em direção a uma economia de baixo carbono, circular e socialmente inclusiva.

Dessa forma, a criação de uma legislação específica representa não apenas um dever

jurídico, mas uma oportunidade estratégica de fortalecer o protagonismo brasileiro na governança ambiental global.

3.3 O Coprocessamento como estratégia de mitigação no âmbito da Lei nº 15.042/2024

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e seus impactos socioambientais tem impulsionado a formulação de instrumentos jurídicos e econômicos voltados à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Nesse contexto, destaca-se o Protocolo de Kyoto, marco resultante de um processo iniciado em 1988 com a realização da *Conference of the Changing Atmosphere*⁸, em Toronto, e consolidado com a publicação do *First Assessment Report*⁹ do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em 1990.

Em 1992, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), realizada no Rio de Janeiro, foi instituída a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), que estabeleceu as bases jurídicas e científicas para a negociação do Protocolo de Kyoto, firmado em 1997 e ratificado em 1999.

O Protocolo estabeleceu compromissos vinculantes de redução de emissões para os países industrializados, dividindo os signatários em dois grupos: (i) países desenvolvidos, obrigados a reduzir, até 2012, suas emissões em 5,2% em relação aos níveis de 1990; e (ii) países em desenvolvimento, que, embora não assumissem metas obrigatórias, poderiam participar por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Esse mecanismo permitia que projetos sustentáveis realizados nesses países gerassem Reduções Certificadas de Emissão (RCEs), negociáveis no mercado internacional de carbono como forma de compensação das emissões dos países desenvolvidos.

Em 2015, o Acordo de Paris foi firmado durante a 21ª Conferência das Partes (COP21)¹⁰, estabelecendo um novo marco jurídico universal. Ao contrário do modelo de Kyoto,

⁸ Realizada em Toronto (Canadá), em 1988, a *Conference of the Changing Atmosphere* é considerada um dos marcos iniciais da governança climática global. Nela foi formulado o primeiro apelo internacional por uma redução de 20% das emissões de dióxido de carbono até 2005, influenciando diretamente a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) e, posteriormente, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

⁹ O *First Assessment Report* (Primeiro Relatório de Avaliação), publicado em 1990 pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), consolidou o consenso científico sobre o aquecimento global antropogênico. O documento serviu de base técnica para a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), formalizada em 1992 durante a ECO-92.

¹⁰ A COP21, ou 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), foi realizada em Paris, em 2015. Resultou no Acordo de Paris, tratado internacional que estabeleceu compromissos de todos os países signatários para limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2 °C,

que se restringia a países desenvolvidos, o Acordo de Paris exige contribuições nacionalmente determinadas (NDCs) de todos os signatários, com o objetivo de limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2 °C, preferencialmente até 1,5 °C, em relação aos níveis pré-industriais. O Brasil, ao aderir ao Acordo, comprometeu-se a alcançar a neutralidade de carbono até 2050, conforme suas NDCs atualizadas em 2022 (BRASIL, 2022).

Nesse cenário, consolidou-se o mercado de créditos de carbono, instrumento econômico que permite a compensação de emissões por meio da compra de créditos gerados por projetos que evitam ou reduzem emissões de GEE. Cada crédito corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono evitada ou removida, e pode ser negociado em bolsas nacionais ou internacionais como ativo ambiental com valor de mercado (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

A institucionalização desse mecanismo no Brasil foi recentemente reforçada pela Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024, que criou o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Tal sistema estabelece um mercado regulado de carbono, alinhado à Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009) e aos compromissos internacionais assumidos no âmbito do Acordo de Paris.

É importante destacar que o SBCE integra o escopo normativo mais amplo da PNMC, que define os fundamentos, diretrizes e instrumentos para a mitigação das mudanças climáticas no Brasil, com ênfase na compatibilização entre desenvolvimento econômico e proteção climática. Tanto o Acordo de Paris quanto a Lei nº 15.042/2024 configuram desdobramentos dessa política estruturante, refletindo o esforço nacional em institucionalizar a transição para uma economia de baixo carbono.

Em paralelo, os desafios ambientais e sociais associados aos resíduos sólidos urbanos (RSU) impõem a adoção de soluções tecnológicas integradas, como o coprocessamento em fornos rotativos de clínquer. Essa técnica, além de mitigar emissões, promove a valorização energética de resíduos e a redução da disposição inadequada em aterros. Conforme argumenta Sirvinskaskas (2011), a mobilização da sociedade civil, impulsionada por organizações não governamentais, foi determinante para a consolidação da consciência ambiental, reforçando que a integridade ecológica é condição essencial à sobrevivência humana.

À luz desse arcabouço, torna-se pertinente apresentar os principais dispositivos da Lei nº 15.042/2024, cujas diretrizes orientam a implantação do mercado regulado de carbono no Brasil, é o que segue:

com esforços para não ultrapassar 1,5 °C, por meio da redução das emissões de gases de efeito estufa e do estímulo à economia de baixo carbono.

Quadro 12 – Estrutura da Lei n. 15.042/2024 e o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE)

LEI n. 15.042/2024	
OBJETIVO	Estabelecer um mercado regulado de carbono no Brasil, visando alinhar o país às metas da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e compromissos internacionais de redução de emissões.
CRIAÇÃO DO SBCE	Implementa um sistema de “cap-and-trade”, no qual há um limite para as emissões de GEE. Empresas que emitirem menos que o teto podem vender seus créditos para aquelas que ultrapassarem suas cotas.
GOVERNANÇA	O Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) será responsável pela gestão do SBCE, junto com um Comitê Técnico Consultivo Permanente, que regulamentará, monitorará e aplicará sanções.
OBRIGAÇÕES DOS OPERADORES	Empresas com emissões superiores a 10 mil toneladas de CO ₂ equivalente por ano terão que: - 10 mil a 25 mil tCO ₂ e/ano: Submeter planos de monitoramento e apresentar relatórios anuais. - Acima de 25 mil tCO ₂ e/ano: Além das obrigações anteriores, comprovar a compensação das emissões excedentes.
FASES DE IMPLEMENTAÇÃO	O SBCE será implantado em cinco fases: - Fase I: Até 24 meses para regulamentação inicial. - Fase II: 12 meses para operacionalização dos instrumentos de relato de emissões. - Fase III: 24 meses para envio de planos de monitoramento e relatórios de emissões. - Fase IV: Início do primeiro Plano Nacional de Alocação e implementação do mercado de carbono. - Fase V: Implementação plena do SBCE.
MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO,	A lei também regula o mercado voluntário, permitindo que empresas e indivíduos compensem emissões adquirindo créditos de carbono de projetos certificados.
IMPACTO DA LEI	Com a regulamentação do mercado de carbono, o Brasil fortalece suas políticas ambientais, incentiva práticas sustentáveis e contribui para a mitigação das mudanças climáticas.

Fonte: Elaborado pela autora com base na Lei 15.042/2024

O ecossistema nacional do mercado regulado de carbono, instituído pela Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024, estrutura-se em etapas sequenciais que asseguram a integridade ambiental e a rastreabilidade das transações. O ciclo operacional tem início com a concepção e

elaboração técnica do projeto de redução de emissões, seguida pela validação independente por auditoria de terceira parte. Após a validação, realiza-se a solicitação de registro do projeto junto ao órgão competente. Na sequência, o projeto é implementado e monitorado, sendo seus resultados submetidos a uma nova verificação externa, que antecede a emissão de créditos de carbono. Esses créditos, uma vez certificados, podem ser comercializados ou utilizados para fins de compensação de emissões no âmbito do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE).

Essa estrutura operacional está em consonância com os princípios estabelecidos pelo Acordo de Paris (2015) e foi detalhada tecnicamente no Relatório Executivo do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (BRASIL, 2024), que orienta a implementação do SBCE no Brasil com base em padrões internacionais de integridade ambiental e adicionalidade.

A Figura 10 ilustra a estrutura do Ecossistema Nacional de Mercado de Carbono, conforme proposta desenvolvida pelo ICC Brasil. O esquema representa as principais instâncias e fluxos operacionais que integram o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), destacando os agentes reguladores, entidades de verificação, plataformas de negociação, mecanismos de registro e setores participantes. Essa representação gráfica visa sintetizar o funcionamento integrado do mercado de carbono no Brasil, em conformidade com padrões internacionais de governança e rastreabilidade.

Figura 10 – Ecossistema Nacional de Mercado de Carbono



Fonte: ICC Brasil. Disponível em: https://www.iccbrasil.org/wp-content/uploads/2022/10/FACT_SHEET_ICCBR_2022_final.pdf. Acesso em 17/04/2025.

Conforme apresentado na figura, a estrutura operacional do SBCE está alinhada aos princípios estabelecidos pelo Acordo de Paris (2015) e encontra respaldo técnico no Relatório Executivo do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (BRASIL, 2024), que orienta sua implementação com base em critérios de integridade ambiental, adicionalidade e transparência. O modelo visa garantir a efetividade da mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio de um mercado regulado robusto. Essa diretriz foi formalmente incorporada no artigo 5º da Lei nº 15.042/2024, que estabelece os princípios estruturantes do SBCE, em consonância com os compromissos climáticos assumidos pelo Brasil no âmbito da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e dos acordos multilaterais vigentes.

- I – Promoção da redução dos custos de mitigação de GEE para o conjunto da sociedade;
- II – Estabelecimento de critérios transparentes para definição das atividades emissoras de GEE associadas a fontes reguladas;
- III – conciliação periódica de obrigações entre as quantidades de CBEs e de CRVEs entregues e o nível de emissões líquidas relatado pelos operadores;

- IV – Implementação gradual do Sistema, com o estabelecimento de períodos de compromisso sequenciais e de limites máximos de emissões em conformidade com as metas definidas na PNMC;
- V – Estrutura confiável, consistente e transparente para mensuração, relato e verificação de emissões e remoções de GEE das fontes ou das instalações reguladas, de forma a garantir a integridade e a comparabilidade das informações geradas;
- VI – Abrangência geográfica nacional, com possibilidade de interoperabilidade com outros sistemas internacionais de comércio de emissões compatíveis com o SBCE;
- VII – incentivo econômico à redução ou remoção das emissões de GEE;
- VIII – garantia da rastreabilidade eletrônica da emissão, da detenção, da transferência e do cancelamento das CBEs e dos CRVEs (BRASIL, 2024).

A partir dessas diretrizes, compreende-se que o SBCE visa não apenas à redução efetiva das emissões de GEE, mas também à eficiência econômica e transparência institucional do processo. Ao possibilitar que projetos de mitigação gerem ativos ambientais negociáveis, o sistema se apresenta como um instrumento de equilíbrio entre a preservação ambiental e os custos econômicos da transição ecológica.

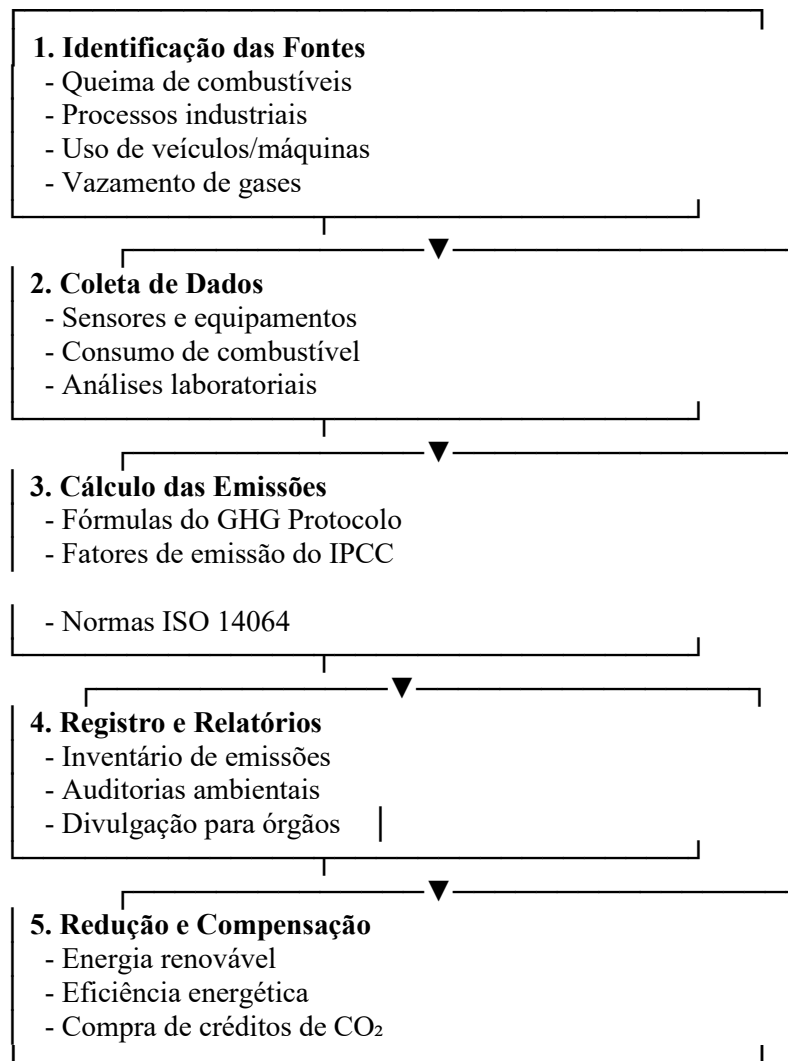
Destaca-se que o SBCE está estruturado para funcionar de maneira gradual e monitorável, assegurando que os limites de emissão sejam compatíveis com os períodos de compromisso e com as metas nacionais estabelecidas. Ademais, busca-se garantir a interoperabilidade com mercados internacionais, elemento essencial para conferir liquidez ao sistema e ampliar sua relevância geopolítica.

A legislação também estabelece, de forma expressa, a obrigatoriedade de monitoramento das emissões conforme o Escopo 1, ou seja, das emissões diretas provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização. Além disso, há previsão da aplicação do sistema a emissões do Escopo 2, associadas à geração de energia adquirida e consumida. A delimitação clara entre escopos tem importância estratégica para a contabilização e compensação das emissões corporativas, contribuindo para que empresas e governos cumpram suas metas de descarbonização.

Dessa forma, o artigo 5º da Lei nº 15.042/2024 define os pilares operacionais do SBCE e reforça o compromisso nacional com uma transição energética justa, eficiente e ambientalmente responsável.

Para isso existe a previsão de um monitoramento no Escopo 1, vejamos:

Figura 11 – Fluxograma: Etapas do monitoramento no âmbito do SBCE previstas na Lei. 15.042/2024



Fonte: Elaborada pela autora com base na Lei n. 15.042/2024

Nesse contexto, o coprocessamento se consolida como uma estratégia eficaz para a gestão ambiental de resíduos sólidos, ao utilizá-los como substitutos energéticos ou matérias-primas na produção de clínquer.

Tal prática não apenas reduz a dependência de combustíveis fósseis, como também desempenha um papel relevante na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Isso porque, quando descartados de forma inadequada em aterros sanitários, diversos resíduos orgânicos se decompõem, liberando metano (CH₄)¹¹, um gás com elevado potencial de aquecimento global.

Ao direcionar esses resíduos ao coprocessamento, evita-se sua disposição final inadequada e, conseqüentemente, a emissão de metano e outros poluentes atmosféricos. Além

¹¹ O metano (CH₄) possui um Potencial de Aquecimento Global (GWP) 28 vezes superior ao do CO₂ em um horizonte de 100 anos, conforme definido pelo IPCC no Fifth Assessment Report (AR5, 2014).

disso, a queima controlada nos fornos de clínquer garante eficiência energética e destruição térmica de resíduos não recicláveis, promovendo uma solução ambientalmente adequada em consonância com os princípios da economia circular e da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Em complemento a essa abordagem tecnológica, o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), instituído pela Lei nº 15.042/2024, estabelece um modelo regulatório voltado à compensação e ao controle das emissões.

A estrutura de governança do SBCE, apresentada na figura 12 a seguir, organiza os diferentes níveis decisórios e operacionais do sistema, desde a formulação das diretrizes estratégicas até a definição das regras de alocação de emissões. O arranjo institucional reflete o esforço de integração entre órgãos federais, agências reguladoras e operadores do mercado, assegurando a redução coordenada das emissões de GEE em escala nacional.

Figura 12 – Fluxograma da estrutura de governança do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE)



Fonte: Elaborado pela autora com base na Adaptado Lei n. 15.042/2024

Essa estrutura de governança ilustra a interdependência entre os diversos atores

institucionais responsáveis pela formulação, regulação, monitoramento e operacionalização do SBCE. A presença de conselhos interministeriais, entidades técnicas, órgãos de controle e operadores de mercado demonstra o compromisso com a integridade ambiental, a transparência e a rastreabilidade das transações de carbono. Ao definir fluxos decisórios claros e instâncias específicas de alocação e supervisão, o modelo visa garantir segurança jurídica e eficácia regulatória, promovendo a confiança dos agentes econômicos e a credibilidade do mercado brasileiro de carbono tanto em âmbito nacional quanto internacional.

É importante destacar que a Lei nº 15.042/2024, ao instituir o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), estrutura sua implementação em cinco fases sequenciais. A Fase IV, referente ao Plano Nacional de Alocação e Mercado de Ativos, constitui etapa estratégica, na qual o governo federal definirá os critérios para a alocação das Cotas Brasileiras de Emissões (CBEs), autorizando sua negociação entre os agentes econômicos regulados.

Nesse contexto, as indústrias que adotam o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos como substituição parcial de combustíveis fósseis se inserem como candidatas à comercialização de créditos de carbono, uma vez que podem comprovar reduções mensuráveis de emissões de GEE. Tal possibilidade representa não apenas um instrumento de conformidade ambiental, mas também um incentivo econômico direto à valorização energética de resíduos.

A comercialização de créditos oriundos da redução de emissões via coprocessamento contribui para a reciclagem de materiais não reaproveitáveis mecanicamente, além de reduzir a dependência da disposição final em aterros sanitários. Trata-se, portanto, de uma medida que articula os princípios da responsabilidade compartilhada, da economia circular e da eficiência energética na produção de cimento.

Ademais, ao utilizar resíduos como fonte energética alternativa, a indústria cimenteira reduz a extração de recursos naturais não renováveis e contribui para a descarbonização do setor, em consonância com os compromissos estabelecidos nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) assumidas pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris.

Assim, o coprocessamento transforma resíduos em ativos ambientais e energéticos, promovendo a economia circular de forma integrada à política climática nacional, ao mesmo tempo em que agrega valor econômico à gestão de resíduos anteriormente considerados passivos ambientais.

3.3.1 Processo de coprocessamento e utilização do RSU

O coprocessamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) em fornos rotativos da indústria cimenteira está disciplinado pela Resolução CONAMA nº 499/2020, que estabelece diretrizes específicas para essa prática como forma de destinação final ambientalmente adequada.

Adicionalmente, o tratamento térmico de resíduos, incluindo a incineração e outras tecnologias, é normatizado pela Resolução CONAMA nº 316/2002.

Conforme a Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os resíduos sólidos urbanos são definidos como aqueles oriundos das atividades domésticas em áreas urbanas, bem como os provenientes da limpeza pública, tais como varrição de vias, logradouros e serviços correlatos (art. 13, inciso I, alíneas “a” a “c”).

Ainda de acordo com o artigo 12, parágrafo único, resíduos gerados por pequenos estabelecimentos comerciais podem ser enquadrados nessa categoria, desde que não exijam destinação diferenciada por seu risco ou composição.

Ressalta-se que a categoria de RSU exclui resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, materiais sujeitos a sistemas específicos de logística reversa, como pneus inservíveis, embalagens de agrotóxicos e medicamentos, entre outros tipos com normatização própria.

No que tange ao conceito de coprocessamento, a Resolução CONAMA nº 499/2020, em seu art. 4º, inciso III, define:

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. (grifo da autora)

Historicamente, desde 1999, o principal combustível utilizado nos fornos cimenteiros brasileiros é o coque de petróleo, que, em 2013, representava cerca de 69,53% da matriz energética do setor. Apesar disso, a prática do coprocessamento tem se expandido de forma progressiva.

Em 2021, foram coprocessadas aproximadamente 2,408 milhões de toneladas de resíduos, considerando todas as categorias, e não exclusivamente os resíduos urbanos, segundo estimativas de Coelho Júnior (2020), projeta-se que a taxa de coprocessamento no Brasil cresça de 22% (vinte e dois por cento) em 2020 para 55% (cinquenta e cinco por cento) até 2050.

Dados setoriais indicam que a alimentação dos fornos é composta por 74% (setenta e quatro por cento) de combustíveis fósseis convencionais, 13% (treze por cento) de combustíveis alternativos e 13% de biomassa. Dentre os combustíveis alternativos, apenas 4,55% correspondem ao CDR-SU (Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos), o que

evidencia o potencial ainda subaproveitado dessa fração de resíduos.

Essa realidade demanda análise crítica à luz de premissas jurídicas estabelecidas na PNRS, como a valorização econômica e social dos resíduos, a ordem de prioridade para a gestão e destinação final, e a responsabilidade compartilhada entre poder público, consumidores, grandes geradores e o setor privado por meio de sistemas de logística reversa. O reconhecimento do resíduo como bem econômico passível de aproveitamento energético é essencial para fortalecer políticas públicas voltadas à descarbonização da indústria e à promoção da economia circular.

3.3.2 Adoção da MTD e Ordem de prioridade na gestão dos resíduos

A aplicação da ordem de prioridade deve ser lida em diálogo com as balizas jurídicas anteriormente expostas, de modo a assegurar que o coprocessamento se configure como estratégia residual. Isso significa reconhecer que a utilização de Combustível Derivado de Resíduos (CDR) em fornos de clínquer somente se legitima quando as alternativas de reutilização e reciclagem tenham sido esgotadas, em consonância com a PNRS e com o princípio do ecodesign, que projeta as embalagens para a reinserção nos ciclos produtivos.

O primeiro aspecto a ser considerado quanto à utilização de resíduos é o seu enquadramento legal como bens econômicos e de valor social, geradores de trabalho e renda e promotores da cidadania, quando reaproveitáveis ou recicláveis. Essa definição encontra-se no inciso VIII do art. 2º da Lei Federal n. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

A referida lei também estabelece uma ordem de prioridade na gestão dos resíduos sólidos, conforme o art. 7º:

São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos: [...] II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.” (BRASIL, 2010).

Destaca-se que essa ordem não é meramente programática, e de acordo com Serra (2015, p. 145), trata-se de uma obrigatoriedade legal decorrente do princípio do poluidor-pagador:

Não se concebe que essa seja uma opção dos geradores de resíduos sólidos e do Poder Público. [...] Não se trata, pois, de uma legislação placebo, mas de uma exigência legal que demanda efetiva implementação. (SERRA, 2015, p. 145).

Em conformidade com essa lógica, impõe-se ao setor econômico, desde a concepção

de produtos, a seleção de matérias-primas e processos que priorizem a não geração, redução e reutilização de resíduos.

Tal diretriz possui fundamento constitucional, uma vez que o art. 170, inciso VI, da Constituição Federal determina que a ordem econômica deve observar, entre outros princípios, a “defesa do meio ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação” (BRASIL, 1988).

Essa abordagem se reforça com o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, conforme os arts. 3º, XVII e 30 da Lei n. 12.305/2010:

A responsabilidade compartilhada [...] abrange os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana [...], com o objetivo de reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais. (BRASIL, 2010).

Além disso, os arts. 31 e 32 da referida norma detalham as obrigações específicas do setor empresarial, como o desenvolvimento de produtos aptos à reutilização e à reciclagem, bem como a fabricação de embalagens com materiais que propiciem essas formas de destinação.

A esse respeito, torna-se evidente que a escolha por embalagens recicláveis não é uma faculdade do agente econômico, mas sim uma imposição legal que somente admite exceções por inviabilidade técnica ou econômica devidamente demonstrada.

Nessa perspectiva, a aplicação do conceito de Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) mostra-se necessária. Segundo a Resolução Conama n. 316/2002, MTD refere-se:

Ao estágio mais eficaz e avançado de desenvolvimento das diversas tecnologias de tratamento, beneficiamento e de disposição final de resíduos, [...] visando eliminar e, onde não seja viável, reduzir as emissões em geral, bem como os seus efeitos no meio ambiente como um todo. (BRASIL, 2002).

Conforme expõe Loubet (2014), a utilização das MTD no Direito Ambiental Brasileiro decorre dos princípios da sustentabilidade, do poluidor-pagador e da prevenção, constituindo, portanto, exigência jurídica e técnica em políticas públicas e processos produtivos.

A fim de sistematizar os fundamentos normativos e técnico-ambientais que sustentam a adoção das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) no contexto da gestão de resíduos sólidos, apresenta-se o quadro 13, adaptado de Loubet (2014), esse quadro reúne, de forma esquemática, os princípios jurídicos e as justificativas técnicas que orientam a obrigatoriedade de incorporação das MTD no planejamento produtivo e no licenciamento ambiental de atividades

potencialmente poluidoras.

Historicamente, a adoção do coque de petróleo como principal combustível nos fornos cimenteiros brasileiros ocorreu em razão de seu baixo custo e elevado poder calorífico, quando comparado a alternativas como o carvão mineral ou o gás natural. Contudo, esse insumo, por ser um derivado fóssil com alto teor de carbono e enxofre, contribui de forma significativa para as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e poluentes atmosféricos, reforçando a dependência do setor em relação a fontes energéticas intensivas em carbono. Tal contexto evidencia a relevância de estratégias de diversificação, entre as quais se insere o coprocessamento de resíduos, capaz de reduzir impactos ambientais e ampliar a segurança energética da indústria cimenteira. (SNIC, 2022; ABCP, 2020).

O quadro abaixo destaca, entre outros aspectos, a centralidade dos princípios da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador e do desenvolvimento sustentável, relacionando-os diretamente com a necessidade de escolha de tecnologias que minimizem a geração de resíduos e os impactos ambientais associados, além disso, evidencia que a adoção das MTD não constitui um diferencial competitivo opcional, mas um instrumento normativo vinculante, previsto em legislações como a Lei n. 12.305/2010 e regulamentações do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a exemplo da Resolução n. 316/2002.

Quadro 13 - Princípios e justificativas técnicas para aplicação da melhor tecnologia disponível

PRINCÍPIO	EXPLICAÇÃO
OBRIGATORIEDADE DA MELHOR TÉCNICA DISPONÍVEL	A escolha deve sempre recair sobre a alternativa que cause menor impacto ambiental e seja economicamente viável. Se há uma opção de embalagem reciclável e viável economicamente, ela deve ser adotada.
CRITÉRIO DE RAZOABILIDADE	A escolha da tecnologia não pode se basear apenas no menor custo, mas sim no equilíbrio entre viabilidade e sustentabilidade. Empresas não podem justificar o uso de embalagens não recicláveis apenas pelo preço mais baixo.
EXCEÇÃO: IMPOSSIBILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA	Somente quando não houver alternativa viável seria aceitável o uso de uma tecnologia menos sustentável. Se não houver alternativa economicamente viável, pode-se usar embalagens não recicláveis.
PROBLEMA ATUAL	Ainda há muitas embalagens sem valor de reciclagem no mercado, o que vai contra o

	princípio da melhor tecnologia disponível. Muitas embalagens não são recicláveis ou não possuem mercado para venda e reaproveitamento.
--	--

Fonte: Adaptado Loubet (2014)

A análise do Quadro 13 evidencia, de forma sintética, que a adoção das Melhores Técnicas Disponíveis não se configura como uma diretriz isolada ou aplicável apenas a setores específicos, mas como pressuposto técnico-jurídico transversal às decisões que envolvam impactos ambientais relevantes, conforme observa Loubet (2014) a obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis, ao invés de ser algo setorial, aplicado a um ou outro caso, deve orientar todas as decisões e ações ligadas à questão ambiental em que haja várias possibilidades técnicas ou tecnológicas de se atingir o objetivo econômico, impondo-se que a escolha recaia sobre aquelas que causem menor impacto ambiental por um lado, mas que sejam técnica e economicamente viáveis por outro.

A referida diretriz dialoga diretamente com os dispositivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010), que estabelecem uma ordem de prioridade obrigatória, não geração, redução, reutilização, reciclagem e, por fim, tratamento e disposição final dos resíduos como parâmetro vinculante para o setor produtivo.

Essa ordem, conforme argumentado anteriormente, não possui caráter facultativo, mas constitui exigência legal respaldada tanto por princípios constitucionais quanto por regulamentações infralegais.

