

## IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS À SAÚDE HUMANA E AO MEIO AMBIENTE NO PROCESSO DE BLENDAGEM DE RESÍDUOS PARA COPROCESSAMENTO

**David Barreto de Aguiar**

[david.aguiar@ifrj.edu.br](mailto:david.aguiar@ifrj.edu.br)

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**Ubirajara Aluizio Oliveira Mattos**

[ubirajaraaluizio@yahoo.com.br](mailto:ubirajaraaluizio@yahoo.com.br)

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**Victor Paulo Peçanha Esteves**

[victoresteves@poli.ufrj.br](mailto:victoresteves@poli.ufrj.br)

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

### RESUMO

A blendagem é uma atividade destinada ao tratamento e preparação dos resíduos em forma de *blends* que são destinados ao coprocessamento em indústrias de cimento. O objetivo deste estudo foi identificar os impactos gerados nas diversas etapas de blendagem. Através Avaliação do Ciclo de Vida, estimaram-se os impactos num perfil de produção média de 30.650 t/ano de *blends*. A abordagem da fronteira de sistema foi a do “portão ao portão” e a unidade funcional 1 t de *blends*. As metodologias de avaliação do impacto empregadas foram ReCiPe e Impact 2002+. Os resultados apontam que, pelo método ReCiPe, a Toxicidade Humana foi responsável por 53% do impacto total, ocasionada pela emissão de metais como selênio, manganês, arsênico e bário. Pelo método Impact 2002+, Inaláveis Inorgânicos obtiveram o maior impacto total (51,8%) ocasionado principalmente pelos óxidos de nitrogênio. Conclui-se que a blendagem tem maior impacto à saúde humana, principalmente à saúde dos trabalhadores, que sofrem com a maior exposição. Recomenda-se a reavaliação da atividade pelos órgãos de controle ambiental e do trabalho, priorizando estudos de automação dos processos, estudos epidemiológicos, e a continuidade da investigação dos impactos da queima dos *blends* nos fornos de clínquer em abordagem do “berço ao portão”.

**Palavras-chave:** Resíduos perigosos; Toxicidade; Substâncias tóxicas; Impactos na saúde; Impactos ambientais.

## 1. INTRODUÇÃO

A técnica do coprocessamento tem sido empregada mundialmente com a finalidade de reduzir o consumo de combustíveis fósseis e matérias-primas na fabricação de cimento. Trata-se da utilização de rejeitos de atividades industriais – por exemplo, pneus, e até mesmo resíduos sólidos urbanos – como combustíveis alternativos e matérias-primas (Lamas *et al.*, 2013, p. 201).

A redução do uso de combustíveis de fontes não-renováveis em decorrência do uso de resíduos alternativos tem proporcionado benefícios ambientais à indústria do cimento, como a redução das emissões de gases do efeito estufa e a maximização energética (Georgiopoulou e Lyberatos, 2018, p. 224).

As oportunidades de aproveitamento de resíduos urbanos e industriais na fabricação de cimento devem ser objetivamente avaliadas (Güereca e Juárez-López, 2015, p. 741). Para que sejam aproveitados como combustíveis e matérias-primas para produção de clínquer, é necessária a etapa de pré-tratamento desses resíduos antes de serem queimados.

Tukker (1999, p. 341) utilizou a avaliação do ciclo de vida (ACV) para comparar formas distintas da coincineração de resíduos na produção de cimento e apresentou duas preocupações: (i) a entrada de resíduos contaminados pode levar a altas concentrações de metais no cimento e (ii) a não existência de comprovação de que os fornos de cimento não geram emissões adicionais de dioxinas. Portanto, as conclusões desse estudo recomendaram a exigência do princípio da precaução, quando se utilizam resíduos de composições diferentes em substituição ao combustível tradicional.

Al-Dadi *et al.* (2014, p. 1103) investigaram o impacto ambiental em algumas fábricas de cimento na Arábia Saudita e constataram impacto radiológico em decorrência das concentrações dos isótopos de urânio encontrados em amostras de solo.

Huang *et al.* (2012, p. 13031) alertaram para emissões excessivas de metais pesados na China, devido à utilização descontrolada do coprocessamento de resíduos nos fornos. No Japão, tal problema é reduzido, graças a um amadurecido sistema de classificação e gerenciamento de resíduos (Li *et al.*, 2015, p. 123).