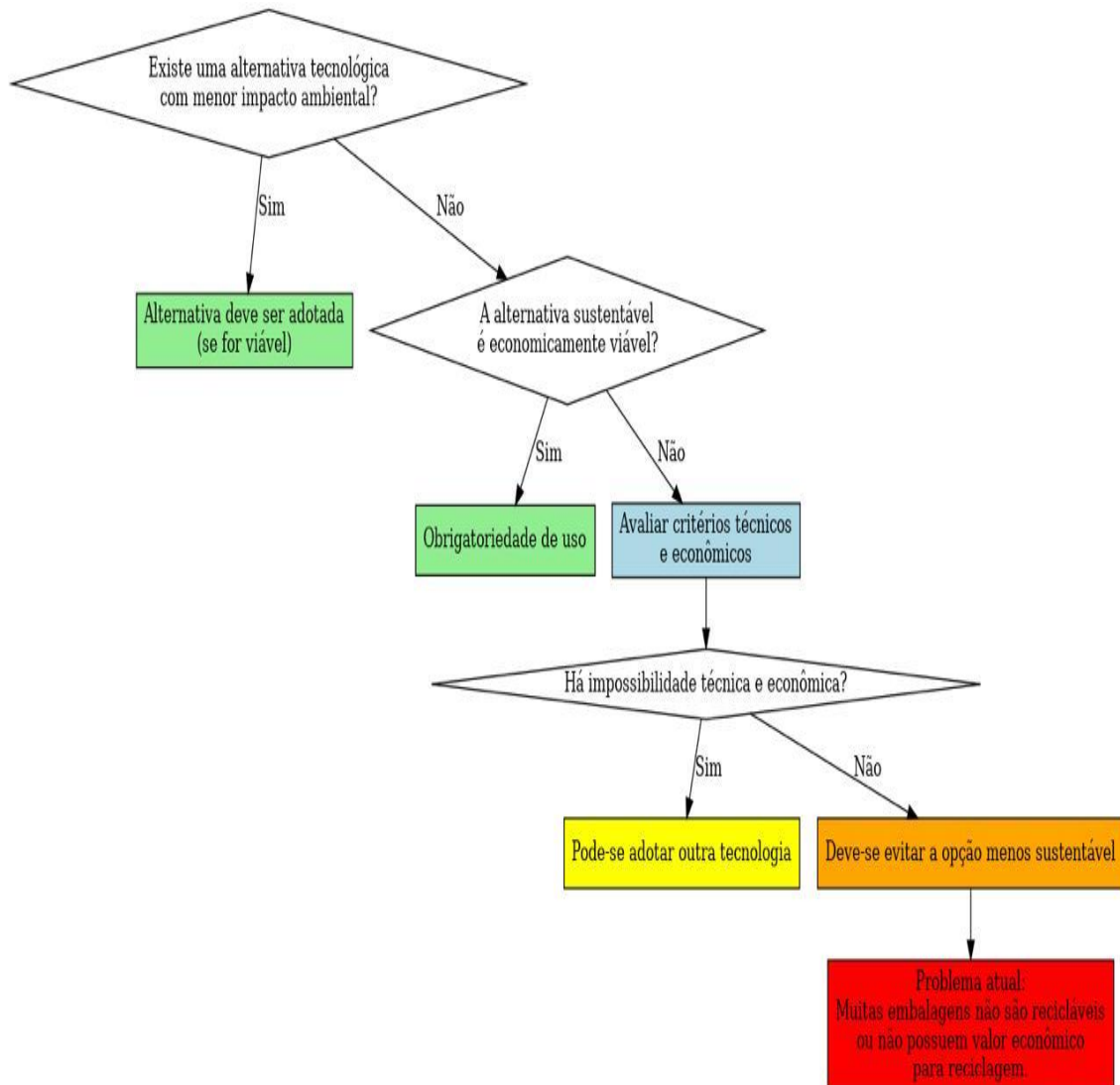
Dessa forma, torna-se evidente que a inserção de embalagens não reutilizáveis ou recicláveis no mercado somente se justifica na presença de impedimentos técnicos ou econômicos devidamente fundamentados, e não por critérios arbitrários, como conveniência mercadológica ou redução imediata de custos.

A aplicação do princípio da razoabilidade impõe, nesse cenário, a demonstração concreta de inviabilidade na adoção das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD), sob pena de violação à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, tal como definida pela Lei n. 12.305/2010, bem como aos princípios constitucionais da precaução, prevenção e sustentabilidade.

Com o objetivo de sintetizar esse processo decisório e orientar sua aplicação prática, apresenta-se a seguir a figura 13 o Fluxograma para a tomada de decisão sobre a adoção da melhor técnica disponível, que articula os critérios técnicos, econômicos e normativos que devem ser considerados pelo setor produtivo ao avaliar a viabilidade da utilização de

determinada tecnologia ou material.

Figura 13 – Fluxograma para a tomada de decisão sobre a adoção da melhor técnica disponível



Fonte: Adaptado de Loubet (2014)

Contudo, observa-se que, na realidade brasileira, uma parcela significativa das embalagens comercializadas não é reciclada na prática, seja por barreiras técnicas à sua separação e processamento, seja pela ausência de mercado reciclador viável. Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), cerca de 40% dos resíduos sólidos urbanos gerados no país seguem diretamente para aterros sanitários, sem qualquer forma de recuperação material (ABRELPE, 2022).

Essa situação é agravada no caso de embalagens complexas, como os filmes multicamadas ou metalizados, que, embora tecnicamente recicláveis, “não encontram

destinação viável na maioria dos sistemas municipais de coleta e triagem, sendo frequentemente descartados como rejeito” (IPEA, 2020, p. 17).

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), menos de 4% dos resíduos plásticos gerados no Brasil são reciclados mecanicamente, índice muito inferior ao de países da OCDE¹² (CEMPRE, 2023). Tais dados revelam uma lacuna substancial entre os preceitos normativos da Lei n. 12.305/2010 e sua efetiva implementação, caracterizando um afastamento do princípio da Melhor Técnica Disponível (MTD) e um comprometimento da eficácia do modelo de responsabilidade compartilhada.

3.3.3 Coleta Seletiva e Triagem como condição prévia

A utilização do Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos (CDR-SU) deve observar estritamente a ordem de prioridade estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conforme definida no art. 9º da Lei Federal n. 12.305/2010, segundo a qual a não geração, redução, reutilização e reciclagem dos resíduos precedem qualquer forma de recuperação energética.

Nesse contexto, não se admite a destinação de resíduos para coprocessamento na forma de CDR-SU sem a prévia implementação da coleta seletiva e da triagem adequada dos materiais.

Tal exigência está expressamente prevista na Resolução CONAMA n. 499/2020, que estabelece:

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. (BRASIL, 2020, art. 1º, § 2º, grifo nosso)

A implantação da coleta seletiva constitui obrigação dos Municípios, estando prevista no art. 19, incisos XIV e XV, da Lei n. 12.305/2010, e reafirmada no art. 36, inciso II, no âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Essa obrigatoriedade foi regulamentada de forma mais precisa pelo Decreto Federal n. 10.936/2022, cujo art. 8º determina que os entes federativos devem estruturar sistemas de coleta seletiva sem prejuízo da implementação da logística reversa, conforme art. 11 do mesmo diploma normativo.

Dessa forma, a destinação direta dos resíduos sólidos urbanos ao coprocessamento,

¹² A organização para a cooperação e desenvolvimento econômico (OCDE) é uma entidade internacional composta por 38 países, em sua maioria desenvolvidos, que atuam na promoção de políticas públicas voltadas ao crescimento econômico sustentável, à estabilidade financeira e ao comércio internacional. No contexto desta análise, os países da OCDE são utilizados como referência comparativa devido à sua infraestrutura mais consolidada para gestão de resíduos e altas taxas de reciclagem.

sem a filtragem prévia por meio de Unidades de Triagem, configura desrespeito à ordem de prioridade legalmente imposta, bem como à função socioeconômica dos materiais recicláveis. Esses resíduos possuem valor econômico e social, como reconhece o art. 7º, inciso VIII, da Lei n. 12.305/2010, ao tratar do fomento à reciclagem e à geração de renda para catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

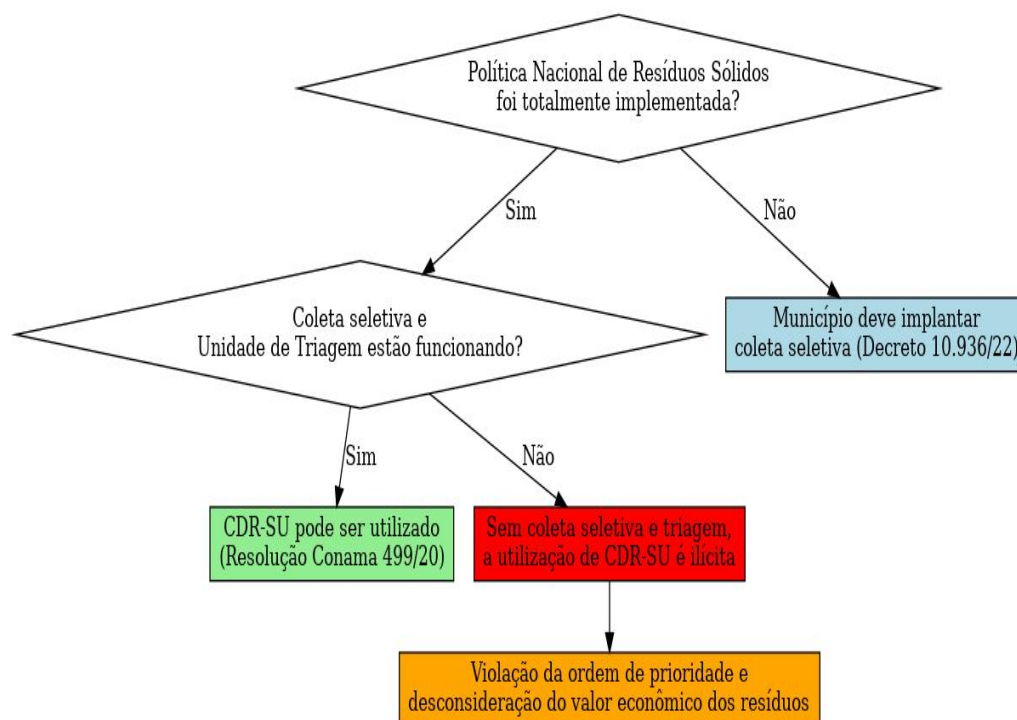
Portanto, a adoção do CDR-SU só se mostra juridicamente admissível quando precedida da separação dos resíduos passíveis de reutilização e reciclagem, sendo ilícita sua aplicação direta a resíduos brutos misturados, em evidente afronta aos preceitos legais e aos princípios da prevenção, responsabilidade compartilhada e justiça ambiental

Assim, a implementação prévia de sistemas de coleta seletiva e triagem dos resíduos sólidos urbanos constitui condição *sine qua non*¹³ para a utilização legítima do CDR-SU, conforme exigência expressa da Resolução CONAMA n. 499/2020, tal entendimento reforça a centralidade da triagem como mecanismo de cumprimento da ordem de prioridade e de valorização dos materiais recicláveis.

Com o objetivo de sistematizar os critérios técnicos e jurídicos que devem ser observados para a conformidade da utilização do CDR-SU, apresenta-se a seguir a Figura – Fluxograma de conformidade para a utilização do CDR-SU conforme a Resolução CONAMA n. 499/2020, que resume de forma esquemática as etapas obrigatórias e os requisitos legais aplicáveis à destinação dos resíduos urbanos para fins de coprocessamento.

Figura 13 – Fluxograma de conformidade para a utilização do CDR-SU conforme a Resolução CONAMA 499/2020

¹³ é uma expressão em latim que significa “sem a qual não seria possível”, utilizada para indicar uma condição indispensável ou essencial à concretização de determinado ato ou efeito jurídico.



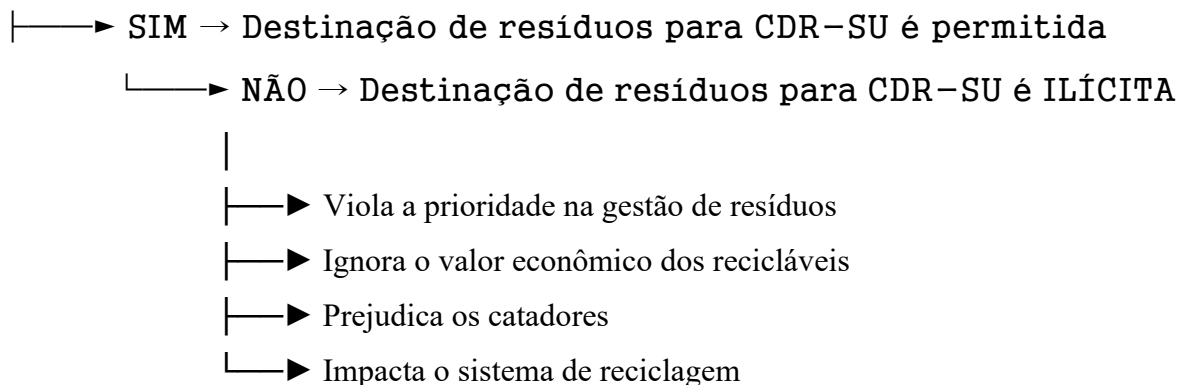
Fonte: Adaptado da Resolução do Conama 499/20

Enfim, o fluxograma evidencia que a utilização do Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos (CDR-SU) encontra-se juridicamente condicionada à implementação integral da Política Nacional de Resíduos Sólidos, com especial destaque para a coleta seletiva e a triagem de resíduos. Nos termos da Resolução CONAMA n. 499/2020, os resíduos urbanos apenas podem ser destinados ao coprocessamento após serem submetidos a processos prévios de classificação, separação e eventual tratamento (BRASIL, 2020).

Na ausência dessa etapa fundamental, ou seja, caso o município não implemente a coleta seletiva, conforme impõe o Decreto Federal n. 10.936/2022, a destinação dos resíduos ao CDR-SU configura ilícito ambiental, por violar tanto a ordem de prioridade da gestão de resíduos quanto o princípio da valorização dos materiais recicláveis. Tal prática compromete diretamente o direito dos catadores à inclusão socioeconômica, além de fragilizar as estruturas locais de economia circular e logística reversa.

A seguir, apresenta-se um esquema decisório que sintetiza essa lógica normativa e operacional, ou seja, o cumprimento das etapas obrigatórias que precedem qualquer forma de recuperação energética, conforme os instrumentos legais mencionados, é o que segue:

Município IMPLANTA a coleta seletiva?



3.3.4 O Coprocessamento e o Estado de Carbono Zero

O Estado de Carbono Zero representa a condição na qual as emissões líquidas de gases de efeito estufa (GEE) resultantes das atividades humanas são reduzidas ao mínimo possível e integralmente compensadas por remoções equivalentes, seja por meio de sumidouros naturais, seja por tecnologias de captura e armazenamento de carbono.

A expressão consagra o objetivo de neutralidade climática estabelecido no Acordo de Paris (2015), cujo artigo 4º prevê que as Partes devem alcançar “um equilíbrio entre as emissões antropogênicas por fontes e as remoções por sumidouros” na segunda metade do século XXI (BRASIL, 2017).

No contexto brasileiro, a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (Lei nº 12.187/2009) e o Decreto nº 11.075/2022, que regulamenta o mercado de carbono, alinham-se a esse compromisso internacional ao estabelecer diretrizes para a redução progressiva de emissões e para a criação de instrumentos de compensação. A meta de alcançar a neutralidade até 2050 foi reiterada na NDC brasileira (BRASIL, 2020), que estabelece compromissos de redução absoluta de emissões e de promoção de tecnologias de baixo carbono.

É nesse horizonte que o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos de clínquer se apresenta como instrumento de transição para o Estado de Carbono Zero. Ao substituir combustíveis fósseis por combustíveis derivados de resíduos (CDR), reduz-se significativamente a dependência de coque de petróleo, mitigando as emissões setoriais de CO₂ da indústria cimenteira, tradicionalmente uma das mais intensivas em carbono. Além disso, o processo contribui para a redução do passivo ambiental dos rejeitos, ao integrá-los em um ciclo produtivo que agrega valor e promove a economia circular (ABCP, 2021).

Portanto, o Estado de Carbono Zero não deve ser compreendido apenas como uma meta abstrata de política climática, mas como um parâmetro normativo orientador da política ambiental e da regulação setorial., visto que ao se articular com o princípio da hierarquia na gestão de resíduos, previsto no art. 9º da PNRS (Lei nº 12.305/2010), e com os instrumentos da

PNMC, o coprocessamento passa a ocupar papel de relevância estratégica, desde que observado como etapa complementar à prevenção, redução, reutilização e reciclagem.

Trata-se, assim, de um mecanismo que materializa, no âmbito da indústria cimenteira, o compromisso internacional do Brasil de transitar para uma economia de baixas emissões e compatível com o Estado de Carbono Zero.

3.4 O Coprocessamento no Contexto Internacional: Lições Comparadas

O coprocessamento de resíduos tem se consolidado como estratégia relevante em diversas regiões do mundo, integrando políticas ambientais, energéticas e industriais. A seguir, analisa-se sua implementação na União Europeia e em outras regiões com experiências normativas e tecnológicas significativas.

A União Europeia (UE) possui um dos sistemas mais avançados de normatização ambiental aplicável ao coprocessamento de resíduos, conjugando diretrizes jurídicas e critérios técnicos robustos, sendo a Diretiva 2008/98/CE, conhecida como Diretiva-Quadro de Resíduos, institui a hierarquia de gestão, priorizando, sucessivamente: a prevenção, a preparação para reutilização, a reciclagem, outras formas de recuperação (incluindo a valorização energética) e, por fim, a disposição final (União Europeia, 2008).

Complementando o arcabouço legal, os Documentos de Referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis (BREFs) apresentam padrões técnicos específicos por setor industrial, no caso do coprocessamento em fornos de clínquer, o BREF de 2013 estabelece medidas que visam a eficiência energética e a redução das emissões atmosféricas, considerando critérios como o controle de poluentes, substituição de combustíveis fósseis e monitoramento contínuo de emissões (Joint Research Centre, 2013). Tais documentos funcionam como guias técnicos obrigatórios nos processos de licenciamento ambiental em países da UE, reforçando a integração entre tecnologia e regulação.

No tocante à padronização dos Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR), a norma EN 15359:2011 define parâmetros técnicos fundamentais, tais como poder calorífico inferior, teores de cloro e mercúrio, além da classificação em cinco classes de qualidade, e essa padronização tem como finalidade garantir a segurança operacional e previsibilidade do desempenho energético dos CDR (CEN, 2011).

O modelo Europeu tem apresentado resultados expressivos, posto que segundo a

European Cement Association (2017)¹⁴, mais de 40% (quarenta por cento) da matriz energética utilizada pelas cimenteiras da UE já é composta por resíduos e biomassa, o que contribui significativamente para a redução de emissões de gases de efeito estufa e para o avanço da economia circular no setor, e essa experiência evidencia que a combinação entre regulação rigorosa, incentivo tecnológico e responsabilização ambiental pode resultar em ganhos ambientais e econômicos convergentes.

Na Alemanha, o coprocessamento é regulado com critérios rigorosos. O CDR é enquadrado como subproduto energético e sua certificação é obrigatória, havendo metas nacionais claras de substituição de combustíveis fósseis. Essa política está alinhada à estratégia de descarbonização e ao uso eficiente de recursos, integrando resíduos às políticas climáticas nacionais (BMU, 2017).

O coprocessamento de resíduos sólidos como forma de valorização energética tem sido progressivamente incorporado às políticas públicas de países europeus como Itália, França e Países Baixos, ainda que com níveis distintos de institucionalização normativa.

Na França, o principal marco legal que ampara a valorização energética de resíduos é a Lei n.º 2015-992, de 17 de agosto de 2015, denominada Lei de Transição Energética para o Crescimento Verde.

Essa legislação estabelece metas concretas para a redução das emissões de gases de efeito estufa, o aumento da eficiência energética e promoção da economia circular (FRANÇA, 2015).

Ainda que o termo “coprocessamento” não seja explicitamente mencionado, o uso de combustíveis derivados de resíduos (CDR) é incentivado como alternativa à queima de combustíveis fósseis, em consonância com as metas nacionais de descarbonização, como destacado por a *European Cement Association*¹⁵, a França possui significativa taxa de substituição térmica no setor cimenteiro, atribuída em parte a essa orientação normativa (CEMBUREAU, 2017).

Nos Países Baixos, embora inexista legislação específica sobre coprocessamento, a prática é amplamente adotada no setor cimenteiro como parte da estratégia nacional de economia circular, visto que a política ambiental holandesa favorece a substituição de combustíveis fósseis por CDR, tendo como base os princípios da hierarquia de resíduos e responsabilidade ampliada do produtor, e segundo relatório da CEMBUREAU (2017), os

¹⁴ Associação Européia de Cimento

¹⁵ Associação Europeia do Cimento

Países Baixos apresentam uma das maiores taxas de substituição térmica da União Europeia, resultado de políticas integradas de gestão de resíduos e incentivos ao uso energético desses materiais.

Na Itália, a valorização energética por meio do coprocessamento também é incorporada às estratégias nacionais de gestão integrada de resíduos, especialmente em regiões com elevado grau de industrialização. A legislação italiana segue as diretrizes da Diretiva 2008/98/CE, que orienta os Estados-membros quanto à hierarquia de gestão e à necessidade de integração entre setores produtivos e políticas ambientais (UNIÃO EUROPEIA, 2008), o país adota parâmetros técnicos e ambientais compatíveis com os definidos nos documentos BREF e na norma EN 15359:2011, garantindo a conformidade das práticas com os padrões europeus de segurança e sustentabilidade.

Portanto, a análise comparada indica que, embora a existência de legislação específica varie entre os países, o coprocessamento é amplamente utilizado como ferramenta de convergência entre as agendas de gestão de resíduos, eficiência energética e transição climática, refletindo o alinhamento das políticas nacionais às diretrizes europeias.

3.5 O Coprocessamento de Resíduos como estratégia de desenvolvimento sustentável e os caminhos para um marco jurídico integrado no Brasil

A ausência de um marco legal específico para o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) em fornos rotativos de clínquer no Brasil constitui um dos principais entraves à consolidação dessa prática como política pública ambiental, energética e de desenvolvimento sustentável.

A atual fragmentação normativa, apoiada em resoluções do CONAMA, normas da ABNT e interpretações difusas de legislações ambientais e sanitárias, não confere segurança jurídica nem previsibilidade aos entes públicos, à indústria cimenteira, aos catadores de materiais recicláveis ou à população envolvida.

Nesse contexto, propõe-se a formulação de um marco legal próprio e estruturado, com diretrizes claras, inspirado nos princípios do desenvolvimento sustentável, na justiça socioambiental e na política nacional de resíduos sólidos, conforme delineada na Lei nº 12.305/2010.

Segundo Fiorillo (2019) a eficácia da gestão de resíduos depende não apenas da sua viabilidade técnica, mas também da segurança jurídica que possibilite a atuação integrada entre os diversos atores da política ambiental.

No caso brasileiro, embora existam instrumentos normativos que autorizem o coprocessamento de resíduos, como a Resolução CONAMA nº 499/2020, estes carecem de densidade normativa suficiente para estabelecer, por exemplo, critérios obrigatórios de remuneração, obrigações dos operadores, incentivos fiscais e mecanismos de controle ambiental.

A ausência de um marco legal específico também prejudica o cumprimento de metas internacionais assumidas pelo Brasil, como o Acordo de Paris (Decreto nº 9.073/2017) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial os ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), 12 (Consumo e produção responsáveis) e 13 (Ação contra a mudança global do clima).

Propõe-se, com base nas lacunas observadas e na análise comparada de experiências internacionais, uma proposta de estrutura básica para uma Lei Nacional do Coprocessamento, a ser integrada à Política Nacional de Resíduos Sólidos, aos instrumentos de política climática e ao Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

Essa proposta contempla os seguintes capítulos:

- Capítulo I – Disposições Gerais e Objetivos
- Capítulo II – Princípios e Diretrizes
- Capítulo III – Das Responsabilidades dos Atores Envolvidos
- Capítulo IV – Das Condições Técnicas e Ambientais para o Coprocessamento
- Capítulo V – Dos Catadores de Materiais Recicláveis
- Capítulo VI – Dos Incentivos Fiscais e Econômicos
- Capítulo VII – Da Integração com a Política Climática
- Capítulo VIII – Da Fiscalização, Controle e Penalidades
- Capítulo IX – Das Disposições Finais e Transitórias

Essa estrutura visa não apenas dar segurança jurídica, mas também garantir que o coprocessamento contribua efetivamente para a redução da destinação inadequada de resíduos, para a economia de combustíveis fósseis e para o fortalecimento das cadeias de logística reversa e inclusão social.

O marco legal proposto deverá ser norteado pelos seguintes princípios:

- Princípio da Prevenção e Prevenção Ambiental, garantindo que o coprocessamento só ocorra quando não houver riscos ao meio ambiente e à saúde;
- Princípio do Poluidor-Pagador, com atribuição clara de custos ambientais aos geradores dos resíduos;
- Princípio da Responsabilidade Compartilhada pelo Ciclo de Vida dos Produtos,

conforme disposto na Lei nº 12.305/2010;

- Princípio da Dignidade do Trabalho dos Catadores, valorizando e integrando a atuação dos catadores organizados em cooperativas;
- Princípio da Eficiência Energética e do Aproveitamento Sustentável, reconhecendo o papel estratégico do coprocessamento na transição energética.

A consolidação desses princípios no texto normativo não apenas assegura a legitimidade do marco legal proposto, como também alinha sua aplicação aos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da sustentabilidade ambiental, da justiça social e da governança climática.

A abordagem dos ecossistemas de negócios, proposta por Moore (1993), reforça a relevância de se considerar a interdependência entre empresas, governos e atores sociais como um princípio transversal de sustentabilidade, essa lógica propõe que os processos de inovação e gestão ambiental sejam guiados não apenas por metas técnicas ou normativas, mas também por relações colaborativas e adaptativas, essenciais à transição ecológica.

Assim, ao reconhecer o coprocessamento como instrumento técnico-ambiental inserido na lógica da economia circular, torna-se indispensável que sua regulação esteja fundada em bases jurídicas robustas, capazes de garantir a proteção ao meio ambiente, a valorização do trabalho dos catadores e a indução de práticas empresariais eficientes e responsáveis.

3.5.1 Valorização dos Catadores e a Remuneração pela Contribuição Ambiental: Fundamentação Jurídica

A inclusão dos catadores de materiais recicláveis nas estratégias de gestão de resíduos sólidos não apenas atende a diretrizes de justiça social e desenvolvimento local, mas também constitui obrigação legal expressa na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Diversos dispositivos da legislação federal reconhecem o valor econômico, ambiental e social dos resíduos recicláveis, bem como o papel central dos catadores no processo de reaproveitamento.

A valorização dos catadores como agentes centrais da economia circular exige remuneração adequada pelo serviço ambiental prestado, especialmente quando resíduos recicláveis, passíveis de comercialização, são desviados para fins de coprocessamento.

Nesses casos, configura-se perda de renda para as organizações de catadores, o que

impõe ao setor privado, em especial os grandes geradores e os operadores de coprocessamento o dever de compensação econômica.

Essa diretriz já se encontra delineada na legislação vigente, conforme demonstra o quadro a seguir:

Quadro 14 – BASE JURÍDICA PARA A REMUNERAÇÃO DOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

DISPOSITIVO LEGAL	CONTEÚDO RELEVANTE
Art. 7º, XII – Lei 12.305/2010	Determina a integração dos catadores às ações que envolvam responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.
Art. 15, V – Lei 12.305/2010	Estabelece que os planos de gestão devem assegurar a inclusão social e econômica dos catadores.
Art. 18, II – Lei 12.305/2010	Exige que os municípios priorizem a participação de cooperativas de catadores nos serviços de coleta seletiva.
Art. 33, §3º, III – Lei 12.305/2010	Prevê a participação das cooperativas nos sistemas de logística reversa e sua remuneração.
Art. 2º, VIII – Lei 12.305/2010	Define os resíduos reutilizáveis e recicláveis como bem econômico e de valor social, gerador de trabalho, renda e cidadania.

Fonte: Elaborado pela autora com base na Lei 12.305/2010

Além disso, o art. 30 e seguintes da mesma lei estabelecem a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, impondo ao setor empresarial o dever de internalizar os custos ambientais e sociais da sua produção, incluindo o financiamento da coleta seletiva e da remuneração dos catadores.

Nesse sentido, importante elencar que, ao desviar resíduos com potencial de reciclagem para o coprocessamento sem triagem adequada, o setor industrial deve assumir a responsabilidade pela compensação financeira, pois está se apropriando de um recurso com valor de mercado que deveria ser direcionado à cadeia da reciclagem.

Portanto, a proposta normativa de um marco legal para o coprocessamento deve conter, obrigatoriamente, dispositivos que:

- Estabeleçam a obrigatoriedade da remuneração mínima aos catadores por tonelada desviada de reciclável usada como CDR-U;
- Definam mecanismos de transferência financeira via fundos municipais ou instrumentos de logística reversa;
- Exijam a comprovação da parceria com cooperativas como requisito para autorização

do coprocessamento de resíduos urbanos

3.5.2 Instrumentos de Incentivo Econômico

A viabilização do coprocessamento em larga escala exige não apenas obrigações legais, mas também incentivos econômicos que promovam a adesão dos municípios, das cooperativas e das empresas cimenteiras.

Para tanto, a legislação nacional do coprocessamento poderá prever:

- Redução do ICMS para empresas que utilizarem Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU);
- Criação de linhas de crédito específicas no BNDES e fundos de fomento à infraestrutura de triagem e logística reversa;
- Concessão de selos ambientais e fiscais para produtos com base em economia circular;
- Instituição de um sistema de compensações ambientais para empresas que substituam combustíveis fósseis por resíduos urbanos, similar ao mecanismo dos Créditos de Logística Reversa (CLR).

A título de exemplo, o Estado de Minas Gerais instituiu, por meio da Lei Estadual nº 19.823/2011, o Programa Bolsa Reciclagem, que estabelece um modelo de pagamento por serviços ambientais prestados por catadores de materiais recicláveis organizados em cooperativas e associações. Essa política pública tem contribuído para o fortalecimento financeiro das cooperativas locais, ampliando sua capacidade operacional e promovendo a valorização do trabalho socioambiental dos catadores. Além disso, ao incentivar a triagem e a comercialização de recicláveis, o programa contribui para a redução da pressão sobre os aterros sanitários

3.5.2 Articulação com a Política Climática e os ODS

A nova legislação deverá integrar o coprocessamento às metas climáticas nacionais *Nationally Determined Contributions* (NDCs)¹⁶, estabelecendo indicadores de redução de emissões associadas à substituição de combustíveis fósseis por resíduos.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009) e o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) instituído pela Lei nº 15.042/2024 são os

¹⁶ Contribuições nacionalmente determinadas - são compromissos que cada país estabelece para reduzir suas emissões de gases de efeito estufa e promover adaptações ao clima, conforme acordado no Acordo de Paris (2015)

principais instrumentos para essa integração.

Assim, o marco legal do coprocessamento poderá:

- Incluir o CDRU como mecanismo de mitigação reconhecido no SBCE;
- Autorizar a geração de créditos de carbono pelas empresas que substituírem combustíveis fósseis por resíduos urbanos triados;
- Estimular inventários de emissões e relatórios de sustentabilidade, como exigência para o licenciamento ambiental das unidades cimenteiras que utilizem coprocessamento.

3.5.3 Experiências Internacionais como base para o Marco Legal

A União Europeia, por meio da Diretiva 2008/98/CE, regulamenta o coprocessamento como forma de recuperação energética, integrando-o à hierarquia da gestão de resíduos. Na Alemanha, o uso de CDR como combustível alternativo é regulado desde 1990, com critérios técnicos rigorosos e incentivos fiscais.

Já na França, o modelo de parcerias público-privadas entre municípios e cimenteiras tem garantido resultados expressivos na redução da destinação a aterros (EUROPEAN COMMISSION, 2021)¹⁷.

O Brasil pode se inspirar nessas boas práticas para:

- Estabelecer uma hierarquia legal clara sobre as formas de destinação de resíduos;
- Incentivar centrais regionais de triagem e produção de CDRU, com financiamento público-privado;
- Criar um cadastro nacional de operadores de coprocessamento, com critérios técnicos e ambientais obrigatórios.

A literatura sobre ecossistemas de negócios contribui para compreender esses arranjos inovadores sob a ótica da interdependência estratégica entre os diversos atores.

Como aponta Moore (1996), a sobrevivência e o sucesso das organizações em ambientes complexos dependem da capacidade de formar alianças dinâmicas, em que a competição e a colaboração coexistem para gerar soluções mais resilientes e adaptativas.

No contexto do coprocessamento, tal lógica favorece a criação de redes compostas por empresas, cooperativas, instituições científicas e governos locais, capazes de compartilhar

¹⁷ A Comissão Europeia é o órgão executivo da União Europeia, responsável por propor legislações, implementar decisões, gerir políticas da UE e representar os interesses do bloco.

recursos, gerar conhecimento e ampliar a eficiência coletiva do sistema de gestão de resíduos.

3.5.4 Subsídios para a sustentabilidade financeira do sistema de coprocessamento e integração dos catadores

A sustentabilidade financeira apresenta-se como um dos principais desafios para a consolidação de políticas públicas voltadas à gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU), sobretudo no contexto da valorização dos catadores e da inserção do coprocessamento como estratégia complementar à disposição final ambientalmente adequada.

Nesse sentido, aponta-se como possibilidade um modelo acadêmico de intervenção que busca conjugar instrumentos jurídicos e econômicos com vistas a garantir viabilidade financeira, inclusão social e mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

O presente item parte de dois pressupostos:

- i) a remuneração direta dos catadores pelo poder público, com base na tonelada de resíduos desviada do aterro sanitário; e
- ii) a criação de instrumentos complementares, como créditos de logística reversa e créditos de carbono, capazes de ampliar o financiamento do sistema.

Do ponto de vista jurídico, a PNRS estabelece, em seu artigo 9º, a ordem de prioridade na gestão de resíduos, na qual o coprocessamento se insere como alternativa após a não geração, redução, reutilização e reciclagem. Além disso, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, prevista nos artigos 7º e 8º da referida lei, reforça a necessidade de arranjos institucionais que incluam catadores e cooperativas (BRASIL, 2010).

O Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) também reforça a diretriz de integração entre instrumentos jurídicos e mecanismos de sustentabilidade (BRASIL, 2020).

No campo climático, a Política Nacional de Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009) e a recente Lei nº 14.590/2023, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), inserem o Brasil em um contexto de transição para uma economia de baixo carbono.

Nesse sentido, o coprocessamento de RSU representa uma estratégia que pode gerar créditos de carbono ao substituir combustíveis fósseis por Combustíveis Derivados de Resíduos Urbanos (CDRU), reduzindo emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2009; BRASIL, 2023).

Entre os instrumentos propostos, observa-se a remuneração direta dos catadores com base no volume de resíduos desviados dos aterros. Essa prática já encontra precedentes em experiências estaduais, como a Bolsa Reciclagem de Minas Gerais (Lei nº 19.823/2011), que remunera cooperativas de catadores pela contribuição ambiental prestada (MINAS GERAIS,

2011). Inspirada nesse modelo, a nota técnica elaborada pelo Ministério Público de Mato Grosso do Sul (MPMS) aponta a viabilidade de adoção dessa metodologia em nível municipal e regional, consolidando-se como alternativa juridicamente adequada e socialmente inclusiva.

Outro mecanismo consiste na criação de créditos de logística reversa vinculados ao CDRU. Embora atualmente esse instrumento não esteja regulamentado no âmbito do Mato Grosso do Sul, sua inclusão no sistema de logística reversa poderia representar importante inovação normativa.

O reconhecimento do CDRU como atividade apta a gerar créditos de logística reversa estimularia a corresponsabilização dos setores produtivos e ampliaria os incentivos econômicos para a valorização dos rejeitos. Tal medida encontra respaldo no princípio da responsabilidade compartilhada previsto na PNRS (BRASIL, 2010).

No que se refere aos créditos de carbono, a utilização de resíduos sólidos urbanos como combustível alternativo em fornos de clínquer possibilita a redução das emissões de metano associadas à decomposição dos resíduos em aterros, e de dióxido de carbono, associado ao uso de combustíveis fósseis. Assim, tanto no mercado regulado (SBCE) quanto no mercado voluntário de carbono, abre-se a oportunidade de monetização das reduções de emissões, desde que cumpridos os requisitos de adicionalidade, mensurabilidade e verificabilidade.

A proposta integrada de divisão de custeio contempla, portanto, três eixos complementares:

- i) remuneração direta pelo poder público,
- ii) reconhecimento do CDRU como gerador de créditos de logística reversa e
- iii) monetização dos benefícios climáticos por meio de créditos de carbono.

Essa arquitetura favorece não apenas a sustentabilidade econômica do sistema, mas também a justiça socioambiental, ao integrar catadores em mecanismos de valorização e distribuir de forma equitativa os ganhos ambientais e financeiros.

Por fim, o presente estudo deve ser compreendido como subsídio técnico e científico, apto a inspirar políticas públicas e arranjos normativos que conciliem eficiência econômica, inclusão social e o cumprimento das metas ambientais e climáticas assumidas pelo Brasil.

3.5.5 Considerações finais e proposta de dispositivos legais

Diante do exposto, conclui-se que a criação de um marco legal do coprocessamento é medida urgente e necessária para assegurar:

- Segurança jurídica;
- Eficiência técnica;
- Valorização social dos catadores;
- Redução de impactos ambientais;
- Cumprimento das metas climáticas e dos ODS;
- Estímulo à inovação tecnológica e à responsabilidade ambiental no setor produtivo.

A título de ilustração, propõe-se o seguinte artigo introdutório para o futuro projeto de lei:

Art. 1º Fica instituído, em âmbito nacional, o marco legal do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer, com fundamento nos princípios do desenvolvimento sustentável, da responsabilidade compartilhada e da justiça ambiental.

Parágrafo único. Esta lei estabelece diretrizes para o licenciamento, operação, controle, incentivo fiscal e integração socioeconômica da cadeia do coprocessamento, em articulação com a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Política Nacional sobre Mudança do Clima.

A construção de um marco legal para o coprocessamento deve, portanto, considerar também a lógica dos ecossistemas de negócios, conforme proposto por James F. Moore (1993).

Ao compreender que empresas, governos e organizações sociais coevoluem em ambientes interdependentes, a legislação deve fomentar modelos de cooperação estratégica voltados à inovação, à valorização dos resíduos e à sustentabilidade territorial.

Tais ecossistemas pressupõem arranjos descentralizados e colaborativos, nos quais diferentes atores, inclusive concorrentes, compartilham recursos, soluções e capacidades para responder a desafios complexos, como os da transição ecológica e da gestão de resíduos urbanos.

Essa perspectiva reforça a importância de políticas públicas integradas, que articulem incentivos fiscais, segurança regulatória e mecanismos de governança compartilhada entre os setores público e privado, promovendo práticas inovadoras capazes de gerar valor ambiental, social e econômico em rede.

Nesse cenário, o marco legal do coprocessamento não deve ser compreendido apenas como um instrumento jurídico-técnico, mas como uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento local sustentável, com potencial para integrar inovação, inclusão social, gestão ambiental e eficiência econômica.

A consolidação dessa política pública depende da capacidade do Estado de articular agentes diversos, empresas, cooperativas, universidades e governos locais, em torno de um propósito comum: transformar os resíduos urbanos em oportunidades de geração de valor. Ao reconhecer a complexidade dos arranjos institucionais e a interdependência entre os atores, o legislador poderá estabelecer bases sólidas para uma governança colaborativa, resiliente e orientada ao futuro, trata-se, portanto, de uma agenda que extrapola o campo ambiental e se inscreve no centro das políticas públicas de desenvolvimento do século XXI (Moore, 1993). Portanto, o sucesso das políticas públicas depende da habilidade em articular um ecossistema dinâmico, no qual as instituições sejam capazes de se adaptar rapidamente às mudanças tecnológicas e ambientais, promovendo um ambiente de confiança mútua e geração contínua de valor (Moore, 1996).

Além das diretrizes normativas, a consolidação de um marco legal do coprocessamento deve estar articulada com mecanismos de sustentabilidade financeira, como discutido no item anterior. Instrumentos de remuneração dos catadores, créditos de logística reversa e créditos de carbono podem ser incorporados ao arcabouço regulatório, criando sinergia entre as normas jurídicas e os incentivos econômicos. Essa integração fortalece a viabilidade do sistema, reduzindo custos públicos, ampliando a inclusão social e garantindo a continuidade das metas ambientais de longo prazo.

Nesse sentido, o marco legal do coprocessamento deve ser não apenas normativo, mas estrategicamente adaptativo, favorecendo a coevolução entre agentes públicos, empresas, catadores e instituições de ciência e tecnologia.

4 HISTÓRIA E TRAJETÓRIA DOS ATORES ENVOLVIDOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS E COPROCESSAMENTO

O desenvolvimento local sustentável é resultado de um processo coletivo e articulado entre diversos atores sociais que, em interação, constroem soluções inovadoras para os desafios do território, e tal concepção rompe com a lógica tradicional de planejamento centralizado e verticalizado, passando a valorizar as capacidades endógenas, a cooperação multisetorial e o fortalecimento da cidadania ativa como pilares estruturantes de um novo modelo de governança.

Nesse sentido, a gestão dos resíduos sólidos urbanos e a implantação de tecnologias de valorização, como o coprocessamento, devem ser compreendidas não apenas sob o prisma técnico-operacional, mas como manifestações concretas de um processo de construção social do território, visto que de acordo com Ávila (2017), o desenvolvimento local é uma prática social situada, que emerge das interações entre sujeitos e instituições em determinado contexto espacial e histórico. O autor destaca que a territorialidade assume papel central na dinâmica do desenvolvimento, pois não se trata apenas de um espaço físico, mas de um campo simbólico e político no qual se expressam identidades, conflitos e pactos, pois atores públicos, privados e comunitários, quando mobilizados em torno de um objetivo comum, são capazes de ativar recursos locais, construir redes colaborativas e gerar inovações sociais, econômicas e ambientais com impactos estruturantes. Tal dinâmica é especialmente relevante nas políticas ambientais, cujo êxito depende da corresponsabilidade, da transparência e da capacidade de articulação entre diferentes segmentos sociais.

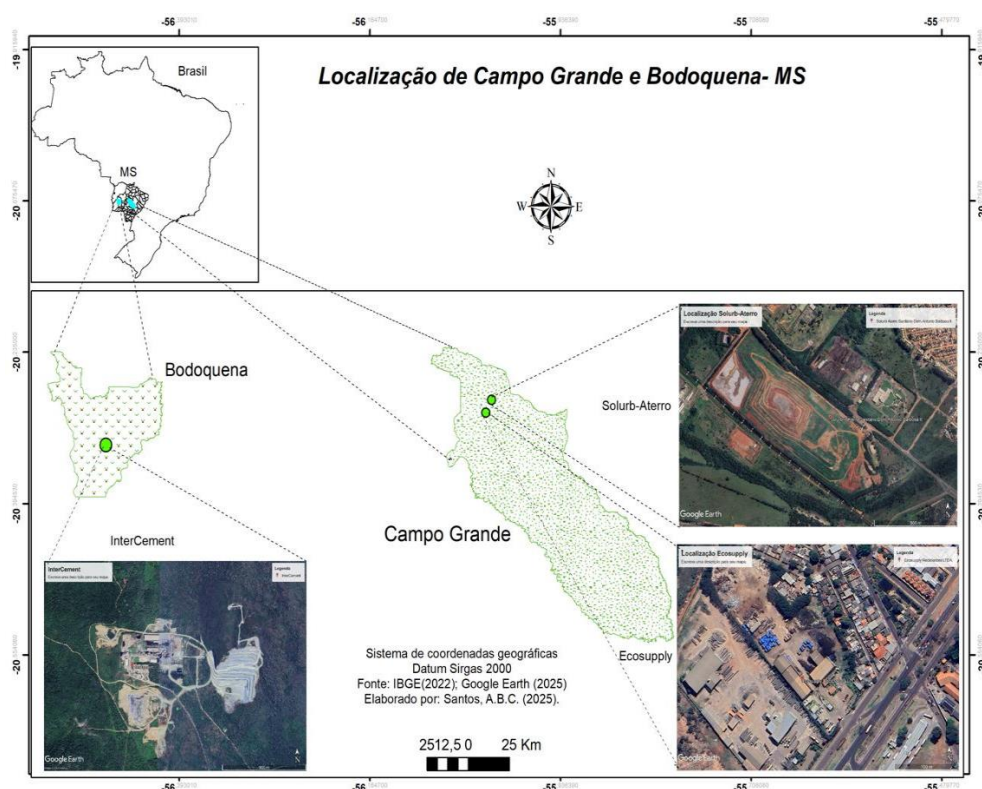
No campo da gestão de resíduos, essa abordagem ganha contornos ainda mais significativos, pois como apontam autores como Silva e Diniz (2020), a eficiência dos sistemas de coleta, triagem e disposição final não pode ser desvinculada da atuação dos catadores, cooperativas, concessionárias, empresas recicladoras, universidades, instituições de controle e da própria população, visto que cada um desses atores exerce funções complementares que, quando integradas, fortalecem a governança ambiental urbana e ampliam os efeitos positivos sobre o desenvolvimento territorial.

Não se trata, portanto, de enxergar o poder público como único responsável, mas sim de reconhecer a multiplicidade de sujeitos que, de forma articulada, construam soluções sustentáveis com base em conhecimento local, inclusão social e inovação ambiental.

Essa concepção também dialoga com a noção de ecossistemas de inovação social, conforme formulado por Andion, Alperstedt e Graeff (2020), os quais descrevem arranjos institucionais compostos por diferentes agentes, estado, mercado, academia e sociedade civil voltados à resolução de problemas públicos complexos.

Esses ecossistemas funcionam por meio da cooperação intersetorial, da cocriação de soluções e do compartilhamento de objetivos, sendo especialmente eficazes em políticas públicas que exigem adaptação contínua, como é o caso da gestão de resíduos e da transição para modelos circulares.

Em Campo Grande/MS, a atuação conjunta entre a concessionária Solurb, as cooperativas de catadores, a empresa Ecosupply, a InterCement, o Ministério Público e a Prefeitura Municipal configuram um exemplo concreto dessa lógica cooperativa, na qual a corresponsabilidade é a chave para a efetividade das políticas socioambientais.



Ao adotar uma abordagem integradora, o município promove não apenas a melhoria dos serviços de limpeza urbana e a destinação ambientalmente adequada dos resíduos, mas também a dinamização da economia local, a inclusão socioprodutiva de populações vulneráveis e a construção de um novo paradigma de planejamento urbano sustentável, pois conforme destaca Diniz (2020), a ativação de capacidades locais exige o reconhecimento dos sujeitos como protagonistas, e não como meros beneficiários das políticas. Tal protagonismo se

manifesta na participação ativa dos catadores nas decisões sobre o sistema de triagem, na atuação empreendedora de empresas privadas voltadas à logística reversa e na articulação institucional promovida pelo poder público municipal.

Assim, este capítulo se dedica a reconstruir a trajetória dos principais atores envolvidos na gestão de resíduos e no coprocessamento em Campo Grande/MS, evidenciando o papel que cada um desempenha na construção de soluções locais para desafios globais, e a partir de uma perspectiva dialógica e colaborativa, busca-se demonstrar que o desenvolvimento local sustentável é fruto da interação contínua entre estruturas institucionais, práticas sociais e inovações ambientais que, juntas, moldam o território e ampliam as possibilidades de transformação socioambiental.

4.1 A concessão pública da Solurb e sua atuação na coleta e triagem de resíduos

A CG Solurb Soluções Ambientais atua como a concessionária responsável pela prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos no município de Campo Grande/MS, e conforme estabelecido no contrato de concessão firmado com o poder público municipal, a empresa executa, entre outras atividades, a coleta e o transporte dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais, abrangendo tanto a área urbana quanto os distritos de Anhanduí e Rochedinho.

A atuação da concessionária está alinhada com os princípios estabelecidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010), que determina a necessidade de promover o manejo ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, o qual deve considerar não apenas a disposição final ambientalmente correta, mas também a redução na geração, reutilização e reciclagem dos resíduos, conforme disposto em seu art. 3º, inciso VII.

Nesse contexto, a Solurb adota estratégias que vão além da coleta e destinação final, buscando atuar nas causas estruturais da geração de resíduos por meio da mudança de padrões insustentáveis de produção e consumo, em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Como destaca Sachs (2002, p. 25), “o desenvolvimento sustentável pressupõe a articulação entre crescimento econômico, equidade social e prudência ecológica”.

Essa abordagem integrada é essencial para a gestão eficiente dos resíduos urbanos, reconhecendo que a solução não se limita ao tratamento dos efeitos, mas exige um modelo sistêmico e participativo, como preconiza a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992), em seu Princípio 16, o princípio do poluidor-pagador impõe a responsabilização compartilhada entre o gerador de resíduos, o poder público e a coletividade, diretriz plenamente incorporada pela Lei nº 12.305/2010.

Ao promover a logística adequada e o reaproveitamento dos resíduos, a concessionária atua como agente da economia circular e, ao mesmo tempo, indutora do desenvolvimento local sustentável, haja vista a geração de empregos formais, o fortalecimento das cadeias produtivas de reciclagem e a articulação com cooperativas de catadores configuram uma forma concreta de dinamização econômica territorial, e nesse sentido, conforme aponta Diniz (2020, p. 81), “o desenvolvimento local não se limita ao crescimento econômico, mas envolve a construção de capacidades endógenas que permitam às comunidades responder aos seus desafios com autonomia e sustentabilidade”.

Por fim, a atuação da Solurb pode ser compreendida dentro da lógica de uma gestão integrada de resíduos sólidos, conforme o art. 6º da PNRS, que estabelece que o conjunto das ações deve considerar as variáveis ambientais, econômicas e sociais, visando à universalização dos serviços, à proteção da saúde pública e à preservação ambiental.

A coleta de resíduos sólidos urbanos é operacionalizada por equipes técnicas especializadas, compostas por trabalhadores que recebem treinamentos periódicos voltados à segurança, à higiene ocupacional e à eficiência operacional. Esses profissionais realizam o recolhimento dos resíduos nos pontos de coleta definidos, utilizando equipamentos adequados e acondicionando os materiais de forma segura nos caminhões coletores, conforme as normas técnicas brasileiras, como a NBR 13.896/1997.

Após a coleta, os resíduos são transportados de forma contínua e monitorada até o Aterro Sanitário Dom Antônio Barbosa II, estrutura pública localizada em Campo Grande/MS e operada pela própria concessionária, devidamente licenciada e estruturada para cumprir os requisitos legais exigidos para a destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010, art. 3º, inciso VIII).

O processo de disposição no aterro segue critérios técnicos rigorosos de impermeabilização do solo, controle de chorume, captação e queima controlada de gases, além de monitoramento ambiental contínuo, e tais práticas estão em conformidade com as diretrizes da Resolução CONAMA n. 404/2008, que regulamenta o licenciamento ambiental de aterros sanitários.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2023), “os aterros sanitários são a forma mais segura de destinação final para os rejeitos que não podem ser reciclados ou reaproveitados”, o que reforça a importância de sua operação eficiente e tecnicamente orientada.

Nesse sentido, a atuação integrada entre coleta, transporte e disposição final não apenas cumpre os marcos regulatórios e sanitários, mas também contribui para a dinamização

da economia local, com impactos positivos em indicadores sociais e ambientais.

Conforme reforçam Lemos e Brito (2018), a prestação de serviços públicos ambientais por meio de parcerias público-privadas pode impulsionar o desenvolvimento local, desde que orientada por critérios de sustentabilidade, inclusão e participação social.

A imagem abaixo comprova a situação anterior à concessão pública dos serviços de limpeza urbana em Campo Grande/MS, evidenciando o acúmulo inadequado de resíduos e a precariedade das condições estruturais e ambientais no antigo lixão da cidade.

Figura 14 – Antigo cenário de destinação inadequada de resíduos sólidos em Campo Grande /MS (2011)



Fonte: <https://ojacare.com.br/2017/08/25/14437> Acesso 10.10.2024

A empresa CG Solurb Soluções Ambientais iniciou oficialmente suas atividades no Município de Campo Grande/MS em 2012, assumindo os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos por meio de concessão pública.

Desde então, a empresa passou a implementar uma estrutura mais organizada e eficiente para a coleta e destinação dos resíduos, com destaque para a coleta seletiva, que passou a ser realizada por meio do sistema "porta a porta" e pela instalação de 240 LEVs – Locais de Entrega Voluntária distribuídos estrategicamente em diferentes regiões da cidade. Essa

estratégia está em consonância com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que preconiza a logística reversa e a articulação entre os diversos atores sociais na gestão compartilhada de resíduos (BRASIL, 2010).

Antes da implantação do sistema concessionado, como se observa na imagem acima, a ausência de padronização e estrutura adequada dificultava a eficiência da coleta seletiva e o correto encaminhamento dos materiais recicláveis.

A chegada da concessionária permitiu a ampliação da cobertura dos serviços e a integração com os princípios da responsabilidade compartilhada previstos na Lei n. 12.305/2010, que estabelece que o poder público, as empresas e a sociedade civil devem colaborar na efetivação da gestão integrada de resíduos.

O material reciclável coletado por esses sistemas é encaminhado à Unidade de Triagem e Reciclagem (UTR), equipamento público operado atualmente por três cooperativas e uma associação de catadores de materiais recicláveis, em regime de parceria com a Prefeitura, visto que tal organização busca fomentar a inclusão socioeconômica de populações tradicionalmente marginalizadas, em consonância com o art. 8º, §1º da PNRS, que orienta os municípios a priorizarem essas entidades na prestação dos serviços de coleta seletiva e triagem.

Como defendem Dias e Alves (2008), os catadores constituem agentes fundamentais da cadeia produtiva da reciclagem, sendo sua valorização indispensável para a promoção da justiça socioambiental e do desenvolvimento local.

A participação de organizações sociais neste processo reforça a perspectiva de desenvolvimento local sustentável, conforme destaca Silva (2021), ao afirmar que “a valorização dos catadores como protagonistas da cadeia produtiva da reciclagem representa um avanço na política socioambiental e uma forma concreta de justiça ambiental”. Esse entendimento é corroborado por Diniz (2020), ao argumentar que o desenvolvimento local requer a ativação de recursos endógenos e o fortalecimento de redes colaborativas entre Estado, mercado e sociedade civil.

Assim, o modelo adotado em Campo Grande busca articular eficiência técnica, sustentabilidade ambiental e inclusão social, e conforme propõem Barroso e Gonçalves (2019), ao afirmarem que essa abordagem representa “uma transição para sistemas produtivos regenerativos e socialmente integradores”.

Essa concepção não apenas fortalece a valorização dos catadores e sua inserção socioeconômica, mas também contribui para a reestruturação do espaço urbano com base em princípios de planejamento ambiental, controle sanitário e gestão racional dos resíduos, sendo que tais avanços são perceptíveis na organização do sistema local de destinação final, cuja

estrutura atual reflete melhorias substanciais em relação ao cenário anterior à concessão.

A imagem a seguir, por exemplo, registrada no ano de 2017, ilustra o novo panorama do Aterro Sanitário Dom Antônio Barbosa II, em Campo Grande/MS, evidenciando transformações significativas na gestão e na disposição final dos resíduos sólidos urbanos, haja vista a padronização das operações, o uso de tecnologias de controle ambiental e a formalização do trabalho na cadeia de resíduos configuram um avanço sistêmico com implicações diretas no desenvolvimento territorial sustentável.

Figura 16 – Vista do aterro sanitário de Campo Grande/MS após reestruturação (2017)



Fonte: <https://ojacare.com.br/2017/08/25/14437/>. Acesso em 10.10.2024

A concessionária responsável pela limpeza urbana e pelo manejo de resíduos sólidos no município de Campo Grande/MS atua em toda a área urbana e nos distritos do território municipal. Sua operação está orientada por diretrizes de sustentabilidade ambiental, inclusão social e racionalidade técnica, conforme os princípios estabelecidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010).

Nesse escopo, a prestação do serviço público de manejo de resíduos sólidos é

compreendida como instrumento estratégico para a promoção do desenvolvimento local sustentável, ao articular ações de gestão ambiental com impactos positivos na saúde pública, na organização do espaço urbano e na geração de trabalho e renda.

A efetividade desse sistema, no entanto, depende de maneira decisiva da participação ativa da população, elemento central no modelo de responsabilidade compartilhada previsto pela legislação vigente, tendo em vista que a correta separação dos resíduos, seu acondicionamento em sacos resistentes e o descarte nos dias, horários e locais estabelecidos pela coleta pública são condutas que contribuem diretamente para a qualidade do serviço e para a preservação ambiental.

Como apontam Jacobi e Besen (2011), a participação cidadã na gestão de resíduos constitui fator determinante para a eficácia das políticas públicas ambientais, na medida em que reforça a corresponsabilidade entre Estado e sociedade na promoção da sustentabilidade urbana. Essa corresponsabilidade se expressa não apenas no correto descarte dos resíduos por parte da população, mas também na estruturação institucional e operacional dos serviços de coleta e destinação final. Nesse sentido, a operacionalização da coleta de resíduos sólidos em Campo Grande/MS reflete o compromisso da concessionária com padrões de segurança ocupacional, regularidade logística e profissionalização da força de trabalho, elementos essenciais à eficiência do sistema.