A literatura sobre o assunto tem constatado diferenças dos processos de pré-tratamento entre os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento. Na maioria dos casos europeus, os riscos no preparo dos resíduos para o coprocessamento são minimizados através da automação dos processos (Milanez *et al.*, 2009, p. 2146).

Stafford *et al.* (2016, p. 1293) realizaram um estudo de caso sobre os impactos na produção de cimento de uma planta brasileira, e afirmaram que ainda são poucos os estudos científicos desenvolvidos sobre os impactos ao meio ambiente e à saúde humana do coprocessamento na indústria do cimento.

No Brasil, muitas das atividades de preparo dos resíduos no coprocessamento ainda são realizadas com auxílio do trabalho manual de funcionários (Milanez *et al.*, 2009, p. 2146). Essa atividade é conhecida por blendagem, em que a finalidade é retirar a umidade dos resíduos e dar fluidez ao material quando adicionado ao forno de clínquer (Rocha *et al.*, 2011, p. 3).

Na blendagem, os resíduos são misturados de forma a adquirir propriedades semelhantes aos combustíveis normalmente usados, para atender à legislação; uma delas é o teor calorífero. Esse coquetel de resíduos, na forma sólida ou líquida, é chamado genericamente de *blend*, e serve como combustível alternativo em substituição a combustíveis tradicionais – como o coque de petróleo – ou às matérias-primas e aditivos – gesso, óxido de ferro, óxido de alumínio – utilizados na produção de cimento (Resolução CONAMA nº 499, 2020, p. 50).

O número de plantas de blendagem no Brasil atualmente é de dezenove, sendo que 47% estão situadas na Região Sudeste (Santos, 2020, p. 87), cabendo ressaltar que, além do atendimento ao setor cimenteiro, a atividade de blendagem dá suporte direto aos diversos ramos da indústria e do comércio, que encontram nessa atividade um fluxo contínuo para tratamento e destinação final de seus resíduos perigosos ou não perigosos que sofreram contaminação.

Pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE, a blendagem engloba dois códigos: 38.22-0-00 – Tratamento e disposição de resíduos perigosos e 38.22-1-00 – Tratamento e disposição de resíduos não-perigosos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2019). A classificação de Risco pela Norma Regulamentadora 4 da Secretaria de Trabalho do Ministério da Economia (NR-4) atribui o grau de risco 3 para ambos os códigos (Portaria nº 3214, 1978, p. 10423). De acordo com o *Manual de Classificação de Atividades Poluidoras MN-050.R-5* do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (CO-NEMA-RJ, 2011, p. 58), a atividade de blendagem possui o potencial poluidor classificado como médio.

Nessa atividade, os trabalhadores atuam em condições precárias de segurança, ao realizar o manejo dos resíduos perigosos, deixando-os expostos às múltiplas substâncias tóxicas, inalação de gases e vapores com forte odor desagradável, além do contato direto com líquidos, óleos e produtos químicos – como tintas e solventes, óleos refrigerantes e de

motor. Muitos desses riscos são acrescidos pela existência de tambores e embalagens rompidas e sem a devida identificação (Milanez et al., 2009, p. 2148).

Dentre os compostos tóxicos presentes nas borras de tintas, destacam-se os solventes orgânicos, que apresentam alta inflamabilidade, toxicidade e forte odor. As principais substâncias que representam esse grupo são: benzeno, tolueno, xileno e ciclohexano (compostos orgânicos voláteis – COV). A maioria dos COV são depressores do sistema nervoso central, irritam olhos, pele e vias respiratórias, além de provocar náuseas e reações alérgicas (Milan, 2017, p. 68).

A queima indiscriminada de óleo lubrificante usado sem tratamento prévio de desmetalização gera emissões significativas de óxidos metálicos, além de outros gases tóxicos, como a dioxina e óxidos de enxofre (Milan, 2017, p. 63).

Junior e Braga (2009, p. 2010) constataram um processo de adoecimento entre os trabalhadores de fábricas de cimento que manipulavam os resíduos antes de serem coinerados nos fornos de cimento. Destacam sintomas como: desconforto ao odor desagradável, cefaleia, enjoos, ardência ocular, problemas respiratórios, contaminação cutânea, prurido, vertigens e até desmaio.