A imagem a seguir, registrada em via urbana da cidade, retrata a atuação dos trabalhadores da Solurb durante o processo de coleta, evidenciando aspectos formais e organizacionais da atividade. Observa-se o uso de uniformes com faixas refletivas, caminhões apropriados e devidamente identificados, bem como procedimentos padronizados, em conformidade com a NBR 13.896/1997, que estabelece os requisitos técnicos para a coleta de resíduos domiciliares.

A configuração retratada na imagem não apenas confirma o cumprimento das normativas técnicas, mas também revela uma lógica de governança ambiental baseada na cooperação interinstitucional e na cidadania ativa, princípios que sustentam o desenvolvimento local sustentável.

Figura 15 - Equipe da Solurb durante operação de coleta urbana em Campo Grande/MS



Fonte: Disponível em <https://gritoms.com.br/solurb-aprovacao-que-a-cidade-toda-comemora/>. Acesso 12.09.2024

Esse registro fotográfico contribui para a compreensão da importância da infraestrutura adequada, da capacitação profissional e da colaboração da população na eficiência do sistema de limpeza urbana. Trata-se, portanto, de um componente visível do modelo de governança ambiental urbana, baseado na corresponsabilidade e voltado ao desenvolvimento local sustentável.

A crescente degradação ambiental está intimamente relacionada ao padrão de consumo excessivo ao qual a sociedade contemporânea está condicionada. Conforme aponta Santos (1988), esse modelo de consumo contribui significativamente para os impactos negativos sobre o meio ambiente, evidenciando a necessidade de um engajamento coletivo efetivo na implementação das normas ambientais. A efetividade da legislação, nesse sentido, exige não apenas instrumentos jurídicos adequados, mas também a participação ativa da sociedade civil no cumprimento das metas e compromissos assumidos pelas políticas públicas que incorporam, progressivamente, a linguagem da sustentabilidade em nível local.

Nesse contexto, iniciativas colaborativas como o Programa De Olho no Óleo, fruto da parceria entre a concessionária Solurb e a empresa Águas Guariroba, ilustram como arranjos interinstitucionais podem gerar resultados ambientais concretos. O programa orienta o descarte correto do óleo de cozinha usado, que é armazenado em garrafas PET e recolhido por equipes da Solurb para posterior encaminhamento a processos de reciclagem, evitando a contaminação do solo e água, além de promover a reinserção do material em cadeias produtivas

especializadas. Tal iniciativa se insere na lógica da economia circular, modelo que visa à regeneração do capital natural, priorizando o reaproveitamento de recursos em substituição à extração e descarte (Gonçalves, 2019). Diferentemente da economia linear, a circular propõe um redesenho estrutural do sistema produtivo, com foco na eficiência, na sustentabilidade e na criação de valor, não apenas na redução de custos operacionais.

Nessa linha, o coprocessamento emerge como estratégia relevante para o aproveitamento energético de resíduos, substituindo matérias-primas fósseis e ampliando o ciclo de vida dos materiais. A abordagem proposta por Gadotti (2009) converge com essa lógica ao sustentar que as transformações sustentáveis requerem novos estilos de vida e padrões de consumo conscientes, com efeitos positivos no tecido comunitário e nas gerações futuras.

A consolidação de soluções sustentáveis, entretanto, exige mais do que eficiência técnica: demanda articulação entre múltiplos atores sociais. O conceito de ecossistema de inovação, apresentado por Andion, Alperstedt e Graeff (2020), estrutura-se a partir da cooperação entre governo, academia, setor privado e sociedade civil, permitindo respostas inovadoras a desafios públicos complexos. Trata-se de uma dinâmica colaborativa e adaptativa, baseada na cocriação e no compartilhamento de objetivos comuns, em que se inserem os ecossistemas de inovação social são caracterizados por interações plurais, contínuas e orientadas por propósitos coletivos, favorecendo o fortalecimento de vínculos sociais, políticos e econômicos nos territórios (Ansell e Torfing, 2021). Tais arranjos ampliam o protagonismo dos atores locais e promovem a corresponsabilidade no enfrentamento dos desafios da sustentabilidade.

Alinhada a essa perspectiva, em 22 de maio de 2024 foi realizada uma visita técnica ao pátio da empresa Solurb, em Campo Grande/MS, com o objetivo de observar in loco as etapas de triagem e armazenamento dos resíduos recicláveis. A atividade integra a pesquisa sobre a viabilidade técnica e econômica do envio de rejeitos das cooperativas locais para fins de blendagem na Ecosupply e posterior coprocessamento na InterCement, em Bodoquena/MS.

A seguir, são apresentadas imagens registradas durante a visita, nas quais é possível observar, ao fundo, diversos big bags contendo materiais recicláveis previamente separados como plásticos, papelão e outros resíduos.

As evidências visuais contidas na Figura 16 demonstram o caráter sistêmico da atuação da concessionária, consolidando um modelo de infraestrutura ambiental associada ao desenvolvimento local inclusivo e regenerativo.

Figura 16 – Visita técnica à unidade de triagem de recicláveis em Campo Grande/MS



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

A observação empírica, representada pelas imagens da visita técnica, reforça a materialização de um ecossistema de inovação social no campo da gestão de resíduos, no qual diferentes atores, públicos, privados e comunitários compartilham responsabilidades, tecnologias e objetivos sustentáveis. Esse arranjo territorial evidencia a potencialidade do coprocessamento como instrumento não apenas de reaproveitamento energético, mas também de fortalecimento institucional e geração de valor socioambiental no contexto do desenvolvimento local

4.2 O papel das cooperativas e da associação de catadores na logística reversa

A operação da Usina de Triagem de Resíduos (UTR) em Campo Grande/MS é estruturada a partir da recepção e separação dos materiais oriundos da coleta seletiva, seguindo critérios técnicos específicos para cada tipo de resíduo. Todo o processo de triagem, segregação e acondicionamento é de responsabilidade das cooperativas e da associação de catadores devidamente registradas, a saber: CATA MS, Coopermaras, Novo Horizonte e Associação Atamaras.

A atuação dessas organizações representa um elemento estratégico da política pública de resíduos sólidos, ao viabilizar a destinação final adequada dos materiais recicláveis, reduzir a pressão sobre o Aterro Sanitário Dom Antônio Barbosa II e promover a geração de trabalho e renda com base nos princípios da economia solidária. As cooperativas de catadores desempenham papel central na construção de um modelo de desenvolvimento local sustentável, pois articulam dimensões econômicas, sociais e ambientais no nível do território.

Conforme aponta França Filho (2002), os empreendimentos solidários possibilitam a revalorização do trabalho, o fortalecimento das redes comunitárias e a construção de soluções endógenas para problemas socioambientais locais. Ademais, sua presença na cadeia de gestão de resíduos amplia o escopo da governança participativa, reforçando a noção de corresponsabilidade entre Estado e sociedade civil.

Segundo Gaiger (2011), as cooperativas populares cumprem um duplo papel, econômico e sociopolítico, ao aliar a sustentabilidade ambiental à promoção da cidadania ativa e da coesão comunitária. Nesse sentido, a UTR materializa uma forma concreta de articulação entre infraestrutura ambiental, inclusão socioproductiva e dinamização econômica local, funcionando como elo prático da intersecção entre economia circular e justiça socioambiental.

Modelos de gestão baseados em arranjos associativos e cooperativos, como os presentes em Campo Grande, podem, segundo França Filho (2002), contribuir para a dinamização de economias locais, ao promoverem respostas sustentáveis e territorialmente contextualizadas para desafios urbanos complexos, como a destinação inadequada de resíduos.

Figura 17 - Resíduos sólidos previamente separados pelas cooperativas atuantes na UTR de Campo Grande/MS





Foto: Arquivo pessoal da autora (2022)

4.3 A atuação da Ecosupply na trituração e blendagem dos rejeitos

A Ecosupply iniciando suas atividades em 1992, a empresa é pioneira na decomposição de soluções aquosas de óleo solúvel e na reciclagem. Inserida no contexto do mundo moderno, ela se destaca como uma organização útil e pró-ativa para a sociedade.

A empresa opera no tratamento e destinação de resíduos classe I e II e de recuperação de lubrificantes, atuando no sistema de logística reversa, além de mitigar impactos ambientais, seja quanto a atmosfera, ambiente local, solo, subsolo, águas superficiais e lençol freático.

A Ecosupply, fundada em 1992, é reconhecida como uma das pioneiras no Brasil na decomposição de soluções aquosas de óleo solúvel e na reciclagem de resíduos industriais. Inserida no contexto das transformações ambientais e produtivas do mundo contemporâneo, a empresa se posiciona como um agente proativo no enfrentamento dos passivos ambientais, com ênfase na logística reversa e na economia circular.

Sua atuação contempla o tratamento e destinação de resíduos classificados como Classe I (perigosos) e Classe II (não perigosos), além da recuperação de lubrificantes e da decomposição de emulsões oleosas industriais. Essas atividades integram um conjunto de medidas voltadas à mitigação dos impactos ambientais nos diferentes compartimentos ambientais, como atmosfera, solo, subsolo, águas superficiais e lençóis freáticos.

O grupo Supply Service, ao qual pertence a Ecosupply, adota critérios rigorosos na seleção de fornecedores e prestadores de serviço complementar, exigindo aprovação junto aos órgãos ambientais competentes e a emissão dos respectivos documentos autorizativos.

A política de compras do grupo incorpora esses marcos normativos e operacionais, orientando-se por uma lógica de melhoria contínua da conduta empresarial sustentável, com

ênfase em serviços especializados para postos de combustíveis, oficinas, concessionárias e transportadoras.

Destaca-se ainda que a Ecosupply está licenciada para o descarte de embalagens de lubrificantes e filtros de óleo automotivo ou industrial, resíduos com elevado potencial poluidor. Estudos técnicos demonstram que, mesmo após escorridos, filtros de óleo ainda podem reter em média 25 ml de lubrificante contaminado, e as embalagens vazias também apresentam resíduos significativos, e quando descartados de forma irregular, esses materiais podem gerar gases tóxicos e contaminar o solo e os corpos hídricos, em afronta à Resolução CONAMA nº 362/2005, que regula a destinação de óleos lubrificantes usados no Brasil: “Art. 3º Todo o óleo lubrificante usado ou contaminado coletado deverá ser destinado à reciclagem por meio do processo de rerrefino” (BRASIL, 2005).

Complementarmente, a empresa realiza o tratamento físico-químico de diversos efluentes oleosos e águas contaminadas, promovendo a separação em óleo, água e resíduos sólidos (borra), de modo a garantir o descarte ambientalmente adequado.

Dentre os materiais recebidos para processamento, destacam-se: Emulsões e soluções de corte aquosas usadas; Água de lavagem industrial e de tanques; Lubrificantes contaminados com graxas e solventes; Solventes sujos oriundos da limpeza de peças; Efluentes oleosos diversos.

Essas práticas estão em conformidade com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), especialmente no que tange à hierarquia do manejo de resíduos, ao princípio da reciclabilidade (CONAMA, 2005, art. 4º) e à responsabilidade compartilhada.

As Figuras 18, 19 e 20 ilustram, de forma empírica, aspectos operacionais relevantes da empresa Ecosupply, no que se refere ao gerenciamento técnico de resíduos industriais perigosos e não perigosos. Tais registros visuais oferecem elementos concretos para a análise da complexidade material envolvida na triagem, no acondicionamento e no reaproveitamento de rejeitos no contexto da cadeia de coprocessamento.

A Figura 18 apresenta um conjunto de resíduos metálicos diversos, armazenados para triagem e tratamento. Observa-se, na imagem, um acúmulo de peças oriundas de processos mecânicos e automotivos, possivelmente compostas por engrenagens, carcaças, componentes oleosos e materiais contaminados, o que evidencia a heterogeneidade e o potencial poluidor desse tipo de resíduo.

Figura 18 – Resíduos metálicos diversos armazenados para triagem e tratamento



Fonte: Arquivo pessoal da Autora (2024)

Na Figura 19, visualizam-se tambores metálicos contendo materiais segregados, com potencial contaminante. O uso de embalagens técnicas, pallets e a compartimentação por classe de resíduo demonstram a adoção de protocolos de segurança operacional, em consonância com os princípios da rastreabilidade e do gerenciamento de resíduos perigosos estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Figura 19 – Armazenamento de resíduos industriais em tambores metálicos



Fonte: Arquivo pessoal da Autora (2024)

Já a Figura 20 retrata um depósito de pneus descartados, considerados um dos passivos ambientais mais desafiadores da cadeia automotiva. O armazenamento controlado e segregado, conforme documentado na imagem, viabiliza seu posterior reaproveitamento energético por coprocessamento, ou ainda sua transformação em insumos para pavimentação asfáltica e outros usos industriais, alinhando-se às diretrizes da economia circular e à minimização de impactos ambientais.

Figura 20 – Depósito controlado de pneus inservíveis



Fonte: Arquivo pessoal da Autora (2024)

As imagens apresentadas reforçam visualmente a importância da integração dos atores na cadeia da logística reversa e evidenciam o potencial transformador do reaproveitamento de resíduos no contexto do desenvolvimento local sustentável. Ao converter rejeitos em recursos, evitam-se externalidades negativas para os ecossistemas e para a saúde pública, promovendo um modelo produtivo mais circular e regenerativo.

Nesse processo, destaca-se o papel técnico da empresa Ecosupply, que atua como intermediária na recepção, descaracterização e preparação de resíduos sólidos e pastosos contaminados, viabilizando sua conversão em Combustível Sólido Recuperado (CSR). Tal insumo é utilizado em substituição parcial aos combustíveis fósseis em processos industriais, como na produção de cimento, contribuindo para a descarbonização do setor.

Entre as principais vantagens dessa modalidade de destinação, ressaltam-se: (i) a

eliminação definitiva e ambientalmente segura dos resíduos; (ii) a ausência de passivos ambientais futuros; (iii) a valorização energética de materiais que antes seriam descartados; (iv) a redução da dependência de combustíveis fósseis; e (v) a minimização da exploração mineral, com consequente redução dos impactos associados à extração, transporte e queima de recursos naturais.

Dessa forma, o coprocessamento configura-se como um vetor relevante para a promoção da sustentabilidade sistêmica nos setores industriais, ao articular gestão eficiente de resíduos com redução de impactos ambientais. No contexto analisado, observa-se que a estrutura operacional da empresa estudada contribui para a consolidação de uma infraestrutura ambiental funcional, coerente com os princípios da economia circular e com os objetivos de valorização socioambiental e territorial dos materiais anteriormente descartados

4.4 A InterCement e o Coprocessamento em fornos rotativos de clínquer

A InterCement Brasil é uma das principais empresas do setor cimenteiro nacional e referência na utilização de combustíveis alternativos em seus processos industriais, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e para a promoção da sustentabilidade ambiental.

Fundada em 1974, no município de Apiaí/SP, a empresa atualmente possui 15 unidades produtivas distribuídas por nove estados brasileiros: Alagoas, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Sul e São Paulo. Com atuação diversificada, atende desde o pequeno varejo até grandes obras de infraestrutura, por meio das marcas Cauê, Goiás e Zebu.

Complementarmente, desenvolve ações de investimento social privado, com foco no desenvolvimento das comunidades em que está inserida, por meio de projetos estruturantes, programas de voluntariado e iniciativas de mobilização territorial.

Os princípios de sustentabilidade seguidos pela InterCement estão alinhados às diretrizes da *Global Cement and Concrete Association* (GCCA)¹⁸, os quais abrangem temas como saúde e segurança, mudanças climáticas e energia, responsabilidade social, economia circular e preservação da natureza (GCCA, 2018, p. 4).

O cimento é considerado a segunda substância mais consumida no mundo, ficando atrás apenas da água. Conforme estudo de Gartner et al. (2018), sua produção cresceu 34 vezes nos

¹⁸ Associação Global de Cimento e Concreto (tradução livre).

últimos 65 anos, enquanto a população mundial pouco mais que dobrou no mesmo período. Esse crescimento exponencial é atribuído às propriedades técnicas e econômicas do produto, como durabilidade, custo reduzido, versatilidade de aplicação e rápida solidificação, características que o tornaram fundamental para processos de urbanização, especialmente em países em desenvolvimento.

Mais recentemente, dados da Global Cement and Concrete Association (GCCA, 2023) indicam que a demanda global por concreto, cuja base é o cimento, ultrapassa 14 bilhões de metros cúbicos ao ano, com projeções que apontam para mais de 20 bilhões até 2050. Esse cenário reafirma o papel estrutural do cimento na expansão urbana e no crescimento industrial, ao mesmo tempo que impõe desafios ambientais e energéticos cada vez mais relevantes.

Contudo, trata-se de uma indústria com expressivo impacto ambiental, principalmente devido às elevadas emissões de dióxido de carbono (CO₂), gás que contribui de forma significativa para o aquecimento global. Estima-se que a indústria do cimento seja responsável por aproximadamente 6% das emissões globais de CO₂ (BAHADORI et al., 2013; SUPINO et al., 2016; GARTNER et al., 2018). Se fosse considerada como um país, a indústria cimenteira seria o terceiro maior emissor do planeta, atrás apenas da China e dos Estados Unidos (WATTS, 2019).

Somente no ano de 2014, a produção mundial de cimento gerou aproximadamente 2 bilhões de toneladas de CO₂, conforme relatado pela *Cement Sustainability Initiative*¹⁹ e pela *International Energy Agency*²⁰ (2018).

Diante desse cenário, o principal desafio ambiental enfrentado pelo setor está na redução efetiva de suas emissões, sem comprometer o atendimento à crescente demanda global, como destacam Hurme e Kajaste (2016), embora as empresas líderes tenham avançado no desenvolvimento de tecnologias de captura e coprocessamento, a taxa de aumento da produção ainda supera a taxa de redução das emissões (GARTNER et al., 2018).

4.5 Prefeitura de Campo Grande/MS na estruturação da Política Municipal de Resíduos

A experiência do município de Campo Grande/MS na gestão dos resíduos sólidos urbanos configura-se como um modelo significativo de articulação interinstitucional, visto que desde 2012, com a celebração de concessão administrativa dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos à concessionária Solurb, a cidade tem promovido um arranjo

¹⁹ Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento

²⁰ Agência Internacional de Energia

estratégico que busca equilibrar eficiência operacional, inclusão social e sustentabilidade ambiental.

O modelo adotado está alinhado à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), especialmente no que diz respeito à responsabilidade compartilhada e à valorização dos resíduos.

O município, por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Gestão Urbana (SEMADUR), vem desempenhando um papel de indutor de políticas ambientais integradas, promovendo ações conjuntas com cooperativas de catadores, empresas privadas e instituições acadêmicas.

No contexto da concessão, destaca-se a previsão contratual de inclusão das cooperativas nas atividades de triagem e comercialização dos recicláveis, o que representa um avanço significativo na valorização da categoria profissional dos catadores e na promoção do desenvolvimento local, tal iniciativa demonstra que o poder público municipal não atua apenas como regulador, mas também como articulador de redes de cooperação intersetorial.

Conforme propõe Moore (1993, 1996), os ecossistemas de negócios são construídos sobre relações interdependentes e dinâmicas, nas quais empresas, instituições e outros agentes sociais coevoluem para gerar soluções inovadoras, e essa lógica encontra respaldo na prática da Prefeitura de Campo Grande/MS, que, ao fomentar a cooperação entre a Solurb, as cooperativas e demais atores, desenvolve um ecossistema institucional voltado à gestão sustentável dos resíduos.

Todavia, a adaptação e continuidade dessas ações dependem de um ambiente regulatório estável, da manutenção de incentivos adequados e da disposição dos atores em colaborar, tendo em vista que políticas públicas locais podem constituir verdadeiros laboratórios de governança ambiental, desde que estruturadas com base em arranjos flexíveis, abertos à inovação e à participação coletiva.

Outro ponto de destaque é a interface entre o sistema de coleta e triagem com o aproveitamento energético de frações não recicláveis dos resíduos sólidos urbanos por meio do coprocessamento, visto que embora a implementação dessa estratégia ainda dependa de marcos normativos federais mais consistentes, o município de Campo Grande/MS já discutiu com empresa cimenteira da região (INTERCEMENT) e avança na triagem de resíduos com vistas ao aproveitamento do CDRU (Combustível Derivado de Resíduos Urbanos).

Nesse contexto, destaca-se a realização de reuniões técnicas interinstitucionais, como a registrada na imagem a seguir, que promoveu o diálogo institucional sobre a destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos, a inclusão dos catadores organizados e a viabilidade

técnica e jurídica do coprocessamento como alternativa ambientalmente adequada, demonstrando o compromisso conjunto com soluções sustentáveis, justas e colaborativas.

Figura 21: Reunião técnica



Fonte: Arquivo pessoal da Autora (2024)

A complexidade e interdependência desses arranjos exigem uma estrutura de governança adaptativa, conforme destacado por Moore (1996), que sustenta que instituições públicas devem estar aptas a construir ambientes de confiança e resiliência para sustentar a inovação, e no caso de Campo Grande, observa-se a busca por um modelo de gestão pública-privada que não apenas presta serviços essenciais, mas também estimula a transformação do setor de resíduos em um vetor de desenvolvimento econômico, social e ambiental.

O papel da Prefeitura, nesse contexto, ultrapassa a função regulatória tradicional e se posiciona como coordenadora de um ecossistema de inovação social e ambiental. Esse ecossistema compreende não apenas empresas concessionárias e catadores organizados, mas também o apoio de universidades, órgãos de controle, setor empresarial reciclador e a própria comunidade.

Em síntese, Campo Grande/MS demonstra que o sucesso de uma política local de gestão

de resíduos está diretamente relacionado à capacidade do poder público municipal de fomentar alianças estratégicas, incentivar a corresponsabilidade entre os atores envolvidos e construir arranjos institucionais que assegurem transparência, eficiência e inclusão.

5. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO COPROCESSAMENTO

A viabilidade técnica do coprocessamento refere-se à capacidade de utilização de resíduos como insumos energéticos ou materiais no processo produtivo, particularmente em fornos rotativos de clínquer da indústria cimenteira.

Esta tecnologia, reconhecida por sua robustez térmica e estabilidade operacional, permite a substituição parcial de combustíveis fósseis por resíduos sólidos urbanos, industriais ou agroindustriais, reduzindo impactos ambientais e custos operacionais.

A aplicação de combustíveis alternativos contribui não apenas para a mitigação de emissões atmosféricas, mas também para a redução do passivo ambiental decorrente da disposição final inadequada de resíduos, e entre os exemplos mais recorrentes de resíduos utilizados como combustíveis na indústria do cimento, destacam-se os pneus inservíveis, os resíduos de biomassa (como cascas de arroz e bagaço de cana-de-açúcar), óleos usados, lodos de estação de tratamento de esgoto e resíduos industriais contaminados com hidrocarbonetos.

De acordo com Silva e Andrade (2020), o desempenho térmico dos fornos rotativos permite que a queima desses resíduos ocorra de forma completa, com alta eficiência energética e sem geração de subprodutos tóxicos, desde que obedecidos os parâmetros técnicos e ambientais estabelecidos pelos órgãos reguladores.

Nesse contexto, a viabilidade econômica do coprocessamento depende de fatores como:

- ❖ A disponibilidade regional dos resíduos com poder calorífico adequado;
- ❖ Os custos de coleta, triagem e pré-tratamento;
- ❖ Os investimentos necessários para adaptação dos fornos;
- ❖ E os incentivos regulatórios, fiscais ou creditícios associados à prática.

Além disso, a política nacional de resíduos sólidos (PNRS), conforme estabelecido pela Lei nº 12.305/2010, ao prever a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, estabelece fundamentos jurídicos para a incorporação do coprocessamento como instrumento de logística reversa e de valorização energética, conforme também destacado por Souza e Corrêa (2022).

Esses resíduos, utilizados conforme suas propriedades físico-químicas e poder calorífico, são classificados segundo suas origens e características operacionais, conforme apresentado no Quadro 15.

Quadro 15 – Tipos de resíduos utilizados como combustíveis alternativos

COMBUSTÍVEL DE RESÍDUOS LÍQUIDOS	Resíduos da indústria química, resíduos de solventes, óleos usados, resíduos de pintura, lama de óleo, resíduos de destilação, suspensões de cera, resíduos petroquímicos, lama asfáltica, alcatrão
COMBUSTÍVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	Pneus usados, resíduo sólido municipal, resíduos de papel ou plástico, farinha de carne e ossos, lama de esgoto, biomassa da agricultura (resíduos verdes ou de madeira, casca de arroz ou nozes, etc), resíduos de borracha ou polpas, baterias, solos contaminados com óleos,
RESÍDUOS GASOSOS	Gás de aterros sanitários, gás de pirólise

Fonte: Adaptado (KHAN et al., 2015, p. 88)

Do ponto de vista econômico, o coprocessamento apresenta vantagens relevantes, na medida em que a substituição parcial de combustíveis fósseis por resíduos alternativos contribui para a redução dos custos operacionais, e tal estratégia é coerente com os princípios da eficiência e da precaução previstos na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), que orienta a adoção de instrumentos econômicos voltados à proteção ambiental e à internalização de externalidades negativas.

A Figura 22 apresenta registros fotográficos realizados durante a visita técnica que aconteceu no dia 23 de maio de 2024 na empresa InterCement localizada em Bodoquena/MS, acompanhou-se o processo de recepção dos resíduos sólidos industriais, sua triagem e inserção no sistema de alimentação do forno rotativo, responsável pela produção do clínquer. Todo o processo é controlado por tecnologia especializada, garantindo segurança operacional e conformidade ambiental com os padrões exigidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Figura 22 – Visita técnica à Intercement: triagem, recebimento e controle tecnológico de resíduos utilizados no coprocessamento em forno rotativo



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

Adicionalmente, o coprocessamento pode contribuir para a diversificação das fontes de receita, ao permitir que resíduos, anteriormente tratados como passivos ambientais, sejam economicamente monetizados.

Em perspectiva de médio e longo prazo, essa prática pode ampliar a competitividade das empresas no mercado, alinhando-as às crescentes exigências legais, institucionais e sociais em matéria de sustentabilidade, e nessa direção, Milaré (2021) salienta que o Direito Ambiental moderno não se limita a impor restrições, mas assume função promotora e indutora de condutas responsáveis, oferecendo instrumentos jurídicos que compatibilizam desenvolvimento econômico e proteção ambiental.

Dessa forma, a articulação entre a viabilidade técnica e econômica do coprocessamento e o estabelecimento de mecanismos de incentivo sejam eles regulatórios, fiscais ou financeiros possibilita a criação de um ambiente institucional favorável à transição para uma sustentabilidade industrial estruturada, compatível com os fundamentos da economia

circular e do desenvolvimento local ambientalmente responsável.

5.1 Cadeia Produtiva do Cimento e inserção do CDRU

No Brasil existem vários tipos de cimento Portland²¹, que se diferenciam principalmente pela sua composição. Os principais tipos utilizados na maioria das construções são o cimento Portland comum, o composto, o de alto-forno e o pozolânico²². Existe também no mercado o cimento Portland de alta resistência inicial, o resistente aos sulfatos, o branco, o de baixo calor de hidratação e o para poços petrolíferos. Esses cimentos Portland são produzidos em menor quantidade, devido a menor demanda e devido às suas características específicas.

Um esquema na figura abaixo de todo o processo da fabricação do cimento para facilitar a visualização do esquema do processo de fabricação do cimento Portland.

Figura 23 - Esquema do processo de fabricação do cimento Portland



Fonte: GUARANI e MONZONI, 2012, p. 17

As principais matérias-primas para a fabricação de cimento são calcário, argila,

²¹ É um cimento hidráulico feito a partir da calcinação de uma mistura artificial de calcário e argila. O nome vem da ilha de Portland, na Grã-Bretanha, onde a Portlandstone, um tipo de pedra arenosa, era muito usada na construção. O cimento Portland é misturado com outros materiais de construção, como areia, pedra britada, cal e pó-de-pedra, para formar argamassas e concretos

²² O termo *pozolânico* refere-se à propriedade de certos materiais ricos em sílica e/ou alumina que, na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento Portland, formando compostos com características cimentantes. Essa reação, conhecida como atividade pozolânica, contribui para a resistência e durabilidade do concreto.

minério de ferro e gesso, e para a extração dessas matérias-primas são extraídas de pedreiras e minas, utilizando técnicas adequadas para garantir a sustentabilidade ambiental.

Com vistas os resíduos que são levados à disposição, ou seja, para o aterro, podem ser utilizados para fabricar energia na produção do cimento, assim ocorrendo a produção do cimento da seguinte forma:

Quadro 16 – Etapas do processo de produção do cimento

ETAPAS PARA PREPARAÇÃO DO CIMENTO	
PREPARAÇÃO PARA MATÉRIA PRIMA ETAPA 1	Nesta etapa, calcário e argila são extraídos da jazida. Aqui ocorrem as etapas de britagem e homogeneização. Com as proporções corretas de cada elemento químico necessário para a clínquerização, onde os britadores primários e secundários reduzem as partículas de calcário, e o moinho de farinha ocorre o ajuste de composição, redução e homogeneização de partículas. Nesta etapa, os elementos químicos faltantes da jazida são adicionados, como fontes de ferro, silício, alumínio, álcalis ou outros.
COZIMENTO ETAPA 2	Etapa quente do processo, ocorrem as reações de decarbonatação e clínquerização. O aquecimento é realizado por coque, moinha, pneus, biomassas e outros resíduos, seguindo as normas e legislações vigentes. O produto desta etapa é o clínquer.
MOAGEM DO CIMENTO ETAPA 3	Última etapa de produção de cimento, onde adições de cinzas, escórias e outros aditivos são moídos com o clínquer, para produção do cimento. Após isso, temos o acondicionamento ou ensacamento e a expedição.

As rochas extraídas das jazidas são submetidas à britagem primária, na qual são reduzidas a fragmentos menores para viabilizar o transporte e o manuseio. Posteriormente, passam por britagem secundária, onde são ainda mais reduzidas, facilitando o processamento subsequente. Essa etapa é essencial para garantir a eficiência energética dos moinhos e a qualidade da moagem. Os materiais britados são então direcionados aos moinhos de cru, onde são transformados em um pó fino que comporá a mistura crua para a fabricação do clínquer.

Após a britagem, o calcário é submetido à pré-homogeneização primária, processo em que o material é disposto em camadas sucessivas para promover uma mistura física mais uniforme, reduzindo as variações de composição química. A argila, por sua vez, é estocada diretamente, pois não requer esse procedimento inicial.

Na sequência, ocorre a pré-homogeneização secundária, na qual o calcário e a argila são combinadas em proporções definidas, e essa etapa é determinante para assegurar a uniformidade da mistura crua que será alimentada no forno rotativo para a produção do clínquer,

contribuindo diretamente para a estabilidade da queima e da qualidade do produto final.

Os materiais secos e britados passam por moagem em moinhos verticais ou de bolas, resultando em uma mistura denominada “farinha crua”. Essa mistura é submetida à homogeneização contínua, geralmente realizada em silos de homogeneização, a fim de garantir uma composição química estável, condição fundamental para a reatividade do clínquer e, consequentemente, para a qualidade do cimento produzido.

5.1.2 Etapas de Produção do Clínquer

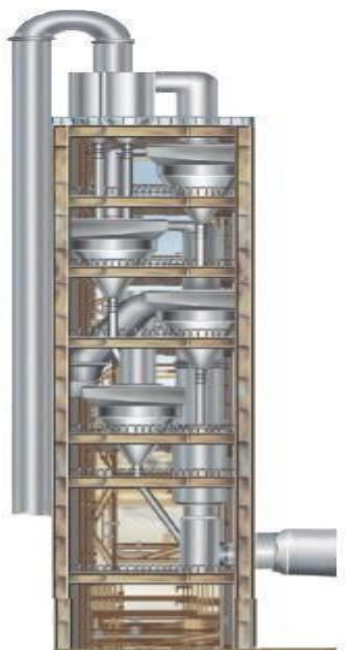
O processo de pré-aquecimento é realizado antes da entrada da mistura crua no forno rotativo. A farinha passa por uma torre vertical equipada com ciclones de múltiplos estágios, nos quais entra em contato com os gases de exaustão provenientes da queima, que se movimentam em sentido oposto ao fluxo da matéria-prima.

Essa troca térmica em contracorrente remove a maior parte da umidade residual da farinha e inicia as reações físico-químicas de calcinação, etapa fundamental para a formação dos precursores do clínquer, e dependendo do teor de umidade da matéria-prima e da eficiência térmica desejada, a torre de pré-aquecimento pode conter de quatro a seis estágios de ciclones. Cada estágio adicional proporciona maior recuperação de calor, otimizando o desempenho energético do sistema.

A Figura 24 apresenta uma representação técnica típica de uma torre de pré-aquecimento com múltiplos ciclones, destacando o percurso dos gases de exaustão e da matéria-prima no interior da estrutura.

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria e do Cimento - SNIC (2022), as tecnologias de moagem, homogeneização e pré-aquecimento têm evoluído para atender simultaneamente aos requisitos de desempenho técnico, eficiência energética e controle ambiental, sendo pilares centrais para a sustentabilidade e competitividade do setor cimenteiro brasileiro.

Figura 24 – Representação técnica de pré-aquecedor utilizado na produção de clínquer



Pré-aquecedor

Fonte: PATFAB ENGINEERS PVT. LTD. (2010)

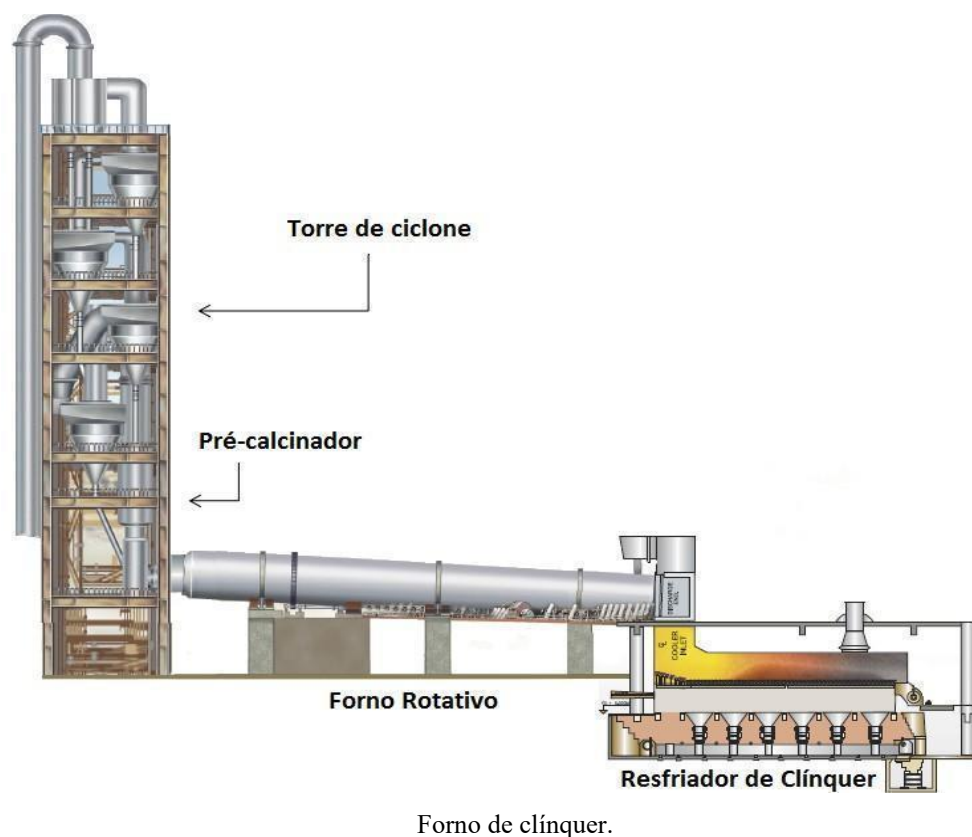
Nessa etapa, a farinha pré-aquecida entra no pré-calcinador, uma câmara de combustão onde o material permanece em uma temperatura em torno de 800°C.

Dentro dessa câmara ocorre cerca de 90% da reação de calcinação, que consiste na decomposição do calcário em óxido de cálcio. Somente parte da calcinação ocorre no pré-calcinador para garantir uma temperatura constante no local.

Enquanto está ocorrendo a calcinação, a temperatura da câmara permanece constante. Se a calcinação se completasse no pré-calcinador, seria difícil controlar a temperatura que o material entra no forno.

A temperatura permanece constante nesse processo por meio da adição de combustíveis na câmara, sendo assim, essa etapa permite a queima de combustíveis com um poder calorífico menor do que o permitido para os fornos rotativos, aumentando a utilização de combustíveis secundários com baixo poder calorífico e economizando os combustíveis utilizados no forno.

Figura 25 – Esquema do sistema integrado de produção de clínquer em forno rotativo



Forno de clínquer.

Fonte: PATFAB ENGINEERS PVT. LTD. (2010).

A farinha produzida na etapa anterior é introduzida no forno rotativo para a produção de clínquer. O forno de clínquer consiste de um cilindro rotativo horizontal ligeiramente 16 inclinado, com 50 a 150 metros de comprimento e de 4 a 6 metros de diâmetro, revestido internamente de material refratário e com chama interna com temperatura de até 2000°C. A farinha é queimada dentro do forno, onde sofre reações químicas, saindo com uma temperatura em torno de 1450°C (US EPA, 2010).

5.1.3 Etapas finais de moagem e expedição

Após o resfriamento, o clínquer é moído junto com outras matérias-primas em um moinho de bolas. Os aditivos utilizados são o gesso, a escória e o calcário. Eles são armazenados em silos separados. A quantidade que é adicionada de cada um deles no clínquer diferencia os tipos de cimento Portland produzidos, sendo que o gesso é o único aditivo que está sempre presente na mistura (Bernardo, 2009).

O cimento produzido é comercializado de duas maneiras: a granel ou em sacos de 50

kg. No caso dos sacos de 50 kg, o ensacamento é feito automaticamente por máquinas que enchem os sacos de papel Kraft até atingirem o peso ideal e os selam.

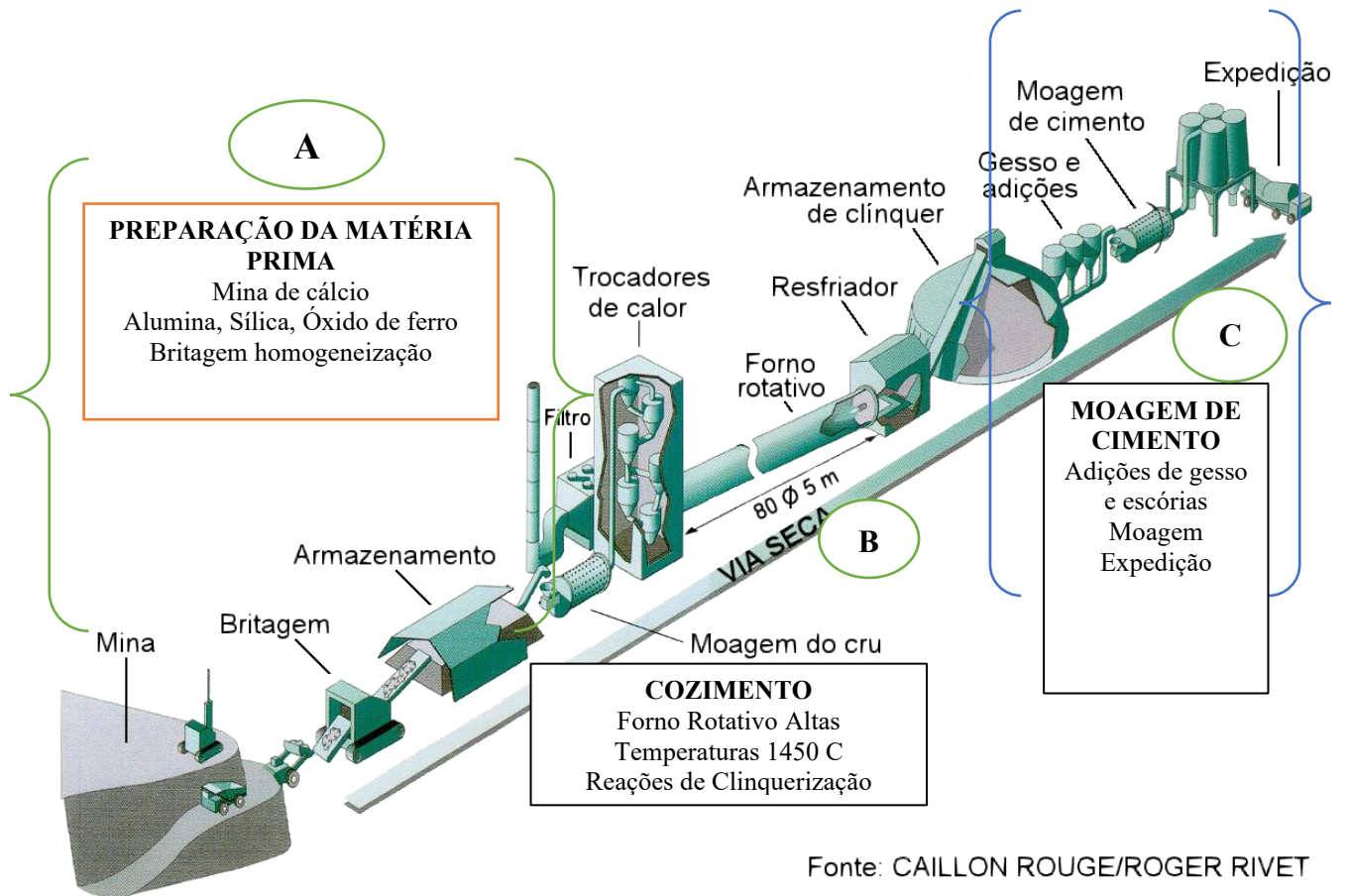
A Figura 26 ilustra o processo produtivo do cimento por via seca, evidenciando a sequência integrada de operações industriais desde a extração das matérias-primas até a expedição do produto final. Inicialmente, os materiais como calcário, argila, sílica, alumina e óxidos de ferro são extraídos da mina e submetidos à britagem e homogeneização.

Em seguida, ocorre a moagem do cru, que antecede o cozimento em forno rotativo a altas temperaturas, onde se dá a clínquerização, fase fundamental da reação química entre os elementos.

O clínquer gerado é resfriado e armazenado, sendo posteriormente moído juntamente com gesso e outros aditivos, como escórias e pozolanas, para obtenção do cimento, a etapa final envolve o acondicionamento e a expedição, seja a granel ou ensacado.

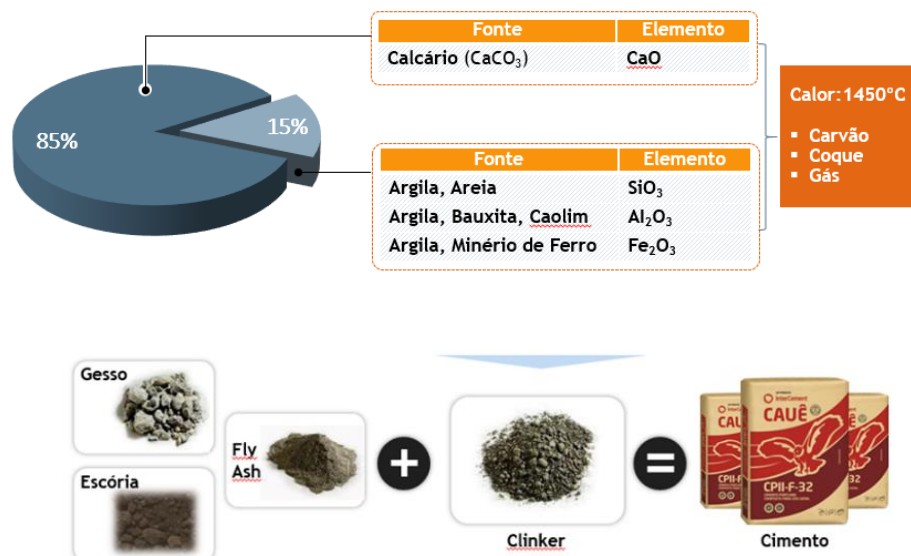
Esse modelo evidencia a complexidade do processo, o alto controle térmico e a importância da automação para garantir qualidade e eficiência na produção.

Figura 26 - Fluxograma do processo de fabricação do cimento por via seca



Fonte: Caillon Rouge/Roger Rivet (1998, como citado em Maringolo, 2001)

Figura 27 – Matérias-primas, elementos e aditivos na produção do cimento Portland



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados técnicos apresentado Intercement (2024)

As Figuras 26 e 27 oferecem uma representação complementar e sistematizada da cadeia produtiva do cimento Portland, desde a seleção de matérias-primas, aditivos e agentes mineralógicos até as etapas industriais de extração, moagem, clínquerização, resfriamento e expedição.

A Figura 27 destaca os insumos e componentes estratégicos da mistura, enquanto a Figura 26 explicita o fluxo operacional típico da produção por via seca, método amplamente utilizado no Brasil em razão de sua eficiência térmica e menor consumo hídrico. Ao evidenciar a interdependência entre fatores técnicos, logísticos e ambientais, tais representações reforçam a necessidade de reconfigurar essa cadeia sob os princípios da sustentabilidade industrial. Estratégias como a substituição parcial de combustíveis fósseis, a incorporação de materiais pozolânicos e a ampliação do coprocessamento de resíduos surgem como respostas viáveis para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e reduzir a pressão sobre os recursos naturais, sem comprometer a qualidade do produto final.

Portanto, a compreensão aprofundada desses processos é condição indispensável para a formulação de políticas públicas e soluções tecnológicas orientadas à transição para uma economia de baixo carbono

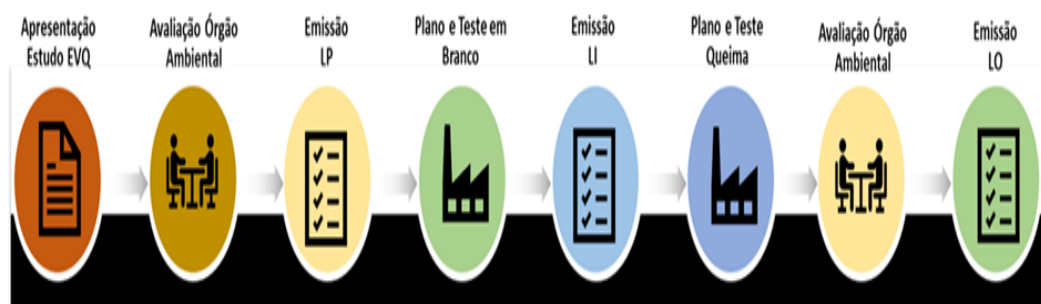
5.2 Licenciamento Ambiental e Instrumentos de incentivo ao Coprocessamento

A Resolução do CONAMA nº 499/2020, que dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, estabelece em seus artigos 12 e 13 os procedimentos regulatórios para a obtenção das Licenças Prévia (LP), de Instalação (LI) e de Operação (LO).

O artigo 12 trata das exigências para fontes novas e existentes, delimitando as condições em que o coprocessamento poderá ser licenciado, enquanto o artigo 13 especifica as hipóteses de dispensa da apresentação de estudos técnicos complementares, desde que haja equivalência entre os resíduos previamente licenciados.

O fluxo desse processo de licenciamento ambiental, incluindo as etapas técnicas e jurídicas envolvidas, pode ser visualizado na Figura 28, a seguir:

Figura 28 – Fluxograma ilustrativo do processo de licenciamento ambiental do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer, conforme Resolução CONAMA nº 499/2020.



Fonte: CETESB (2003)

O artigo 14 da Resolução do CONAMA nº 499/2020 estabelece que o processo de licenciamento ambiental para o coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer deve ser tecnicamente fundamentado, com base em estudos específicos a serem apresentados pelo empreendedor. A exigência de tais estudos tem por objetivo assegurar que a operação proposta atenda de forma adequada às normas ambientais e aos critérios de segurança operacional. O dispositivo legal assim dispõe:

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 (PTB): Licença de Instalação (LI);
- III – Relatório de Teste em Branco (RTB): Licença de Instalação (LI);
- IV – Plano de Teste de Queima (PTQ): Licença de Operação (LO);
- V – Relatório de Teste de Queima (RTQ): Licença de Operação (LO).

A Resolução CONAMA nº 499/2020 constitui, portanto, um marco regulatório relevante no contexto da regulação ambiental do setor cimenteiro, ao definir de maneira sistemática as etapas e exigências do licenciamento ambiental da atividade de coprocessamento.

Os artigos 12 e 13 tratam das condições aplicáveis às fontes novas e fontes existentes, estabelecendo critérios para a obtenção das Licenças Prévia, de Instalação e de Operação, em conformidade com o estágio da planta industrial e a natureza do resíduo a ser coprocessado.

Já o artigo 14 reforça a importância da fundamentação técnica qualificada, ao condicionar o deferimento das licenças à apresentação de estudos específicos, tais como o Estudo de Viabilidade de Queima (EVQ) e os Planos e Relatórios de Teste, que permitem aferir a compatibilidade dos resíduos com o processo térmico, a eficiência da destruição e a ausência de riscos ambientais significativos.

Tais requisitos não apenas refletem o princípio da precaução, como também garantem

transparência, rastreabilidade e controle ambiental.

A regulamentação técnica estabelecida pela Resolução em análise representa, assim, um avanço para a sustentabilidade na indústria do cimento, ao integrar a gestão de resíduos ao processo produtivo sob condições tecnicamente controladas, promovendo práticas compatíveis com os princípios da economia circular e com os objetivos do desenvolvimento local sustentável.

A seguir, apresentam-se os principais resíduos aptos a serem utilizados no coprocessamento industrial, conforme especificações técnicas e critérios de aceitabilidade definidos em norma.

Quadro 17 – Principais resíduos aptos ao coprocessamento industrial, segundo sua origem

ORIGEM	TIPO DE RESÍDUOS
Industriais Sólidos, industriais líquidos e Pastosos	EPIs, estopas, resíduos oleosos, catalisadores usados, normalmente blindados e preparados em plantas específicas – classe I e classe II
Pneus	Pneus gerais, normalmente triturados, mas podem ser coprocessados inteiros
Comerciais e Domésticos	RSU, Classe IPIs – após a remoção de inertes, triagem e reciclagem, são triturados e em alguns casos secados.
Tratamento de Esgoto	Lodo de ETE/ETA, chorumes – normalmente secados até 20% e submetidos processos de pré tratamento (líquidos)
Agronegócio e Alimentos	Biomassas, rejeitos de plantação, cascas, resíduos madeiras, rejeitos de animais consumidos tal como erado ou submetidos a processo (trituração, descontaminação)
Solos, Terras, Escórias	Terras contaminadas, SPL, areia de fundição – normalmente pós processamento (blindagem, peneiramento, etc)

A diversidade de materiais passíveis de utilização no coprocessamento permite que esta prática contribua significativamente tanto para a redução do volume de resíduos destinados a aterros, quanto para a sustentabilidade da produção de cimento.

Trata-se de uma estratégia que associa ganhos ambientais à eficiência industrial, em consonância com os princípios da economia circular e da logística reversa, conforme delineado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Nesse cenário, observa-se o engajamento crescente de empresas, fornecedores e indústrias na adoção de estratégias de sustentabilidade operacional, estruturadas segundo diferentes horizontes temporais.

No curto prazo, as ações concentram-se no aumento das taxas de substituição térmica, mediante o uso de combustíveis alternativos em substituição aos fósseis. Adicionalmente, destaca-se a incorporação de resíduos de construção e demolição ou outros materiais inertes como substitutos parciais ao clínquer, além da busca pela eficiência energética nos fornos rotativos.

Em uma perspectiva de médio prazo, as estratégias empresariais priorizam a modernização das linhas de produção, com tecnologias menos emissoras e uso de matérias-primas descarbonatadas, capazes de reduzir as emissões associadas ao processo de clínquerização.

No longo prazo, os investimentos se direcionam a pesquisas aplicadas e ao desenvolvimento de inovações tecnológicas sustentáveis, o que evidencia uma transição institucional para modelos de produção ambientalmente responsáveis e resilientes.

Dessa forma, o Direito Ambiental contemporâneo deve ser compreendido como um instrumento de indução e organização de condutas sustentáveis, não se limitando a um mero conjunto de restrições, mas atuando como vetor normativo de transformação institucional, capaz de promover o equilíbrio entre a atividade econômica e os limites ecológicos (Milaré, 2021).

6 ESTUDO DE CASO: VALIDAÇÃO, TÉCNICA E SUBSÍDIOS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

A gestão do resíduo sólido urbano (RSU) configura-se como uma questão ambiental e social persistente, cujos impactos tornam-se mais evidentes à medida que a economia avança, o poder de compra da população se amplia e os hábitos de consumo se modificam. Portanto,

O crescimento contínuo da geração de resíduos exige soluções estruturadas, ambientalmente adequadas e socialmente integradoras.

Nesse contexto, o coprocessamento de resíduos na indústria cimenteira tem sido progressivamente incorporado como alternativa viável para destinação de resíduos perigosos oriundos de processos industriais. Paralelamente, a reciclagem permanece como instrumento fundamental na minimização dos volumes de RSU, sendo impulsionada por programas de coleta seletiva e ações de educação ambiental. Ainda assim, mesmo diante do aumento da taxa de materiais reciclados, observa-se um desafio expressivo relacionado à triagem realizada pelas empresas especializadas.

Essas empresas, que operam por meio de triagem mecânica ou manual, enfrentam elevados índices de rejeitos que podem alcançar até 50% (cinquenta por cento) do total recebido, e esse fenômeno está associado a fatores como a sazonalidade do mercado de recicláveis, a contaminação por matéria orgânica, a composição mista dos materiais, restrições financeiras e a falta de conscientização da população quanto à separação correta dos resíduos.

No Município de Campo Grande/MS, destaca-se a adesão da população aos programas de coleta seletiva, apoiada por um sistema público consolidado de fomento à reciclagem, sendo que a operação conta com quatro cooperativas formalmente estruturadas: Cata MS, Atmares, Coopermares e Novo Horizonte, as quais atuam na Central Municipal de Triagem, operando com logística e equipamentos próprios, incluindo caçambas, empilhadeiras e galpões que atendem a uma base de mais de 100 (cem) cooperados.

Cada cooperativa possui organização operacional própria, com modelos e horários distintos de funcionamento, o que repercute na individualização da comercialização dos recicláveis.

O volume médio de rejeitos gerado gira em torno de 300 toneladas por mês, variando conforme a sazonalidade (especialmente em períodos festivos). Essa separação, embora assegure autonomia administrativa, dificulta a centralização de negociações comerciais e a otimização logística, representando um potencial inexplorado de ganho econômico e operacional.

Diante desse cenário, foi proposta a avaliação da viabilidade técnica e econômica do envio dos rejeitos das cooperativas para a blendagem na empresa Ecosupply e posterior coprocessamento na InterCement, localizada em Bodoquena/MS. A iniciativa visa minimizar o impacto ambiental dos rejeitos, ao mesmo tempo em que promove a otimização dos recursos locais e o reforço às práticas sustentáveis na gestão pública de resíduos.

Como parte da metodologia, foram realizadas visitas técnicas no mês de maio de 2024, envolvendo representantes das cooperativas, da Solurb (empresa de limpeza urbana), da

Ecosupply, bem como integrantes da equipe de pesquisa. Nessas visitas, foram identificados os principais entraves e oportunidades, incluindo a logística de transporte, a dispersão na comercialização dos recicláveis e a falta de integração entre as cooperativas.

Um dos pontos críticos identificados foi a operação fragmentada das cooperativas, que atualmente negociam os recicláveis de forma isolada e, em alguns casos, com compradores distintos. Essa fragmentação compromete o poder de barganha e encarece a logística, indicando que uma centralização das negociações e do escoamento de materiais poderia gerar aumento nos preços de venda e redução de custos operacionais.

A partir dessas observações, elaborou-se hipóteses de testes-piloto para a avaliação da viabilidade do coprocessamento contidos no Quadro 18, com o objetivo de subsidiar testes-piloto de integração operacional, voltados à análise da viabilidade do coprocessamento dos rejeitos em escala real.

Quadro 18 – Hipóteses de testes-piloto para a avaliação da viabilidade do coprocessamento de rejeitos em escala real

PROBLEMA	HIPÓTESE	COMO?	QUEM?	ONDE?
Compactação de rejeitos em prensa vertical	Rejeito apesar de homogêneo, é possível aumentar a densidade via compactação	Prensar os rejeitos em prensa vertical e amarração com fitilho	Cooperativa de MS	UTR

Teor de cloro do rejeito e PVC	Durante as visitas pudemos perceber mangueiras e borrachas que podem ser de PVC	Passar por uma mesa de catação para retirada de PVC. Amostragem e análise de cloro do rejeito.	Ecosupply InterCement	Ecosupply Campo Grande/MS
Peças ferrosas	Rejeito ainda tem muito material possível de separação. Avaliação para avaliar Pay Back da compra desse equipamento	Passar por uma linha que tenha imã, para mensurar a % de metais ferrosos.	Ecosupply	Ecosupply Campo Grande/MS
Granulometria variada e produtividade do equipamento	Linha de trituração da Ecosupply poderá triturar todo o rejeito e adequar a granulometria sem necessidade de segregação prévia	Alimentação do rejeito na linha de trituração da Ecosupply, medição da produtividade do equipamento pela pesagem e medição do tempo, além da análise granulométrica em peneiras manuais.	Ecosupply e InterCement	Ecosupply Campo Grande/MS
Densidade do Rejeito e do CDR	A mistura do rejeito triturado com o blend de resíduos industriais não impactará negativamente a densidade do blend.	Trituração do rejeito na linha de resíduos industriais e mistura com tortas, lodos e o blend industrial fornecido pela Ecosupply	Ecosupply	Ecosupply Campo Grande/MS

Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base em observações técnicas realizadas em visita a Ecosupply e Intercement, Campo Grande/MS e Bodoquena/MS

Além do levantamento preliminar realizado junto às cooperativas de reciclagem, foi possível identificar, durante as visitas técnicas, a presença significativa de materiais impróprios para o coprocessamento, os quais são classificados como rejeitos em razão de sua composição química, presença de contaminantes ou inadequação à queima térmica. Tais materiais incluem, por exemplo, embalagens plásticas laminadas, isopor, tubos contaminados, materiais sanitários e resíduos orgânicos aderidos, os quais inviabilizam sua utilização como

combustível alternativo.