A toxicidade está relacionada a características inerentes à substância – nesse caso, ao resíduo –, sob a interferência do processo de trabalho, podendo resultar em maior ou menor impacto na saúde do trabalhador (Junior e Braga, 2009, p. 2010).

A alternativa encontrada foi a retirada das atividades de blendagem do interior das fábricas de cimento, transferindo-as para plantas específicas de homogeneização e mistura, que ficaram conhecidas no Brasil pelo nome de blendeiras. No entanto, as diversas irregularidades ainda continuavam a ser constatadas, com impactos importantes à saúde humana, afetando inclusive a população vizinha por conta dos odores desagradáveis exalados (Milanez et al., p. 2149).

Santos (2020, p. 116) estudou os agravos à saúde das populações vizinhas nas atividades de blendagem em Magé - RJ e constatou queixas sobre cheiros desagradáveis na maioria dos pesquisados, além de incômodos, como frequentes dores de cabeça (22,8%), irritação nos olhos (18,2%) e pigarro (18,2%). Em todas as faixas etárias, os sintomas mais recorrentes são tosse ao acordar e tosse durante o dia e a noite, principalmente nas crianças entrevistadas (71, 4%) e nos idosos (50%).

Assim, este artigo buscou fechar essa lacuna, avaliando com mais detalhes a causa e os potenciais impactos à saúde

de e ao meio ambiente das etapas de blendagem, incluindo o conhecimento sobre quais resíduos são utilizados, o seu potencial tóxico, e a identificação dos aspectos ambientais mais significativos ligados ao conjunto de processos característicos dessa atividade.

## 2. MÉTODOS

Rocha *et al.* (2011, p. 6) mencionam que o coprocessamento é um campo amplo de investigação para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e recomendam que cada tipo de resíduo coprocessado deva ser objeto de estudo, uma vez que suas características físicas e químicas podem alterar os resultados.

O método da ACV tem como principais referências as normas técnicas NBR ISO 14040 (2006) e 14044 (2006), que buscam avaliar os impactos ambientais de um produto ou serviço desde o seu surgimento até o descarte final (do berço ao túmulo). Essa técnica compreende quatro etapas: definição de objetivo e escopo; análise de inventário do ciclo de vida; avaliação de impacto; e interpretação.

### Definição de objetivo e escopo

São estabelecidos os objetivos do estudo e sua abrangência (fronteiras de sistema), os métodos de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e a unidade funcional conforme a conveniência (Spiro e Stigliani, 2009, p. 326).

### Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)

Quantificam-se as entradas, utilizando balanços de massa, energia e saídas; emissões liberadas para o ar, solo e água em todas as etapas de processo incluídas nas fronteiras de sistema (Spiro e Stigliani, 2009, p. 326).

### Avaliação do impacto

Análise quantitativa e/ou qualitativa usada para identificar, caracterizar e avaliar os potenciais impactos de intervenções identificadas na análise do ICV (Spiro e Stigliani, 2009, p. 326).

### Interpretação

Verificação dos resultados em relação ao escopo. Nessa fase, é comumente avaliada a contribuição dos processos e dos fluxos elementares no resultado (Ugaya, 2013, p. 290).

### 3. OBJETIVO E ESCOPO

O objetivo deste estudo foi identificar os impactos gerados nas etapas de blendagem. Os impactos foram analisados nas catorze etapas identificadas. A unidade funcional escolhida foi uma tonelada de *blend* produzido, ou seja, o produto da blendagem.

Para fins de delimitação da fronteira de sistema, considerou-se apenas o preparo dos *blends* em suas diversas etapas, isto é, uma abordagem do “portão ao portão” (*gate-to-gate*). Este estudo não computou o impacto dos transportes desses resíduos até a blendeira, nem o consumo do *blend* nos fornos de clínquer das fábricas de cimento.

Foram escolhidos dois métodos de avaliação do impacto do ciclo de vida, o ReCiPe *Midpoint* (E) v1.04 *World* ReCiPe E e o Impact 2002+ v2.06. Na primeira metodologia, foram consideradas todas as categorias, visando uma análise abrangente. Já no segundo método foram escolhidas quatro categorias ligadas à saúde humana, com vistas a um maior aprofundamento sobre as principais substâncias indicadoras e seus possíveis efeitos adversos.

#### Inventário do ciclo de vida

O ICV foi construído inicialmente no Portal Nacional do Licenciamento Ambiental do Ministério do Meio Ambiente com a busca de empreendimentos que realizassem a atividade de blendagem fora do espaço físico das cimenteiras. Para isso, foi digitada a expressão “blendagem de resíduos” no campo destinado à busca da atividade econômica. Foram escolhidas duas empresas de blendagem situadas na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro que fornecem *blends* para o polo cimenteiro situado no município de Cantagalo - RJ (Ministério do Meio Ambiente [MMA], 2019).

A partir daí, já no portal do órgão estadual de meio ambiente, que licenciou essas referidas plantas, de posse dos números de processos administrativos, foram acessados diversos documentos, como autorizações para movimentações e tratamento de resíduos perigosos, relatórios de vistorias, pareceres para emissão de licenças, relatórios de áreas contaminadas e auditorias ambientais (Instituto Estadual do Ambiente [INEA], 2019).

Todos os dados de entradas e saídas são correspondentes aos registros de seis anos (2010 a 2015) de operação em ambas as plantas. Os dados foram registrados em planilhas e transformados num único perfil médio de produção de 30650 t/ano para análise neste estudo.

O levantamento registrou como principal entrada a recepção de resíduos classe I e II, oriundos de sessenta e uma

atividades de indústria e comércio brasileiros, sendo que 90% são gerados no estado de São Paulo. Os percentuais de contribuição desses setores são os seguintes: portuário (45,94%), óleo e gás (20,48%), gerenciamento de resíduos e reciclagem (11,13%), energia elétrica (5,82%), indústria química em geral (3,47%), lubrificante (3,11%), tintas e vernizes (2,80%), automotivo (2,11%), aviação (1,31%) e outras atividades menores que 1% (3,84%).

Os resíduos chegam às blendeiras de diversas formas: a granel em caminhões basculantes, ou acondicionados em tambores, bombonas, contêineres, *big bags* e embalagens diversas. Registrou-se o recebimento total de cento e setenta e cinco tipos de resíduos para serem tratados; desses, 72,58% apresentam-se no estado sólido e/ou semissólido, e 27,42% no estado líquido.

Os percentuais distintos dos resíduos utilizados na produção dos *blends* sólidos são os seguintes: solo contaminado (39,83%), borra oleosa (16,35%), graxas (8,89%), resíduos químicos e reagentes diversos (6,59%), areia contaminada (4,08%), borra de tintas – base de água (2,96%), base solvente (2,29%), lodo de ETE (2%), resinas (1,94%), brita contaminada (1,87%), demais resíduos menores que 1% (11,59%).

Já os resíduos líquidos apresentaram a seguinte distribuição percentual: lubrificantes (39,43%), solventes (23,54%), etanol (9,98%), sulfonato de alquibenzeno (5,33%), álcoois etoxilados (5,25%), sulfato de ferro (4,25%), diesel (2,69%), ácido fosfórico (2,04%), formaldeído (1,61%), ácido graxo (1,32%), óleos (1,32%), água oleosa (1,01%), demais resíduos líquidos menores que 1% (5,23%). Foram computados também agentes estruturantes e químicos como maravalha (serragem) e cal virgem, respectivamente, que são misturados aos resíduos na blendagem (INEA, 2019).

As principais entradas de água doce são oriundas de poços subterrâneos e o consumo é registrado a partir de registros de concessão de outorga de água pelo órgão estadual de meio ambiente. O recurso é utilizado principalmente na lavagem de tambores e peças metálicas que chegam contaminadas, e seus efluentes são captados para a linha de *blends* líquidos. As peças metálicas limpas são encaminhadas às recicladoras.

Todas as saídas foram detalhadas nos diversos processos de blendagem pelas médias: de emissões atmosféricas medidas nos filtros de ar; de emissões de efluentes sanitários e industriais para a água; de emissões de metais para o solo e a água subterrânea; além da geração de rejeitos encaminhados para outras formas de tratamento e destinação final (INEA, 2019).