A Figura abaixo 29 ilustra a ocorrência desses materiais no fluxo de resíduos triados, demonstrando a necessidade de um sistema mais eficaz de separação na origem e educação ambiental voltados à redução da contaminação do material reciclável.

Figura 29– Exemplo de rejeitos impróprios ao coprocessamento identificados durante triagem manual em cooperativas de Campo Grande/MS.

Fonte: Rafael Guisso – InterCement (2024)



Conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 499, de 6 de outubro de 2020, é possível identificar, com base em critérios técnicos e ambientais, os tipos de resíduos aptos e não aptos ao coprocessamento em fornos de clínquer. O Quadro 19, a seguir, apresenta a classificação normativa desses resíduos, conforme parâmetros definidos, visando garantir a segurança operacional, a eficácia energética e a minimização dos impactos ambientais decorrentes da valorização térmica de resíduos.

Quadro 19 - Resíduos passíveis e não passíveis de coprocessamento segundo a Resolução CONAMA N 499/2020

O QUE PODE SER COPROCESSADO	O QUE NÃO PODE SER COPROCESSADO
Catalisadores Usados	Domiciliares brutos

Substâncias Oleosas Resíduos Industriais Resinas, Colas e Latéx Pneus e Borrachas Madeiras Solventes Lodos ETE e ETA Terras Contaminadas Papel e Papelão Resíduos Indústria Química RSU Tratado Resíduos da Agricultura Rejeito de Indústria de Alimentos EPIs Resíduos Líquidos e Pastosos Areia de Fundição	Resíduos de serviços de saúde Radioativos Explosivos Organoclorados Agrotóxico
--	--

Fonte: Adaptado Resolução CONAMA 499/2020

6.1 Metodologia e validação das hipóteses do teste-piloto

A validação das hipóteses relacionadas à viabilidade do envio de rejeitos das cooperativas de Campo Grande/MS para coprocessamento teve início em março de 2024, sendo operacionalizada por meio de testes-piloto realizados ao longo de cinco meses.

A última carga foi expedida para a unidade da InterCement Brasil S.A., localizada em Bodoquena/MS, no mês de agosto de 2024.

O experimento foi conduzido em três etapas operacionais articuladas entre os agentes envolvidos: Solurb (coleta e transferência local), Ecosupply (blendagem e pré-tratamento dos resíduos) e InterCement (coprocessamento em forno rotativo de clínquer). As cargas foram originadas de quatro cooperativas distintas (Cata MS, Atmares, Coopermares e Novo Horizonte), com registros sistemáticos de entrada e saída de materiais.

Na Tabela 1 apresenta-se os dados logísticos consolidados das oito cargas enviadas à Ecosupply durante o período de validação.

Tabela 1 – Cargas de rejeitos enviadas à Ecosupply para coprocessamento (abr. a ago. 2024).

Carga	Solurb			Ecosupply			
	Entrada	Saída	Cooperativa	Data Ticket	Peso Entrada (t)	Peso Saída (t)	Peso Líquido (t)
1	16/04/2024	18/04/2024	Cata MS	19/04/2024	19640	13900	5740

2	17/04/2024	18/04/2024	Atmares	19/04/2024	18540	13900	4640
3	20/05/2024	25/05/2024	Atmares	27/05/2024	18360	13900	4460
4	20/05/2024	25/05/2024	Cata MS	27/05/2024	22170	18510	3660
5	22/05/2024	22/05/2024	Coopermar es	23/05/2024	18170	13930	4240
6	22/05/2024	22/05/2024	Novo Horizonte	23/05/2024	18170	13900	4270
7	29/07/2024	31/07/2024	Novo Horizonte	31/07/2024	18360	13900	4460
8	29/07/2024	05/08/2024	Coopermar es	08/08/2024	18210	14300	3910

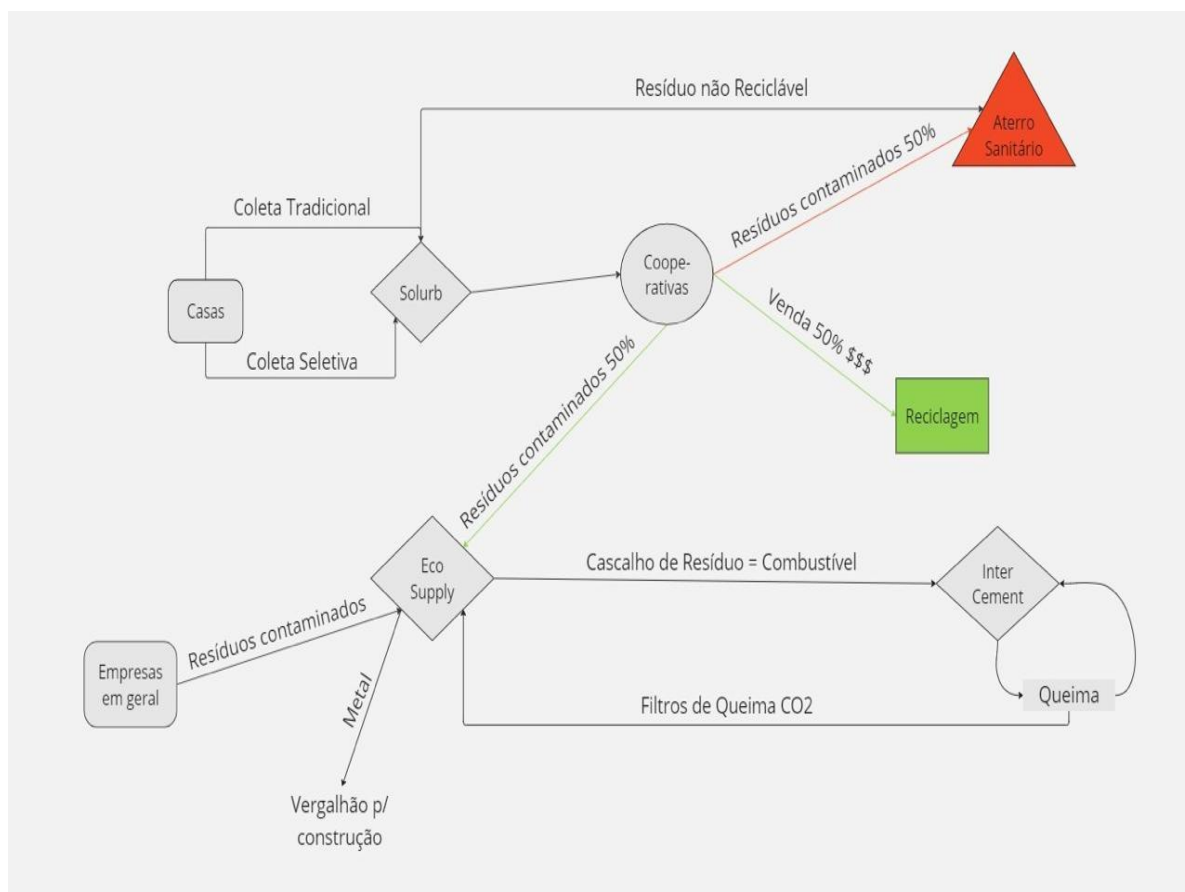
Fonte: Dados técnicos fornecidos pela InterCement (2024)

As primeiras validações do projeto concentraram-se na etapa de transporte, envolvendo a movimentação dos rejeitos das cooperativas de Campo Grande/MS até a empresa Ecosupply, e, posteriormente, o envio do material homogeneizado para o coprocessamento na InterCement Brasil S.A., localizada no município de Bodoquena/MS. Essa logística viabilizou a integração entre diferentes agentes da cadeia de resíduos e foi fundamental para garantir a rastreabilidade, o controle de qualidade dos fluxos e a eficiência operacional do sistema.

Segundo Ferreira (2017), a articulação entre os atores locais, como cooperativas, setor público, operadores logísticos e empresas receptoras, é condição essencial para a consolidação de práticas de gestão de resíduos sólidas, eficazes e ambientalmente responsáveis.

A Figura 30 contém um fluxograma ilustrativo do circuito de resíduos sólidos, desde a origem (coleta tradicional e seletiva nas residências) até o destino final (reciclagem, aterro ou coprocessamento), detalhando os principais pontos de triagem, rejeição e transformação dos materiais.

Figura 30 - Fluxograma da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e industriais no município de Campo Grande/MS.



Fonte: Micaella Nogueira (2024)

O fluxograma apresentado evidencia, de forma sistêmica, as etapas envolvidas na gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e industriais, desde a origem domiciliar e empresarial até sua destinação final, incluindo processos de triagem, valorização e coprocessamento. A estrutura revela a interdependência entre atores públicos e privados, bem como o papel estratégico das cooperativas e empresas especializadas na operacionalização da logística reversa e na promoção da economia circular.

Ao representar visualmente os fluxos de materiais e os pontos críticos da cadeia, o diagrama contribui para a compreensão das potencialidades e dos desafios operacionais relacionados à consolidação de um modelo de gestão de resíduos alinhado aos princípios do desenvolvimento local sustentável.

6.2 Análise da compactação e densidade dos rejeitos das cooperativas

Um dos primeiros desafios identificados na etapa de estruturação do projeto foi a baixa densidade dos rejeitos sólidos triados pelas cooperativas. Essa característica

compromete a eficiência logística, especialmente no transporte de resíduos para unidades de pré-tratamento e coprocessamento. Até o momento, essa limitação não tem sido enfrentada de forma sistemática, uma vez que os rejeitos, por padrão, são encaminhados diretamente ao aterro sanitário operado pela Solurb, localizado ao lado da Central de Triagem Municipal.

A ausência de alternativas de destinação mais sustentável para esses rejeitos evidencia lacunas nas políticas públicas de resíduos sólidos, particularmente quanto à valorização energética e à integração entre reciclagem e coprocessamento.

Conforme destaca Jacobi et al. (2011), a efetividade das políticas de gestão de resíduos depende não apenas da coleta e separação, mas também do aproveitamento de fluxos materiais que hoje são subutilizados, especialmente em articulação com o setor produtivo.

Para enfrentar essa limitação, foram realizadas avaliações experimentais com foco no aumento da densidade dos rejeitos. A tentativa inicial consistiu no acondicionamento do material segregado em big bags, os quais foram pressionados manualmente com o objetivo de aumentar o peso por metro cúbico, viabilizando a utilização de fretes de caminhão de carga seca disponíveis na região. Essa abordagem buscou reduzir o número de viagens necessárias para o transporte até a unidade da Ecosupply, otimizando o custo por tonelada transportada.

A imagem abaixo demonstra o ambiente físico da Central de Triagem onde os testes de acondicionamento foram realizados, evidenciando a organização dos big bags e o espaço disponível para a execução das atividades logísticas, bem como o layout operacional das esteiras de triagem.

Figura 31 - Acondicionamento de rejeitos segregados em big bags na Central de Triagem da Solurb



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

Complementando a etapa de testes operacionais nas cooperativas, procedeu-se à segregação dos rejeitos recicláveis e não recicláveis, com o objetivo de avaliar sua viabilidade logística para transporte e posterior envio ao coprocessamento. O material foi direcionado para big bags de 1 m³, submetido a uma operação de preenchimento e compactação manual.

A operação total demandou aproximadamente 12 horas de trabalho contínuo, até que o volume útil dos recipientes fosse integralmente ocupado. Foram utilizados dois big bags como amostra para medição: um contendo 66 kg e outro com 101 kg, resultando em uma média de 83,5 kg por metro cúbico, o que corresponde a uma densidade média de 0,0835 t/m³.

Esse resultado revela a baixa densidade dos rejeitos não recicláveis, o que compromete a eficiência logística no transporte em caminhões de carga seca. A obtenção desses dados permitiu a análise técnica da viabilidade de rotas e dimensionamento de carga, fundamentais para o planejamento de uma operação integrada com a Ecosupply e a InterCement.

O segundo teste realizado consistiu na prensagem dos rejeitos segregados previamente acondicionados em big bags, com o objetivo de avaliar o nível de adensamento possível mediante uso de prensa vertical manual. Para isso, foi organizada uma equipe com dois operadores responsáveis pela compactação e amarração dos fardos com fitilhos de contenção.

O tempo médio para a compactação de cada fardo foi de aproximadamente 4 horas, e o peso aferido de uma das unidades compactadas foi de 155 kg por metro cúbico. Esse resultado corresponde a uma densidade de 0,155 t/m³, representando um ganho de 85% em relação à densidade do big bag preenchido manualmente no teste anterior.

Além disso, como terceiro experimento, foi avaliado o acondicionamento dos rejeitos em caçambas metálicas com maior volume útil. Atualmente, a Solurb utiliza caçambas de 20 m³ para destinação dos rejeitos ao aterro, enquanto a Ecosupply possui caçambas de 40 m³, compatíveis com caminhões roll-on/roll-off., a imagem abaixo apresenta a comparação entre os dois tipos de caçamba.

Essa diferença volumétrica pode otimizar a logística de transporte, tanto pela maior capacidade de carga quanto pela possibilidade de compactação natural dos resíduos durante o carregamento e deslocamento.

A análise desse terceiro teste permitiu a simulação de cenários logísticos com menor frequência de viagens e maior custo-benefício no envio dos resíduos ao destino final

para coprocessamento.

Figura 32 - Caçamba de 20 m³ utilizada pela Solurb (verde) e a caçamba de 40 m³ da Ecosupply (cinza), durante os testes de acondicionamento



Fonte: Rafael Guisso, Intercement (2024)

Durante a fase de execução dos testes operacionais, verificou-se uma contribuição significativa da concessionária Solurb, responsável pelos serviços de coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos no município de Campo Grande/MS.

Em uma das etapas de carregamento, a empresa realizou, com o uso de pá carregadeira, a compactação direta dos rejeitos no interior da caçamba metálica, com o objetivo de otimizar o uso do espaço e aumentar a densidade dos materiais, facilitando o transporte à unidade de pré-tratamento.

Essa prática, embora operacional, revela o papel estratégico que os prestadores de serviço público de limpeza urbana podem desempenhar na formação de soluções técnicas sustentáveis, especialmente quando inseridos em arranjos colaborativos com instituições de pesquisa, cooperativas e operadores da indústria de coprocessamento. O trabalho conjunto, fundamentado no princípio da responsabilidade compartilhada pela gestão de resíduos sólidos, contribui para a superação de gargalos logísticos e para a consolidação de modelos mais eficientes e ambientalmente adequados.

Nesse sentido, conforme aponta Milaré (2021), a gestão ambiental urbana requer ações integradas entre o poder público e os diversos atores sociais e institucionais envolvidos na cadeia de resíduos, sendo o prestador de serviço público um dos pilares na execução das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, não apenas como executor, mas como agente articulador de inovação e eficiência sistêmica.

A Figura 33 ilustra a operação de compactação realizada com pá carregadeira durante o carregamento dos rejeitos, evidenciando a integração prática entre os testes.

Figura 33 - Compactação dos rejeitos com pá carregadeira no interior da caçamba metálica durante o carregamento, realizada pela Solurb.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

Como resultado dos testes de compactação, observou-se que, embora a operação de prensagem manual tenha alcançado densidade satisfatória ($0,155 \text{ t/m}^3$), sua viabilidade prática foi comprometida pelas limitações estruturais das cooperativas envolvidas. A maioria das unidades de triagem não dispõe de prensas verticais próprias nem de equipe técnica em número suficiente para realizar esse tipo de acondicionamento de forma contínua e em escala operacional.

Em relação ao modelo de acondicionamento por big bags, embora tecnicamente viável, apresentou baixa densidade média ($0,0835 \text{ t/m}^3$) e exigiu grande número de unidades, tornando o processo logisticamente inviável para rotas de média e longa distância, além de aumentar o tempo e o custo de carregamento.

Diante dessas limitações e considerando as condições técnicas disponíveis, optou-se pela adoção do modelo de caçambas metálicas de 40 m^3 , disponibilizadas pela empresa

Ecosupply, as quais permitem maior capacidade volumétrica e compatibilidade com a operação atual das cooperativas e dos caminhões do tipo roll-on/roll-off.

A densidade média aferida durante essa operação foi de 0,05 t/m³, considerada muito baixa para padrões ideais de transporte de resíduos, mas aceitável diante da infraestrutura existente e das possibilidades de curto prazo. Essa escolha, portanto, foi pautada pelo princípio da adequação progressiva, com reconhecimento de que há potencial de melhoria técnica e estrutural em operações futuras.

Segundo Jacobi et al. (2011), a efetividade da gestão de resíduos sólidos depende não apenas da implementação de tecnologias, mas da capacidade institucional de articular soluções compatíveis com a realidade local, em constante aperfeiçoamento e com forte integração entre os atores do sistema.

Complementarmente, Milaré (2021) observa que a operacionalização de políticas ambientais eficazes requer não apenas planejamento normativo, mas também a consideração das limitações estruturais dos prestadores e das comunidades envolvidas, o que impõe a necessidade de soluções gradualmente estruturadas, economicamente viáveis e ambientalmente seguras.

6.3 Avaliação do teor de cloro e vidro nos rejeitos

Uma das hipóteses levantadas durante a fase experimental do projeto dizia respeito à possibilidade de que os rejeitos oriundos das cooperativas de triagem apresentassem teores mais elevados de cloro em comparação aos resíduos industriais tradicionalmente utilizados para coprocessamento.

Essa suposição baseava-se na alta concentração de embalagens plásticas presentes no fluxo de materiais rejeitados, especialmente aquelas compostas por polímeros clorados ou multicamadas, como PVC e outros plásticos flexíveis.

Ainda que tenha sido realizada uma segregação prévia pelas cooperativas com a retirada de lonas, tubos de PVC e embalagens potencialmente contaminadas –, os ensaios laboratoriais realizados em dois momentos distintos (maio e agosto de 2024) demonstraram que os teores de cloro permaneceram elevados, conforme apresentado na tabela 2 abaixo.

Além da presença significativa de materiais plásticos, verificou-se uma quantidade expressiva de vidro no rejeito. Essa característica gerou dificuldades operacionais diretas na unidade da Ecosupply, tendo em vista que fragmentos de garrafas de vidro quebradas danificaram os pneus da pá carregadeira utilizada para o carregamento do material. Segundo

relato das cooperativas, esse problema decorre do fato de que, em alguns casos, os veículos de coleta compactam os resíduos recicláveis, fazendo com que os vidros cheguem quebrados às mesas de triagem, tornando inviável sua segregação manual.

Tabela 2 – Resultados de análise de qualidade dos rejeitos oriundos das cooperativas de Campo Grande/MS.

ANÁLISE REJEITO COOPERATIVAS CAMPO GRANDE		
Parâmetro	Data	
	23 / Maio	16 / Agosto
PCI	3.912	4.537
Cloro	0,64	1,58
Umidade	26,15	7,58
Cinzas	53,06	20,64
SO ₃	0,27	0,28

Fonte: Dados técnicos fornecidos pela InterCement (2024)

Como parte da estratégia metodológica para validação do uso dos rejeitos das cooperativas no coprocessamento, foram realizados testes exploratórios com o uso de espectrômetro portátil por fluorescência de raios X (XRF), esse tipo de equipamento permite a análise elementar imediata de amostras sólidas, sem necessidade de preparo prévio, sendo ideal para triagens rápidas em campo.

A aplicação do XRF nas cooperativas de Campo Grande/MS teve por objetivo verificar a presença de elementos críticos, como cloro (Cl), enxofre (S), cádmio (Cd), chumbo (Pb), entre outros, que poderiam comprometer a qualidade do blend de resíduos ou exceder os limites ambientais de emissões quando submetidos ao processo de queima em fornos de clínquer.

As imagens abaixo apresentam o procedimento de análise direta sobre embalagens plásticas, que são suspeitas de conter teores significativos de cloro, especialmente as de origem multicamadas e com pigmentos específicos, também ilustra o exame sobre materiais metálicos encontrados no fluxo de rejeitos, como partes automotivas e eletrodomésticos, os quais demandam atenção quanto à presença de metais pesados e ligas incompatíveis com o processo de coprocessamento.

Esse tipo de análise, mesmo com limitação quanto à profundidade da leitura, fornece dados preliminares essenciais para tomada de decisão operacional, permitindo definir o descarte, aproveitamento ou necessidade de segregação adicional dos materiais, visto que o

uso da tecnologia XRF, nesse contexto, representou um avanço na triagem qualificada dos resíduos, alinhando-se às diretrizes técnicas da ABNT NBR 16705:2020 quanto à caracterização química de resíduos destinados à valorização energética.

Figura 34- Avaliação da composição química de embalagens plásticas com espectrômetro portátil (XRF) durante triagem dos rejeitos.



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

Os teores de cloro identificados nos rejeitos das cooperativas foram mais elevados do que o inicialmente previsto, sobretudo em função da presença de embalagens plásticas flexíveis, lonas e itens em PVC, como botinas, tubos e partes de calçados. Ainda assim, o material pôde ser misturado aos resíduos industriais previamente utilizados pela Ecosupply, o que permitiu a diluição dos níveis de cloro dentro das especificações técnicas aceitas pelo forno rotativo da InterCement.

Apesar dessa solução emergencial por meio da homogeneização do blend, a manutenção de altos teores de cloro representa um fator de risco contínuo, tanto para a estabilidade operacional do forno quanto para a conformidade ambiental.

Nesse sentido, uma possível solução de curto prazo seria o aprimoramento da segregação manual nas cooperativas, com especial atenção à identificação e separação de polímeros clorados, como o PVC, que devem ser excluídos do fluxo de coprocessamento.

A Figura 35 mostra um exemplo típico do tipo de material que compromete a qualidade

do rejeito destinado à Ecosupply, embora visualmente o PVC nem sempre se destaque entre os demais resíduos, sua presença pode ser inferida a partir de itens característicos, como botinas e capas plásticas, frequentemente misturados a papelão, tecidos e embalagens multicamadas. esses elementos são difíceis de triar sem um processo manual minucioso.

Além dos contaminantes plásticos, outro fator crítico identificado foi a presença de uma quantidade significativa de vidro nos rejeitos, o que também impacta negativamente na composição química final.

Ainda que invisível em parte das imagens, os dados laboratoriais revelaram teores de cinzas entre 20% e 53%, o que é indicativo da alta proporção de materiais inertes, especialmente vidros e cerâmicas.

Portanto, a otimização da triagem de vidro nas cooperativas, associada a treinamentos sobre reconhecimento de materiais colorados, pode melhorar significativamente a qualidade do rejeito destinado ao coprocessamento, reduzindo custos operacionais, prolongando a vida útil dos equipamentos e promovendo maior segurança ambiental.

Figura 35 - Contaminantes visuais (inclusive PVC) presentes em carga de rejeito triado pelas cooperativas e recebido pela Ecosupply para análise.



Fonte: Rafael Guisso, Intercement (2024)

Nesse contexto, a imagem analisada contribui para evidenciar as limitações

operacionais enfrentadas pelas cooperativas no processo de triagem manual e demonstra a importância de intervenções estruturais e formativas ao longo da cadeia de valorização dos resíduos. O aperfeiçoamento das rotinas de separação, aliado à adoção de protocolos técnicos e investimentos em capacitação, não apenas eleva o padrão de qualidade do material destinado ao coprocessamento, como também fortalece a sustentabilidade técnica, econômica e ambiental do sistema como um todo.

Assim, a redução de contaminantes como PVC e vidro não representa apenas uma exigência industrial, mas uma condição necessária para a consolidação de um modelo integrado de gestão de resíduos urbanos, ambientalmente seguro e socialmente inclusivo.

6.4 Presença de Peças Ferrosas e Contaminantes não recicláveis

Embora as sucatas ferrosas representem materiais com elevado peso específico e valor de mercado, configurando uma importante fonte de renda para as cooperativas, a elevada quantidade de rejeitos presente na linha de catação dificulta a separação eficiente desses elementos.

Essa limitação operacional resulta em perdas econômicas para as cooperativas, ao mesmo tempo em que compromete a segurança da operação na unidade da Ecosupply. A presença de peças metálicas não triadas implica risco direto ao processo de trituração mecânica, uma vez que fragmentos metálicos como latas de tinta, desodorantes pressurizados, peças automotivas e sucatas em geral podem danificar os equipamentos industriais, além de interromper o fluxo produtivo.

Adicionalmente, foram identificadas grandes quantidades de materiais perfurocortantes e contaminantes, como seringas, agulhas, pilhas, baterias e isqueiros, cuja presença configura risco biológico e químico elevado aos operadores de triagem. Esses materiais, embora frequentemente oriundos de residências (uso domiciliar, como insulina ou medicamentos de autoaplicação), deveriam ser destinados a coletores específicos de resíduos de serviços de saúde e encaminhados a postos de saúde ou unidades hospitalares, conforme estabelecido pela legislação sanitária e ambiental vigente.

A presença desses resíduos perigosos viola o princípio da precaução e da proteção à integridade física dos trabalhadores, exigindo intervenções de caráter educativo e estratégias contínuas de educação ambiental, com vistas à adequação do descarte na origem, nesse sentido, cabe recordar que “A sustentabilidade não pode mais ser vista apenas sob o prisma da eficiência econômica, mas deve abarcar a justiça social e a integridade ecológica, como condição mínima

de preservação das bases da vida” (MILARÉ, 2021, p. 59).

Além do risco sanitário, os materiais inflamáveis e reativos como pilhas, baterias e isqueiros podem gerar pontos de ignição em ambientes de armazenamento de resíduos com umidade residual ou em decomposição, aumentando o risco de combustão espontânea e incêndios em galpões de triagem.

Portanto, o tratamento adequado desses resíduos demanda uma abordagem sistêmica que envolva melhoria das rotinas de triagem, fiscalização, capacitação dos trabalhadores e programas de sensibilização social, em consonância com o ODS 12, consumo e produção responsáveis e o princípio do desenvolvimento sustentável, que exige responsabilidade intergeracional na gestão dos recursos e na proteção à saúde humana.

No tocante aos contaminantes perfurocortantes e resíduos perigosos, constatou-se a presença recorrente de seringas, agulhas, pilhas, baterias e isqueiros, materiais que representam risco elevado à saúde ocupacional dos operadores de triagem, além de comprometerem a qualidade e a segurança do processo de coprocessamento.

Diante disso, além das ações contínuas de educação ambiental voltadas ao descarte correto na origem, destaca-se a necessidade de revisão dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adotados pelas cooperativas e pela Ecosupply, a fim de mitigar os riscos físicos e biológicos associados ao manuseio desses resíduos.

Em relação às sucatas ferrosas, pilhas e baterias, foi identificado um montante médio de 0,5% da massa total dos rejeitos. Considerando um volume de aproximadamente 300 toneladas mensais, estima-se a presença de cerca de 1.500 kg/mês desses materiais, os quais, se não corretamente separados, representam tanto perda econômica para as cooperativas, quanto ônus ambiental e financeiro para a empresa receptora, que precisou arcar com os custos de destinação adequada desses rejeitos.

Como alternativa técnica para a mitigação desse problema, foi avaliada a instalação de polias magnéticas ao final das correias de triagem, para o extracionamento automatizado de metais ferrosos. O investimento estimado por unidade é de R\$ 21.420,00 (Vinte e um Mil, Quatrocentos e Vinte Reais), totalizando R\$ 85.680,00 (Oitenta e Cinco Mil, Seiscentos e Oitenta Reais) para a instalação nas quatro linhas de catação existentes, visto que a medida visa minimizar o risco de que peças metálicas sejam acidentalmente conduzidas ao triturador industrial, equipamento sensível a interferências de alta densidade metálica, com potencial de colapsar mecanicamente e gerar acidentes operacionais.

Durante a operação inicial, as seis primeiras cargas foram processadas sem o extrator magnético, em razão de sua manutenção. Isso exigiu separação manual intensiva na

Ecosupply, com tempo médio de 4 a 6 horas por carga e atuação de seis trabalhadores por turno. Ainda que essa seja uma atividade prevista nas rotinas da empresa, a diferença no perfil do rejeito oriundo das cooperativas – com maior volume de sucatas menores e mais difíceis de identificar visualmente – tornou o processo mais lento, exaustivo e vulnerável a falhas.

A linha de triagem conta com detector de metais acoplado, que interrompe o fluxo ao identificar a passagem de elementos metálicos, contudo, devido à alta frequência de incidência no rejeito das cooperativas, o tempo de parada e intervenção aumentou substancialmente.

Nas duas últimas cargas, já com o extrator ferroso reinstalado, o tempo de segregação foi reduzido para uma média de 3 horas por carga, embora ainda fosse necessário o apoio da triagem manual complementar.

Observou-se também que o detector de metais apresentou sensibilidade excessiva, sendo acionado por embalagens metalizadas como "tetrapak"²³, o que exigiu ajustes no setup da máquina para adequação ao novo perfil de resíduo.

De forma positiva, uma das últimas cargas apresentou nível superior de separação na origem, o que aponta para oportunidades concretas de compartilhamento de boas práticas operacionais entre as cooperativas.

Essa constatação reforça a relevância da padronização de rotinas, da capacitação continuada e do estabelecimento de indicadores mínimos de qualidade dos rejeitos triados, nesse sentido, conforme enfatiza Milaré (2021, p. 63) “A sustentabilidade ambiental só se efetiva quando incorpora o princípio da prevenção, da proteção à saúde humana e da valorização do trabalho digno como fundamentos operacionais das políticas públicas”.

Portanto, além da modernização dos sistemas de separação, é imprescindível articular as dimensões tecnológica, socioeducativa e institucional, promovendo uma gestão integrada dos resíduos sólidos, em conformidade com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e os compromissos firmados no âmbito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, em especial os ODS 8 e 12.

6.5 Processo de trituração, blendagem e coprocessamento experimental

²³ é uma marca comercial que se tornou sinônimo de embalagens cartonadas multicamadas, compostas geralmente por camadas de papel, plástico e alumínio. São amplamente utilizadas para armazenamento de alimentos líquidos e bebidas, como sucos, leites e caldos. Por serem compostas por diferentes materiais fundidos, apresentam dificuldade de reciclagem e podem interferir em sensores de separação automatizada devido à presença de metalização interna.

O processo de trituração e blendagem constitui a etapa final de preparação dos resíduos antes do envio ao coprocessamento em fornos rotativos da indústria cimenteira. Nessa fase, realiza-se a redução da granulometria dos materiais e a homogeneização das cargas, com o objetivo de ajustar parâmetros físico-químicos críticos, como poder calorífico inferior (PCI), teor de cloro, umidade, cinzas, pH e ponto de fulgor.

Além disso, promove-se o ajuste da densidade da mistura, de modo a otimizar a ocupação volumétrica das caçambas e, por consequência, reduzir o custo logístico no trajeto entre a Ecosupply e a InterCement, localizado a aproximadamente 290 km de distância.

Após a segregação manual dos resíduos realizada pela equipe da Ecosupply, os materiais passam por trituração mecânica com facas rotativas de alta velocidade. Essa etapa envolve risco potencial de ignição, principalmente quando há presença de materiais inflamáveis, como isqueiros, solventes ou objetos metálicos de pequeno porte, que podem gerar faíscas ou reações exotérmicas. Por essa razão, a qualidade da triagem prévia é fundamental para garantir a segurança operacional da unidade de blendagem.

Finalizada a trituração, os resíduos são acondicionados em caçambas metálicas e, em seguida, misturados a outros resíduos industriais triturados ou materiais sólidos/pastosos, de modo a aferir densidade, homogeneidade e conformidade química da carga final.

Esse processo é monitorado por meio de análises laboratoriais específicas, tanto na entrada dos resíduos quanto após a formulação do blend final, com o objetivo de assegurar a conformidade com as especificações técnicas da InterCement para uso como combustível alternativo, a tabela 3 apresenta os parâmetros operacionais exigidos para aceitação do blend, conforme critérios técnicos estabelecidos pela InterCement:

Tabela 3 – Especificações técnicas do blend de resíduos aceito pela InterCement para coprocessamento

Parâmetros		Unidade	Blend	
INTERCEMENT				
	Poder Calorífico Superior (PCI)	kcal/kg	≥	3.800
	Umidade conforme anexo I	%	≤	20,0
«	Cinzas [Sólidos Totais, em Res. Líquidos]	%	≤	25
	pH			–
	Viscosidade a 20 °C	cPs.		–
	S	%	≤	1,2
«	Cloretos (Cl ⁻)	%	≤	0,3
	Fluoretos (F ⁻)	%	≤	0,3

	P2O5	%	≤	2,0
	Tamanho máximo de Partícula	mm	≤	50,0
	Granulometria- Passante P-50 mm	%		100,0
	Ponto de Fulgor	°C	≥	80,0

Fonte: Dados técnicos fornecidos pela InterCement (2024)

A Figura 36 apresenta a área de armazenamento do material triturado e homogeneizado na unidade da InterCement em Bodoquena/MS, visto que a disposição controlada desses volumes permite não apenas a cura do material para estabilização da umidade, como também o controle de homogeneidade e granulometria, etapas cruciais para atender às especificações físico-químicas exigidas pela cimenteira.

Figura 36 – Armazenamento do blend de resíduos triturados na unidade da InterCement. Bodoquena/MS



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

A etapa de trituração foi realizada após a triagem manual e a remoção de contaminantes metálicos, o que garantiu uma massa residual com baixo teor de sucatas ferrosas e materiais potencialmente danosos ao equipamento.

Esse fator contribuiu para uma operação eficiente e estável dos trituradores industriais da Ecosupply, que operam com dois eixos paralelos. Durante o processo, não foram registradas interrupções por travamento ou sobrecarga dos eixos, sendo observado apenas o desgaste rotineiro dos componentes, característico do processamento de resíduos heterogêneos.

A trituração foi sucedida pela etapa de blendagem, na qual os resíduos das cooperativas foram homogeneizados com outros materiais sólidos e pastosos de maior densidade, provenientes de resíduos industriais. O objetivo dessa mistura foi equilibrar os parâmetros físico-químicos e aumentar a densidade das cargas, buscando otimização logística no transporte à unidade da InterCement, em Bodoquena/MS.

A Tabela 4 apresenta os registros das cargas de blend contendo rejeitos das cooperativas, com as respectivas notas fiscais, datas e pesos aferidos em balança, conforme protocolo da Ecosupply, sendo que a média ponderada dos envios realizados durante o período de testes foi de 29,88 toneladas por carga, enquanto a média anual das cargas convencionais (sem rejeito das cooperativas) é de 31,06 toneladas, o que representa uma diferença de apenas 3,9%.

Tabela 4 - Cargas de blend com rejeito das cooperativas enviadas à InterCement.

Cargas de Blend Contendo Rejeitos		
Nº NF	Data NF	Peso Balança (t)
000065088-001	21/04/2024	34,230
000065182-001	23/04/2024	24,990
000065290-001	25/04/2024	43,770
000065654-001	02/05/2024	21,180
000066779-001	23/05/2024	34,070
000066888-001	27/05/2024	24,690
000070427-001	31/07/2024	30,820
000070870-001	09/08/2024	28,320
000070919-001	12/08/2024	30,430
000070993-001	13/08/2024	26,300
Total		298,80
Média Peso Período		29,88
Média Peso Anual		31,06
Diferença		3,9%

Fonte: Dados técnicos fornecidos pela InterCement (2024)

O processo de coprocessamento na unidade da InterCement em Bodoquena/MS foi realizado de forma regular e controlada. As cargas contendo rejeitos, devidamente homogeneizadas no blend, foram recebidas, descarregadas e inseridas no forno rotativo sem impactar o sistema de alimentação, o fluxo operacional ou a qualidade final do cimento produzido.

A única diferença observada foi visual: a coloração mais intensa e a presença de

materiais triturados coloridos, provenientes de resíduos pós-consumo, no entanto, não foram detectados resíduos incompatíveis, como fitas ou compostos que pudessem comprometer o funcionamento da esteira ou do sistema de dosagem do forno.

As amostras de cada carga foram analisadas segundo o protocolo técnico, a imagem abaixo ilustra o procedimento de amostragem e preparação do blend para análise laboratorial, ou seja, secagem, pulverização, quarteamento e ensaio químico.

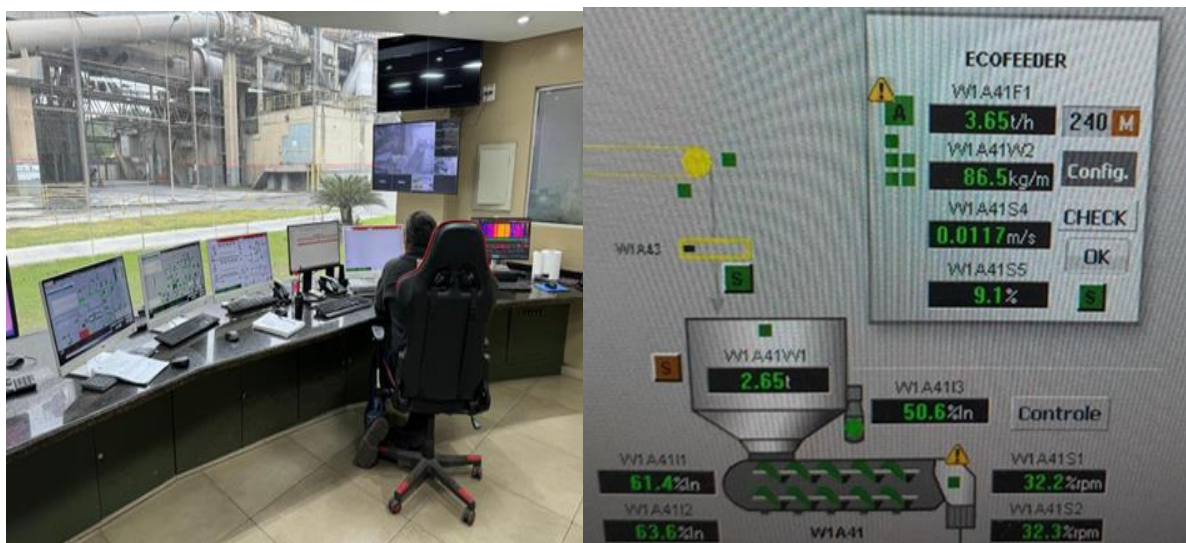
Figura 36 – Amostragem e preparação laboratorial



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024)

No sistema de supervisão da unidade industrial, foi possível acompanhar, em tempo real, a taxa de dosagem do blend energético no forno. A Figura 37 ilustra o sistema operando com alimentação de 3,65 toneladas por hora, das quais aproximadamente 60% correspondem ao blend de resíduos, totalizando cerca de 2,2 t/h. Estima-se que o consumo mensal atinja 1.500 toneladas, sendo esse volume complementado, em determinadas operações, por pneus triturados que integram o mix combustível utilizado no processo de coprocessamento.

Figura 37– Tela do sistema de alimentação da unidade InterCement Bodoquena/MS



Fonte: Arquivo pessoal da autora (2024).

A qualidade do blend foi monitorada com base nos parâmetros de Poder Calorífico Inferior (PCI) e teor de cloro, cujos resultados são apresentados graficamente (Figura 37).

Os testes foram realizados em três períodos: final de abril/início de maio, final de maio e final de julho/início de agosto de 2024.

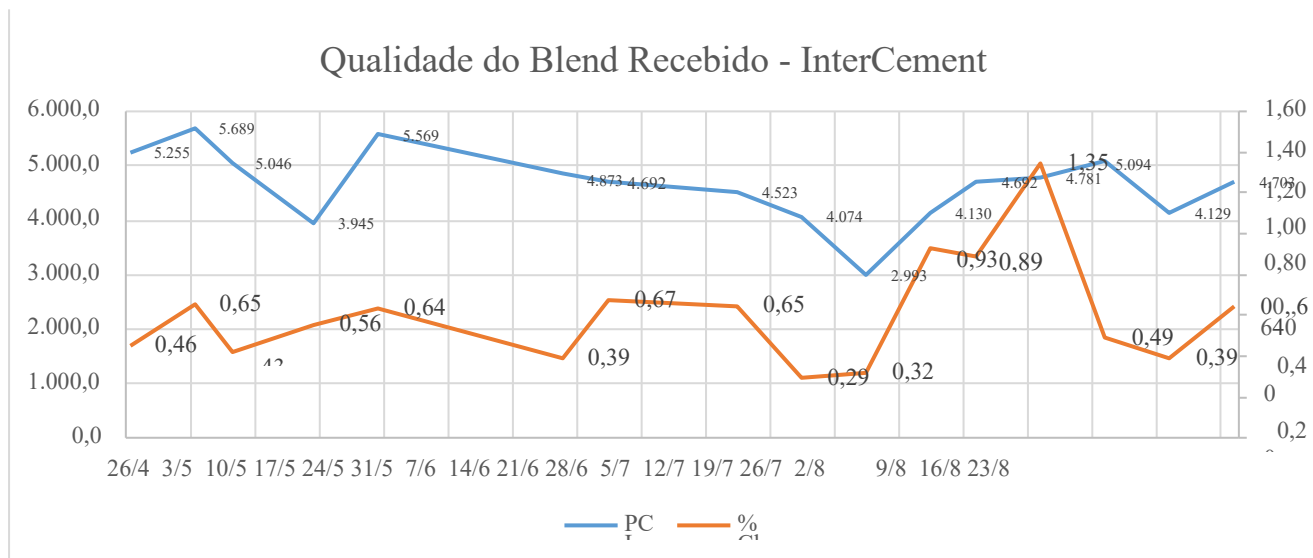
A análise demonstrou estabilidade nos dois primeiros ciclos, com aumento significativo do teor de cloro apenas na última fase, devido à maior concentração de PVC e plásticos nos rejeitos. Apesar disso, o baixo peso relativo dos rejeitos na composição do blend permitiu sua diluição na matriz industrial, minimizando os efeitos no teor final de cloro e mantendo os parâmetros dentro das tolerâncias estabelecidas.

Além disso, preocupações iniciais quanto à: alteração da densidade do blend, que poderia interferir na medição volumétrica da esteira; na geração de sujeira excessiva, especialmente no transporte do material; e teor de cinzas, que não se confirmaram. O material foi bem integrado ao mix oleoso, e o funcionamento da linha se manteve estável.

Como conclusão, o teste de coprocessamento com 35 (trinta e cinco) toneladas de blend contendo rejeitos das cooperativas demonstrou viabilidade operacional, estabilidade térmica e compatibilidade com o sistema de alimentação do forno, mesmo em proporções experimentais. Os dados obtidos durante os três períodos de análise, consolidados na Figura 38, reforçam esse resultado.

A figura abaixo evidencia que o Poder Calorífico Inferior (PCI) das cargas permaneceu dentro dos parâmetros energéticos exigidos para valorização térmica, indicando que o blend apresentou boa eficiência combustiva, mesmo com a inclusão de rejeitos urbanos heterogêneos.

Figura 38 – Variação do PCI e teor de cloro (%) nas cargas de blend com rejeitos das cooperativas (abr–ago/2024)



Fonte: Dados laboratoriais da InterCement (2024).

Em relação ao teor de cloro (%), embora tenha registrado um leve aumento no terceiro ciclo de testes, manteve-se abaixo dos limites críticos operacionais, demonstrando que a mistura com resíduos industriais de maior densidade e menor teor clorado permitiu a diluição dos compostos indesejáveis.

Esses resultados indicam que a manutenção das boas práticas de triagem nas cooperativas, controle contínuo da qualidade dos rejeitos e rastreabilidade dos parâmetros químicos, ampliam o uso desse tipo de resíduo na composição do blend, visto que tal estratégia contribuindo de forma direta para o avanço da logística reversa e da valorização energética no setor cimenteiro, promovendo um modelo de gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos.

A análise das cargas de rejeitos oriundos das cooperativas de reciclagem, devidamente trituradas e homogeneizadas com resíduos industriais na unidade da Ecosupply, demonstrou que o coprocessamento desses materiais é tecnicamente viável, ambientalmente seguro e operacionalmente estável.

Ainda que se tratasse de uma fase piloto com o envio de apenas oito cargas, totalizando 35 (trinta e cinco) toneladas, os resultados obtidos em escala industrial de pequeno porte foram suficientes para comprovar a aderência do resíduo ao processo térmico da planta da InterCement, localizada em Bodoquena/MS.

Durante os testes, não foram observadas alterações relevantes nos parâmetros operacionais, tais como o fluxo de alimentação do forno, a densidade do blend ou a qualidade do clínquer produzido. Houve apenas um aumento discreto na frequência das análises laboratoriais, como medida preventiva para consolidação do perfil técnico dos novos resíduos inseridos. O processo transcorreu dentro das rotinas da planta, demonstrando robustez e adaptabilidade.

Em termos qualitativos, identificou-se aumento pontual no teor de cloro nas cargas finais, atribuído à presença de PVC e materiais clorados, sobretudo em embalagens e rótulos. Apesar de os valores permanecerem dentro dos limites operacionais, recomenda-se o reforço da triagem manual nas cooperativas, com ações de capacitação voltadas à identificação e segregação de contaminantes, de modo a garantir a regularidade do blend energético.

Outro ponto de atenção foi a presença de sucatas ferrosas e não ferrosas, que representa perda econômica para as cooperativas e risco técnico para o processo de trituração. A solução proposta consiste na adoção de tecnologias de separação automatizada, como polias magnéticas e peneiras vibratórias, que podem melhorar a eficiência operacional e assegurar a conformidade do material processado.

No tocante aos custos, foram identificados os seguintes valores médios:

- R\$ 620,00 (Seiscentos e Vinte Reais) por tonelada para triagem, trituração, blendagem e destinação (Ecosupply);
- R\$ 595,00 (Quinhentos e Noventa e Cinco Reais) por viagem entre a Central de Triagem e a unidade de blendagem, com emissão do Certificado de Destinação Final (CDF);
- R\$ 150,00 (Cento e Cinquenta Reais) por tonelada pagos pela InterCement, dos quais R\$ 50,00 (Cinquenta Reais) são repassados às cooperativas, fomentando a logística reversa e a inclusão socioeconômica dos catadores.

Embora a implementação do modelo de coprocessamento exija investimentos iniciais significativos em infraestrutura e adaptação tecnológica, seus resultados demonstram elevada eficiência sistêmica e expressivo retorno socioambiental. A prática está em consonância com princípios fundamentais do Direito Ambiental, como o princípio da prevenção, ao mitigar riscos ambientais decorrentes da destinação inadequada dos rejeitos, o princípio do poluidor-pagador, ao internalizar os custos ambientais na cadeia produtiva, e o reconhecimento da função socioambiental dos resíduos sólidos, conforme estabelecido na Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Para além do marco legal nacional, observa-se que o modelo de coprocessamento analisado contribui diretamente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento

Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas, conforme sintetizado no quadro a seguir.

Quadro 38 - Contribuições do modelo de coprocessamento para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS	CONTRIBUIÇÃO DIRETA DO MODELO DE COPROCESSAMENTO
ODS 6 – Água Potável e Saneamento	Reduz a disposição inadequada de resíduos, evitando a contaminação de corpos hídricos e aquíferos.
ODS 7 – Energia Acessível e Limpa	Gera energia térmica a partir de resíduos, diversificando a matriz energética com fontes alternativas.
ODS 8 – Trabalho Decente e Crescimento Econômico	Valoriza o trabalho de catadores, promovendo inclusão social e geração de renda no setor de resíduos.
ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura	Promove inovação tecnológica no setor cimenteiro, com uso de tecnologias limpas e eficientes.
ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis	Reduz o volume de resíduos enviados a aterros, contribuindo para a sustentabilidade urbana.
ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis	Favorece a economia circular ao transformar resíduos em insumos produtivos no ciclo do cimento.
ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima	Reduz emissões de GEE por meio da substituição de combustíveis fósseis e disposição inadequada.
ODS 17 – Parcerias para os Objetivos	Fortalece a cooperação entre empresas, cooperativas, setor público e academia em soluções sustentáveis.

Conforme dispõe a própria PNRS, “a gestão integrada deve considerar a valorização dos resíduos sólidos, incluindo a recuperação energética” (BRASIL, 2010, art. 6º, VII), e, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, “o coprocessamento em fornos de cimento constitui uma alternativa segura, eficiente e alinhada com os princípios da economia circular” (ABCP, 2020, p. 15).

Portanto, os resultados alcançados validam o modelo aqui proposto como replicável, escalonável e eficaz, desde que amparado por boas práticas de segregação, controle técnico de qualidade, rastreabilidade e governança interinstitucional, tendo em vista que a experiência analisada representa um caminho promissor para a integração da gestão de resíduos com políticas públicas de desenvolvimento local, inclusão social e inovação ambiental.

Em síntese, esta tese contribui para o avanço do debate jurídico-ambiental ao oferecer uma abordagem prática e normativamente fundamentada sobre o coprocessamento como instrumento de política pública ambiental.

Ao articular diretrizes legais, experiências locais e compromissos globais da Agenda

2030, reafirma-se que a valorização energética dos resíduos não é apenas uma solução tecnológica, mas uma estratégia de transformação social, econômica e ecológica rumo a um modelo de desenvolvimento sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese teve como objetivo analisar o regime jurídico do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer, com foco na articulação entre os princípios de ecodesign, logística reversa e a promoção da sustentabilidade no contexto do desenvolvimento local.

A partir da combinação metodológica de revisão bibliográfica, análise documental e estudo de múltiplos casos, envolvendo as empresas Solurb, Intercement e Ecosupply, foi possível identificar os principais entraves e potencialidades relacionadas à implementação do coprocessamento como tecnologia de valorização de resíduos.

Os resultados evidenciam que, embora o Brasil disponha de um marco normativo estruturado, especialmente representado pela Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e pela Resolução CONAMA nº 499/2020, persistem lacunas regulatórias, desafios de fiscalização e insuficiência de incentivos públicos que limitam a difusão ampla e segura do coprocessamento. Ademais, verificou-se que a integração dos princípios de ecodesign e logística reversa ainda não se encontra plenamente incorporada às estratégias empresariais e à formulação de políticas públicas municipais.

A análise do regime jurídico aplicável ao coprocessamento em fornos rotativos de produção de clínquer, com ênfase nos dispositivos da Lei nº 12.305/2010, da Resolução CONAMA nº 499/2020, bem como em princípios estruturantes como os da prevenção, função socioambiental, poluidor-pagador e desenvolvimento sustentável, permitiu identificar lacunas normativas e potenciais de aprimoramento institucional.

A investigação empírica das práticas adotadas pelas empresas Solurb, Ecosupply e InterCement, nos municípios de Campo Grande/MS e Bodoquena/MS, permitiu avaliar a efetividade dos mecanismos de logística reversa, diagnosticar os entraves operacionais e jurídicos na adoção do coprocessamento e propor soluções técnico-regulatórias integradas, em consonância com os princípios de ecodesign e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, notadamente os ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 12 (Consumo e Produção Responsáveis), 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) e 17 (Parcerias e Meios de Implementação).

No campo institucional, destaca-se a importância das parcerias entre setor público, indústria cimenteira, cooperativas de catadores e empresas de gestão de resíduos, como meio de viabilizar o uso de resíduos urbanos como combustíveis alternativos. O coprocessamento possui alto potencial para se consolidar como ferramenta jurídico-operacional para o desenvolvimento local, especialmente em territórios com desafios estruturais na gestão de resíduos e na inclusão socioprodutiva.

Como desdobramento prático das análises empreendidas, esta tese apresenta, em anexo, uma proposta de Projeto de Lei que institui a Política Nacional de Coprocessamento de Resíduos Sólidos Urbanos (PNCRSU). Estruturado em oito títulos, o projeto busca consolidar diretrizes jurídicas, operacionais e institucionais voltadas à regulamentação do coprocessamento no Brasil, à valorização dos catadores, à criação de incentivos econômicos e à integração entre os entes federativos, o setor privado e a sociedade civil. Tal proposta busca preencher a lacuna normativa identificada e oferecer subsídios jurídicos e econômicos à formulação de políticas públicas alinhadas à economia circular e ao desenvolvimento local sustentável.

Além disso, observa-se que a recente promulgação da Lei nº 15.042/2024, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), representa uma oportunidade estratégica para integrar o coprocessamento ao mercado regulado de carbono no Brasil.

Ao reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa por meio da substituição de combustíveis fósseis por resíduos não recicláveis, o coprocessamento se qualifica como atividade elegível para a geração de créditos de carbono. Assim, o alinhamento entre a PNCRSU e o SBCE fortalece o papel do coprocessamento como instrumento de mitigação climática e de transição ecológica no setor industrial, contribuindo para as metas nacionais de descarbonização e para a construção do estado de carbono zero até 2050.

Também se recomenda a análise comparada da aplicação da PNCRSU em diferentes Municípios e Estados, com vistas à sua replicabilidade e aos efeitos na governança ambiental. A evolução normativa e a efetividade do controle social sobre os processos de licenciamento, monitoramento e participação cidadã no âmbito do coprocessamento constituem campos promissores para investigações futuras.

Conclui-se que o fortalecimento do regime jurídico, aliado à adoção de incentivos econômicos, investimentos em infraestrutura e políticas de educação ambiental, é essencial para consolidar o coprocessamento como prática sustentável e juridicamente segura.

Assim, esta tese propõe como caminhos estratégicos para a consolidação de um

modelo jurídico e operacional de coprocessamento urbano sustentável:

(i) a inclusão do coprocessamento nas políticas públicas municipais de gerenciamento de resíduos sólidos;

(ii) a institucionalização de incentivos econômicos para qualificação da triagem nas cooperativas;

(iii) o fomento à inovação tecnológica, por meio da automação de triagem e de mecanismos de controle da qualidade dos rejeitos; e

(iv) a valorização dos catadores por meio de remuneração direta e créditos sociais de carbono, assegurando sua integração justa ao sistema produtivo.

A pesquisa, ao integrar análise normativa, estudo de caso e proposições aplicáveis, reforça que o coprocessamento urbano pode ser instrumento jurídico-operacional para o desenvolvimento local sustentável, com ganhos ambientais, sociais e econômicos, desde que orientado por uma governança intersetorial, transparente e comprometida com a justiça ambiental.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama 2021**. Disponível em <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Acesso: 19 de julho de 2023.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Relatório de Sustentabilidade 2023. Disponível em: <https://www.abcp.org.br>. Acesso em: 22 fev. 2025.

ADAMS, Cristina. **Governança ambiental no Brasil: acelerando em direção aos objetivos de desenvolvimento sustentável ou olhando pelo retrovisor?**. Cadernos Gestão Pública e Cidadania, v. 25, n. 81, 2020.

ADAMS, C. A. **Understanding Integrated Reporting: The Concise Guide to Integrated Thinking and the Future of Corporate Reporting**. Abingdon: Routledge, 2020.

ANDION, C.; ALPERSTEDT, G.D. e GRAEFF, J.F. **Ecossistema de inovação social, sustentabilidade e experimentação democrática: um estudo em Florianópolis**. Revista de Administração Pública, FGV-IBAPE, 54(1),p.181-200, jan - fev. 2022.

ANSELL, C.; TORFING, J. **A new public governance based on co-creation**. Public governance as co-creation (orgs). Cambridge: Cambridge University, P. 1-14, 2021.

ANTUNES, Paulo de Bessa. ***Direito Ambiental***. 17. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020.

ARANTES, M. V. C.; Pereira, R. S. **Análise Crítica dos 10 Anos de Criação e Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil**. Revista Linceu On-line, v. 11, n. 1, p. 48-66, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13896:1997 – Coleta de resíduos sólidos domiciliares – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14001:2015: Sistemas de gestão ambiental**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16605:2017**: Coprocessamento de Resíduos em Fornos de Cimento – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR PR 2030**: Ambiental, social e governança (ESG) - Conceitos, diretrizes e modelo de avaliação e direcionamento para organizações.

ÁVILA, V. F. **Dupla relação entre Educação e Desenvolvimento Local (endógeno- emancipatório)**. Paideia: revista do curso de pedagogia da Faculdade de Ciências Humanas, Sociais e da Saúde / Universidade Fumec, Belo Horizonte, v. 9, n. 12, p. 13–49, jan./jun. 2012.

ÁVILA, Vicente Fidelis. **Desenvolvimento local: uma abordagem crítica**. São Paulo: Outras Expressões, 2017.

BAHADORI et al. **Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry**. Journal of Cleaner Production, v. 51, p. 142-161, 2013.

BARRIOS-PLATIAU, A.F; VARELLA, M.D (Org.) **Direito internacional do meio ambiente**. Belo Horizonte: Del Rey, 2005. Coleção Direito Ambiental.

BARRIOS-PLATIAU, A.F; VARELLA, M.D (Org.) **Diversidade biológica e conhecimentos tradicionais**. Belo Horizonte: Del Rey, 2004. 369 p. (Coleção Direito Ambiental)

BARROSO, R. S.; GONÇALVES, R. F. **Economia circular: uma abordagem sistêmica para a sustentabilidade**. Curitiba: CRV, 2019.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. Divisão das Nações Unidas – Assessoria especial. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente. O Brasil e a preparação da Conferência de Estocolmo. Brasília: MRE, abr. 1972. 38p.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Disponível em <https://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Conama-316-02-Tratamento-T%C3%A9rmico-de-Res%C3%ADduos.pdf>. Acesso em 05 de Fevereiro de 2025.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005**. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. Disponível em https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=457. Acesso em 05 de fevereiro de 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 146, n. 249, p. 1-4, 30 dez. 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria nº 274, de 30 de abril de 2019. Estabelece critérios para o licenciamento ambiental e para o controle das emissões atmosféricas decorrentes do coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 83, p. 79, 2 maio 2019.

BRASIL. **RESOLUÇÃO DO CONAMA nº 499, de 06 de outubro de 2020.** Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer. Disponível em <https://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>. Acesso em 21 de fevereiro de 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Altera a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021. Institui a Lei de Incentivo à Reciclagem, que estabelece normas para a criação de incentivos fiscais e estímulo a projetos de reciclagem.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 dez. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14260.htm. Acesso em: 16 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Aterro sanitário: destinação ambientalmente adequada.** Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 16 abr. 2025.

BRASIL. **LEI Nº 15.042, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2024.** Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE); e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), 6.385, de 7 de dezembro de 1976 (Lei da Comissão de Valores Mobiliários), e 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (Lei de Registros Públicos). Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L15042.htm. Acesso em 05 de fevereiro de 2025.

BOERO, A; SALAS, D; RAMIREZ, A; RODRÍGUEZ, C; PETROCHE, D; DUQUERIVERA, J. Environmental impacts, life cycle assessment and potential improvement measures for cement production: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 114- 122, 2016.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT (BMU). **Waste Management in Germany 2017: Facts, data, diagrams.** Berlin: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2017.

CARVALHO, C. A. **Desenvolvimento sustentável e políticas públicas: desafios da sustentabilidade local.** São Paulo: Cortez, 2001.

CEMBUREAU – EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. **Co-processing of waste in EU cement plants: status and prospects.** Bruxelas: CEMBUREAU, 2017. Disponível em: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/co-processing-waste-eu-cement-plants-status-and-prospects>. Acesso em: 18 abr. 2025.

CEFAI, D. Públicos, Problemas Públicos, Arenas Públicas. Novos Estudos. Cebrap. São Paulo, V36., 01, p. 187-213, março de 2017.

CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE (CSI); INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry, 2018. 61 p.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Relatório de indicadores da reciclagem mecânica de plásticos no Brasil**. São Paulo: CEMPRE, 2023.

CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 15359:2011: Solid recovered fuels – Specification and classes*. Brussels: CEN, 2011. Disponível em: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/en-15359-2011>. Acesso em: 18 abr. 2025.

CETESB. **Emissões atmosféricas em processos térmicos de tratamento de resíduos sólidos urbanos**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

CETESB. **Queima de resíduos sólidos urbanos: aspectos técnicos e ambientais**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/publicacoes>. Acesso em: 17 abr. 2025.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Our common future**. 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em: 11 out. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 404, de 11 de novembro de 2008. **Dispõe sobre critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 nov. 2008.

COHEN, Maurie J. **Collective dissonance and the transition to post consumerism**. Futures, v. 52, p. 4251, 2013.

COSTA, R. M. F. da; FREITAS, T. M. de; SILVA, A. J. B. da. **Avaliação ambiental da pirólise como alternativa à incineração de resíduos sólidos urbanos**. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 2, p. 253-261, 2020. DOI: 10.1590/S1413-41522020188237.

COSTA, G. M. et al. **Tecnologias térmicas aplicadas à gestão de resíduos urbanos: análise comparativa de desempenho energético**. *Revista Brasileira de Energia*, v. 26, n. 2, p. 243–258, 2020.

DIAS, S. M.; ALVES, C. R. **O trabalho dos catadores de materiais recicláveis e as políticas públicas para a inclusão social**. *Revista Saúde e Sociedade*, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 20-30, 2008.

DINIZ, C. C. **Desenvolvimento local e suas articulações multiescalares**. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, n. 52, p. 66–85, 2020.

DINIZ, Priscila Maria de Araújo. **Governança ambiental e inclusão socioprodutiva: o**

papel dos atores locais na política de resíduos sólidos. Campo Grande: Editora UCDB, 2020.

EEA, (European Environment Agency). (2017). **Circular by design - Products in the circular economy**, EEA Report, No. 6/2017. Disponível em <https://doi.org/10.2800/860754>. Acesso em 11 de out. 2024.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition.** Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org>. Acesso em: 15 abr. 2025.

EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. **Co-processing of waste in EU cement plants: status and prospects.** Bruxelas: CEMBUREAU, 2017. Disponível em: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/co-processing-waste-eu-cement-plants-status-and-prospects>. Acesso em: 18 abr. 2025.

EUROPEAN COMMISSION (EC). **The role of waste-to-energy in the circular economy.** Brussels: EC, 2020.

EUROPEAN UNION. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the European Union, Brussels, 2008.

EUROPEAN COMMISSION. **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide.** Joint Research Centre, Seville, 2013.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Energy Recovery from the Combustion of Municipal Solid Waste (MSW).** Washington, DC: EPA, 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov>. Acesso em: 10 abr. 2025.

ENGINEERS PVT. LTD. “**Scaling the tallest peak**”. Disponível em: <<http://www.patfab.com/index.htm>>. Acesso em 25 de jul.2024

FERREIRA, Leila da Costa. **Governança ambiental urbana: resíduos sólidos, políticas públicas e inclusão social.** São Paulo: Cortez, 2017.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de direito ambiental brasileiro.** 21. ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: Saraiva, 2021.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Panorama de energias renováveis: setor industrial e américa latina.** Novembro de 2016.

FRANÇA. Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. *Journal Officiel de la République Française*, Paris, 2015.

FRANÇA FILHO, G. C. **Economia solidária: teoria e prática.** Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 36, n. 6, p. 127–138, 2002.

FREIRE, C. J. C. **Gestão integrada e sustentável de resíduos sólidos urbanos.** 2. ed. São

Paulo: Manole, 2011

GADOTTI, Moacir. **Educar para a sustentabilidade: uma contribuição à década da educação para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Instituto Paulo Freire, 2009.

GAIGER, L. I. **Sentido e alcance da economia solidária como estratégia de desenvolvimento**. Revista Crítica de Ciências Sociais, Coimbra, n. 93, p. 33–56, 2011.

GARTNER, E; SUI, T. **Alternative cement clinkers**. *Cement and Concrete Research*, v. 114, p. 27-39 2018.

GARTNER, E; JOHN, V; SCRIVENER, K; UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM (UNEP). **Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a lowCO2 cement-based materials industry**. *Cement and Concrete Research*, v. 114, p. 2-26, 2018.

GEISSDOERFER, M. et al. **The circular economy – a new sustainability paradigm?** *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 757-768, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (2018). **GCCR Sustainability Framework Guidelines**. Disponível em <https://gccassociation.org/concretefuture>. Acesso em 23.mar.2019, 13:30.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (GCCA). **Concrete future: GCCA 2050 cement and concrete industry roadmap for net zero concrete**. Londres: GCCA, 2023. Disponível em: <https://gccassociation.org/concretefuture>. Acesso em: 3 ago. 2025.

GONÇALVES, Taynara Martins; BARROSO, Ana Flavia da Fonseca. **A economia circular como alternativa à economia linear**. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12561/2/EconomiaCircularAlternativa.pdf>. Acesso em 11 de out. 2024

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. 2. ed. São Paulo: USP, 2007.

HURME, M; KAJASTE, R. **Cement industry greenhouse gas emissions - Management options and abatement cost**. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 4041–4052, 2016.

IPEA: Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada (2020). Disponível em https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296#:~:text=Os%20dados%20ainda%20revelam%20a,%2C1%25%20de%20outros%20materiais. Acesso: 15 de jun. de 2024.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Reciclagem e logística reversa de resíduos sólidos no Brasil: diagnóstico e propostas para o avanço da PNRS**. Brasília: IPEA, 2020.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios da**

sustentabilidade. Revista Estudos Avançados, São Paulo, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah; FUKS, Mario. **Gestão de resíduos sólidos no Brasil: avanços e desafios da Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 3, n. 1, p. 127-143, 2011.

JOINT RESEARCH CENTRE – EUROPEAN IPPC BUREAU. **Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide.** Seville: European Commission, 2013. Disponível em: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/production-cement-lime-and-magnesium-oxide>. Acesso em: 18 abr. 2025.

LEITE, Denise R. **Governança ambiental e inclusão social na gestão de resíduos sólidos urbanos.** São Paulo: Atlas, 2019.

LEMONS, M. C.; BRITO, M. C. **Governança ambiental e políticas públicas: desafios para a sustentabilidade.** Revista Brasileira de Políticas Públicas, v. 8, n. 3, p. 22–41, 2018.

LOUBET, Luciano Furtado. **Licenciamento Ambiental: A Obrigatoriedade da Adoção das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD).** Ed. Del Rey, 2014.

LOURES, L. G. **Instrumentos jurídicos para a transição ecológica no Brasil: desafios e perspectivas.** Belo Horizonte: Fórum, 2018.

KOGERG, E; LONGONI, A. **A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains.** Journal of Cleaner Production, v. 207, p. 1084-1098, 2019.

KHOR, Kuan-Shun; RAMAYAH, T.; PANJEHFOULADGARAN, Hamed Reza Pouraghaei. Managing eco-design for reverse logistics. **International Journal of Environment and Waste Management**, [S.l.], v. 26, n. 2, p. 125–146, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332876502_Managing_eco-design_for_reverse_logistics. Acesso em: 3 ago. 2025

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro.** 20. ed. rev., ampl. e atual. de acordo com o Código Florestal (Lei n. 12.651, de 25.05.2012). São Paulo: Malheiros, 2010

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.

MARINGOLO, Mário. **Avaliação energética e ambiental da utilização de resíduos industriais como substitutivos de matérias-primas na indústria de cimento Portland.** 2001. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/85559>. Acesso em: 3 ago. 2025.

MATTOS, B. B. M. **Estudo do reuso, reciclagem e destinação final dos resíduos da construção civil na cidade do Rio de Janeiro.** 2013. 83 p. Projeto de graduação (Engenheiro Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

METI – MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY (Japan). **Green Growth**

Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. Tóquio: METI, 2021.

MILARÉ, Édis. **Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco – doutrina, jurisprudência, glossário.** 12. ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2021.

MINAS GERAIS. Lei nº 19.823, de 22 de novembro de 2011. Institui a Bolsa Reciclagem no Estado de Minas Gerais. *Diário Oficial do Estado de Minas Gerais*, Belo Horizonte, 2011.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL – MPMS. *Nota Técnico-Jurídica: Contratação de Catadores.* Campo Grande, 2025.

MONTEIRO, A. A. **Economia circular: uma alternativa ao modelo econômico linear baseado na extração, uso e descarte de recursos.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018. 35 p.

MOORE, J. F. **Predators and Prey: A New Ecology of Competition.** Harvard Business Review, v. 71, n. 3, p. 75-86, 1993.

MOORE, J. F. **The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems.** New York: HarperBusiness, 1996.

NOGUEIRA, L.I. A.; MARTINS, I. C.; MIRANDA, G. R. S. **A gestão de resíduos sólidos urbanos e o desenvolvimento sustentável: uma revisão.** *Environmental Scientiae*, v.2, n.1, p.48-57, 2020.

NOGUEIRA, S. C. et al. **Certificações ambientais e desempenho organizacional: uma análise comparativa.** *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 9, n. 2, p. 115–130, 2020.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>. Acesso em 10 de out. de 2024.

UN WSS, (United Nations Web Services Section). (2017). Sustainable Development Goals. Disponível em <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acesso em 11 de out. de 2024.

SACHS, I. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2004

SANTAELLA, S. T. **Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira.** Fortaleza: UFC / Labomar / Nave, 2014.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **Um discurso sobre as ciências.** Edições Afrontamento. Porto, 1988.

SILVA, Rogério Proença da; DINIZ, Priscila Maria de Araújo. Governança ambiental, resíduos sólidos e inclusão produtiva de catadores: a articulação entre políticas públicas e atores locais. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 53, p. 199–218, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/70298>. Acesso em: 16 jul. 2025.

SEURING, S.; MÜLLER, M. **From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management**. Journal of Cleaner Production, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>.

SILVA, Cleiton Luiz Loyola da. **Gerenciamento de resíduos e sua importância para o sistema de gestão ambiental**. Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. Nº 2, volume 2, artigo nº 18, julho/dezembro 2016.

SILVEIRA, J. H. P. **Sustentabilidade e Responsabilidade Social**. Belo Horizonte - MG: Poisson, 2017.

SILVEIRA, M. A. **Sustentabilidade empresarial e criação de valor: análise do índice de sustentabilidade empresarial (ISE) da BM&FBOVESPA**. São Paulo: Atlas, 2017.

SIRVINSKAS, Luis Paulo. **Manual de Direito Ambiental**. 9 ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

SUPINO, S.; MALANDRINO, O.; TESTA, M; SICA, D. **Sustainability in the EU cement industry: The Italian and German experiences**. Journal of Cleaner Production, 112, 430–442, 2016.

PACTO GLOBAL REDE BRASIL (2023). ESG. Disponível em: Pacto Global. Acesso em 20 de maio de 2023.

PARMIGIANI, A; RIVERA-SANTOS. Sourcing for the base of the pyramid: Constructing supply chains to address voids in subsistence markets. Journal of Operations Management, v. 33-34, p. 60-70, 2015.

PORTO, M. F. S. **Governança ambiental, participação e riscos: desafios para a regulação democrática da sustentabilidade**. São Paulo: Cortez, 2019.

RAHMAN, A., RASUL, M. G., KHAN, M. M. K., & SHARMA, S. **Recent development on the uses of alternative fuels in cement manufacturing process**. Fuel, v. 145, p. 84–99, 2015.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SERRA, Tatiana Barreto. **Política de Resíduos Sólidos**, São Paulo: ed. Vertabim, 2015.

SEURING, Stefan; MÜLLER, Martin. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. Journal of Cleaner Production, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008.

SILVA, Maria Aparecida da. **A inclusão socioprodutiva de catadores de materiais recicláveis: entre a política pública e a justiça ambiental**. Revista Brasileira de Políticas Públicas, Brasília, v. 11, n. 1, p. 191–210, jan./jun. 2021.

SNIC - NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – SNIC. **Cimento no Brasil: sustentabilidade, inovação e competitividade**. Brasília, DF: SNIC, 2022. Disponível em:

<https://www.snic.org.br>. Acesso em: 19 abr. 2025.em: <https://www.snic.org.br>. Acesso em: 19 jun. 2024.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Coprocessamento e CDRU: panorama atual da indústria cimenteira brasileira**. Brasília, 2023. Disponível SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – SNIC. **Cimento no Brasil: sustentabilidade, inovação e competitividade**. Brasília, DF: SNIC, 2022. Disponível em: <https://www.snic.org.br>. Acesso em: 19 abr. 2025.em: <https://www.snic.org.br>. Acesso em: 10 abr. 2025.

UNGARETTI, Marcella. ESG de A a Z: **Tudo que você precisa saber sobre o tema**. Expert XP. (2020). Disponível: <https://conteudos.xpi.com.br/esg/esg-de-a-a-z-tudo-oque-voce-precisa-saber-sobre-o-tema/>. Acesso em 24 de maio de 2023.

UNIÃO EUROPEIA. *Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, relativa aos resíduos e que revoga determinadas diretivas*. Jornal Oficial da União Europeia, Bruxelas, L 312, p. 3–30, 2008. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex:32008L0098>. Acesso em: 18 abr. 2025.

VARGAS, E. V. Meio Ambiente como tema de política externa, Revista de Economia e Relações Internacionais, Fundação Armando Álvares Penteado, v.2, n.4, p. 118-135, 2004.

VEZZOLI, Carlo. **Design de Sistema para Sustentabilidade: teoria, métodos e ferramentas para o design sustentável de produtos e serviços**. São Paulo: Blucher, 2018.

WATTS, J. **Concrete: the most destructive material on Earth**. The Guardian, 25 fev. 2019. Guardian concrete week. Disponível em <https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/25/concrete-the-most-destructive-material-on-earth>. Acesso em 10 de julho de 2023.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Disponível em < <https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-SustainabilityInitiative/Cement-Sustainability-Initiative-CSI>>. Acesso em 23.mar.2024.

WCED. World Comission on Environment and Development. Our Commom Future. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.

ANEXO A

PROPOSTA DE PROJETO DE LEI

Este anexo apresenta uma proposta de Projeto de Lei que visa instituir a Política Nacional de Coprocessamento de Resíduos Sólidos Urbanos (PNCRSU), elaborada com base nas análises empíricas, legais e institucionais desenvolvidas ao longo da presente tese.

O texto normativo estrutura-se em oito títulos, com o objetivo de oferecer diretrizes jurídicas, instrumentos operacionais e mecanismos de governança voltados à consolidação do coprocessamento como política pública integrada à economia circular e ao desenvolvimento local sustentável.

PROPOSTA DE PROJETO DE LEI QUE INSTITUI A POLÍTICA NACIONAL DE COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (PNCRSU)

Esta Lei estabelece diretrizes para a implementação integrada da Política Nacional de Coprocessamento de Resíduos Sólidos Urbanos entre os entes federativos e a iniciativa privada, institui incentivos à sustentabilidade, assegura a valorização dos catadores de materiais recicláveis e define instrumentos jurídicos, econômicos, sociais e ambientais destinados à promoção do desenvolvimento local sustentável

TÍTULO I – DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

CAPÍTULO I – DOS FUNDAMENTOS E OBJETIVOS

Art. 1º Esta Lei institui a **Política Nacional de Coprocessamento de Resíduos Sólidos Urbanos (PNCRSU)**, com o objetivo de promover o uso sustentável, seguro e eficiente de resíduos como insumos energéticos ou materiais em processos industriais, notadamente na produção de clínquer.

Art. 2º São fundamentos desta Lei:

- I – A sustentabilidade ambiental, econômica e social;
- II – Os princípios da prevenção, precaução, responsabilidade compartilhada e do poluidor-pagador;
- III – A valorização do trabalho de catadores e cooperativas;
- IV – O cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030;
- V – A mitigação das mudanças climáticas e a promoção da economia circular.

Art. 3º Esta Lei tem por objetivos:

- I – Regular o coprocessamento no território nacional;
- II – Fomentar sua integração às políticas públicas de resíduos sólidos;
- III – Estabelecer mecanismos de controle ambiental e monitoramento técnico;
- IV – Promover a articulação entre União, Estados, Distrito Federal, Municípios e setor privado;
- V – Garantir segurança jurídica e promover inovação tecnológica no setor de gestão de resíduos.
- IV – O cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030

CAPÍTULO II – DAS DEFINIÇÕES

Art. 4º Para os fins desta Lei, considera-se:

- I – Coprocessamento: uso de resíduos como insumo energético ou material em processos industriais licenciados;
- II – Resíduo Sólido Urbano (RSU): os definidos pela Lei nº 12.305/2010;
- III – CDRU: Combustível Derivado de Resíduos Urbanos;
- IV – MTD: Melhores Técnicas Disponíveis;
- V – Logística Reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social baseado na PNRS.

Art. 5º A prática de coprocessamento deverá ser compatibilizada com os princípios da hierarquia da gestão de resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada.

Art. 6º O coprocessamento de resíduos sólidos urbanos deverá contribuir para as metas nacionais de descarbonização, em especial para a neutralidade climática até 2050, conforme a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), o Acordo de Paris (Decreto nº 9.073/2017) e o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (Lei nº 15.042/2024).

TÍTULO II – DO MARCO LEGAL DO COPROCESSAMENTO

CAPÍTULO III – DA REGULAÇÃO GERAL

Art. 7º O coprocessamento deverá observar as normas ambientais vigentes e as diretrizes técnicas da ABNT e CONAMA.

Art. 8º É obrigatória a realização de triagem, segregação e caracterização dos resíduos antes de seu uso como CDRU.

Art. 9º O licenciamento ambiental de unidades cimenteiras com coprocessamento terá rito próprio, conforme regulamento.

Art. 10º Será vedado o uso de resíduos perigosos não classificados ou não autorizados pelo órgão ambiental competente.

CAPÍTULO IV – DAS COMPETÊNCIAS

Art. 11 Compete à União:

- I – Editar normas gerais sobre coprocessamento;
- II – Fomentar linhas de financiamento e incentivos fiscais;
- III – Coordenar o Plano Nacional de Coprocessamento Sustentável (PNCop).

Art. 12 Compete aos Estados e ao Distrito Federal:

- I – Regular o licenciamento ambiental;
- II – Integrar os planos estaduais à PNCRSU.

Art. 13 Compete aos Municípios:

- I – Organizar coleta seletiva e triagem;
- II – Incentivar consórcios públicos intermunicipais;
- III – Celebrar convênios com empresas e cooperativas.

TÍTULO III – DOS CATADORES E COOPERATIVAS

Art. 14 Os Municípios deverão priorizar a contratação de cooperativas nas etapas de triagem e destinação de resíduos.

Art. 15 Os catadores terão direito a:

- I – Infraestrutura mínima (galpões, EPIs, transporte);
- II – Capacitação técnica;
- III – Remuneração justa pela contribuição ambiental prestada, assegurado, nos contratos firmados com entes públicos ou financiados com recursos públicos, o pagamento mínimo equivalente a um salário mínimo vigente por jornada integral de trabalho;
- IV – Reconhecimento formal como agentes ambientais e de desenvolvimento local;
- V – Inclusão em programas de segurança social, saúde e previdência.

Art. 16 Será criado o Programa Nacional de Apoio às Cooperativas de Catadores (PRONACC), com recursos do Fundo Nacional de Coprocessamento Sustentável.

Art. 17 Os Estados e Municípios deverão criar linhas de financiamento específicas para fortalecer as organizações de catadores e fomentar sua inserção nos arranjos produtivos locais.

Art. 18 A contribuição ambiental dos catadores poderá ser reconhecida por meio da emissão de créditos de carbono sociais, correspondentes à redução de emissões de gases de efeito estufa decorrente da não disposição de resíduos em aterros, devendo tais créditos ser operacionalizados em parceria entre cooperativas, municípios e órgãos ambientais competentes.

TÍTULO IV – DAS EMPRESAS E OPERADORES INDUSTRIAIS

Art. 19 As cimenteiras e operadores de resíduos deverão:

- I – Apresentar plano de gestão ambiental do coprocessamento;
- II – Manter controle e rastreabilidade dos resíduos utilizados;
- III – Reportar emissões de GEE conforme a Lei nº 15.042/2024.

Art. 20 Serão concedidos incentivos às empresas que:

- I – Implementarem MTD;
- II – Firmarem parcerias com cooperativas;
- III – Contribuírem com metas de redução de carbono.
- IV – Implementarem relatórios anuais de sustentabilidade nos moldes ESG, assegurando transparência das emissões, dos resíduos processados e das parcerias estabelecidas com catadores.
- V – Obterem certificações ambientais ou de carbono neutro, reconhecidas nacional ou internacionalmente.
- VI – Participarem de programas de compensação climática por meio de créditos de carbono e logística reversa.

Art. 21 Os Municípios poderão instituir programas de certificação ambiental para reconhecer empresas com desempenho destacado na gestão de resíduos.

TÍTULO V – DA GESTÃO PÚBLICA E PARTICIPAÇÃO SOCIAL

Art. 22 Fica instituído o Comitê Nacional de Coprocessamento Sustentável (CNCS), com composição paritária entre governo, empresas e sociedade civil.

Art. 23 Os entes federativos deverão instituir conselhos de acompanhamento com ampla participação social.

Art. 24 Será promovido o acesso à informação pública sobre processos de coprocessamento, inclusive dados de emissões e cumprimento de metas.

Art. 25 O Comitê Nacional de Coprocessamento Sustentável instituirá indicadores nacionais de desempenho alinhados às práticas ESG, devendo os relatórios anuais das empresas contemplar dados ambientais, sociais e de governança.

TÍTULO VI – DO FINANCIAMENTO

CAPÍTULO VI – DA TRANSPARÊNCIA, DO CONTROLE E DO MONITORAMENTO

Art. 26 Os operadores industriais que realizarem coprocessamento deverão disponibilizar relatórios trimestrais com indicadores de desempenho ambiental, social e econômico, incluindo

dados sobre emissões atmosféricas, resíduos processados, parcerias com cooperativas e cumprimento de metas ambientais.

Art. 27 O Ministério do Meio Ambiente, em articulação com o Comitê Nacional de Coprocessamento Sustentável, deverá publicar anualmente o Relatório Nacional de Coprocessamento Sustentável, com dados agregados por região e setor.

Art. 28 A participação da sociedade civil nos processos de licenciamento, monitoramento e fiscalização será garantida por meio de audiências públicas, consultas eletrônicas e assentos nos conselhos locais e estaduais de meio ambiente.

Art. 29 Os entes federativos deverão implementar sistemas integrados de monitoramento remoto das unidades de coprocessamento, utilizando tecnologias de rastreamento e inteligência ambiental.

Art. 30 A omissão ou falsificação de dados ambientais, técnicos ou sociais nos relatórios exigidos por esta Lei constituirá infração grave, sujeita a sanções administrativas, civis e penais.

Art. 31 O acesso à informação sobre os impactos ambientais e sociais do coprocessamento será assegurado nos termos da Lei nº 12.527/2011 (Lei de Acesso à Informação), com ênfase na transparência ativa e na proteção de dados sensíveis.

Art. 32 O Comitê Nacional de Coprocessamento Sustentável poderá celebrar termos de cooperação técnica com universidades, institutos de pesquisa e organizações da sociedade civil para apoiar o monitoramento independente das atividades reguladas por esta Lei.

TÍTULO VI – DO FINANCIAMENTO

Art. 33 Fica criado o Fundo Nacional de Coprocessamento Sustentável (FNCop), com recursos oriundos de:

- I – Transferências da União;
- II – Contribuições voluntárias;
- III – Taxas ambientais e compensações;
- IV – Créditos de Carbono.

Art. 34 O FNCop apoiará:

- I – Infraestrutura de triagem e logística reversa;
- II – Capacitação técnica de cooperativas;
- III – Projetos de inovação tecnológica.

Art. 35 O aproveitamento de resíduos como Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU) poderá ser considerado para a geração de créditos de logística reversa, conforme regulamentação do órgão ambiental competente, devendo tais créditos ser reconhecidos como instrumento econômico válido de cumprimento de metas ambientais.

TÍTULO VII – DAS SANÇÕES E PENALIDADES

Art. 36 Constitui infração:

- I – Uso de resíduos perigosos sem autorização;
- II – Queima de resíduos sem triagem;
- III – Ausência de controle de emissões.

Art. 37 As sanções incluirão:

- I – Advertência;
- II – Multa;
- III – Suspensão do licenciamento;
- IV – Proibição de operar.

TÍTULO VIII – DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 38 Esta Lei será regulamentada no prazo de 180 (cento e oitenta) dias.

Art. 39 Revogam-se as disposições em contrário.

Art. 40 Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

ANEXO B
MATRIZ DE RESPONSABILIDADES INSTITUCIONAIS NA POLÍTICA
NACIONAL DE COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS – PNCRSU

ATOR	RESPONSABILIDADES
União	Normas gerais, financiamento, coordenação nacional
Estados	Licenciamento ambiental, integração aos planos estaduais
Municípios	Coleta seletiva, convênios, contratação de cooperativas
Empresas	Plano de gestão, rastreabilidade, controle de emissões
Catadores	Triagem, separação, classificação, articulação com cooperativas

ANEXO C

REGISTRO FOTOGRÁFICO DAS VISITAS TÉCNICAS

Fotos – Área de triagem de resíduos no pátio da Unidade de Triagem de Resíduos (UTR) - SOLURB em Campo Grande/MS, durante atividade de separação e pesagem realizada.

Fonte: Arquivo pessoal da autora. Foto tirada em 2024.





Fotos 2 – Instalações da empresa Ecosupply, responsáveis pela trituração dos resíduos sólidos coletados para posterior envio ao processo de coprocessamento.

Fonte: Arquivo pessoal da autora. Foto tirada em 2024





Fotos 3 – Registro fotográfico da fábrica da Intercement em Bodoquena/MS, onde ocorre o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos em fornos rotativos de produção de clínquer.

Fonte: Arquivo pessoal da autora. Foto tirada em 2024.