A Tabela 1 apresenta o ICV com as principais substâncias:

Tabela 1. ICV para 1 t de *blend* produzido

Fluxo	Comp.	Substância	Unidade	Valor	
Entradas	Matéria-prima	Água	m <sup>3</sup>	7,60E-01	
		Carvão mineral	t	2,50E+00	
		Cobre	kg	6,23E+00	
		Cromo	kg	5,50E-01	
		Ferro	kg	9,43E+02	
		Gás natural	m <sup>3</sup>	3,00E+01	
		Níquel	g	1,12E+02	
		Ocupação arável, não irrigada	m <sup>2</sup> a	8,11E+02	
		Ocupação, área industrial construída	m <sup>2</sup> a	9,98E+00	
		Ocupação, canteiro de obras	m <sup>2</sup> a	1,52E+01	
		Ocupação, colheita permanente, intensiva	m <sup>2</sup> a	5,46E+02	
		Ocupação, floresta, intensiva ciclo curto	m <sup>2</sup> a	2,83E+02	
		Ocupação, local de extração mineral	m <sup>2</sup> a	9,19E+00	
		Óleo cru	t	1,81E+00	
		Transformação da floresta	m <sup>2</sup>	1,15E+00	
		Transformação da floresta tropical	m <sup>2</sup>	1,03E+01	
		Transformação da floresta, extensiva	m <sup>2</sup>	9,90E+00	
		Transformação da floresta, int., supressão	m <sup>2</sup>	1,03E+03	
		Transformação da floresta, int., ciclo curto	m <sup>2</sup>	1,08E+01	
		Transformação da floresta, intensiva	m <sup>2</sup>	1,03E+01	
Saídas	Ar	Dióxido de Carbono, fóssil	kg	1,20E+04	
		Metano	kg	7,90E+01	
		Diclorodifluorometano, CFC- 12	g	3,44E+01	
		Hidrocarbonetos clorados	g	1,51E+02	
		Selênio	mg	8,91E+02	
		Óxidos de Nitrogênio	kg	5,40E+01	
		Monóxido de Carbono, biogênico	kg	7,14E+00	
		COVNM	kg	1,09E+01	
		Dióxido de Nitrogênio	g	5,11E+03	
		Dióxido de Enxofre	kg	5,55E+01	
		Particulados, < 2.5 um	kg	5,38E+00	
		Particulados, > 2.5 um, e < 10 um	kg	5,78E+00	
		Radônio-222	kBq	1,23E+06	
		Carbono- 14	Bq	6,02E+04	
		Amônia	kg	6,83E+00	
	Água	Manganês	kg	4,10E+00	
		Arsênio, íon	g	5,34E+01	
		Bário	g	4,75E+02	
		Fosfato	kg	1,55E+01	
		Nitrato	kg	3,35E+01	
		Fósforo	g	2,56E+02	
		Manganês	kg	4,13E+00	
		Vanádio, íon	g	1,18E+02	
		Zinco, íon	g	1,25E+03	
		Berílio	g	7,88E+00	
		Selênio	g	2,25E+01	
		Cobalto	g	1,76E+02	
		Níquel, íon	g	6,40E+02	
		Solo	Cipermetrina	mg	2,52E+03
			Fósforo	g	1,07E+01
Atrazina	g		2,28E+01		
Cobre	mg		-1,84E+03		

Fonte: Aguiar *et al.* (2020)

### Avaliação do impacto do ciclo de vida

Em ambos os métodos, primeiramente realizou-se a caracterização, ou seja, a contribuição de cada impacto. Para isso, são usados fatores de equivalência em cada matéria-prima ou emissão – por exemplo, para toxicidade humana é utilizado um valor para a substância emitida que é correspondente à unidade de referência kg 1,4 DB eq (diclorobenzeno equivalente).

A normalização, por sua vez, consiste em avaliar os resultados da caracterização em relação a uma referência, que significa o quanto um cidadão no mundo foi responsável por uma dada categoria de impacto em um determinado ano. Como foi utilizada também a base de dados do *SimaPro Data Server* (2006) com *ecoinvent*, resultando em muitas entradas no inventário, foi feito um corte mássico de 95%, ou seja, as substâncias que contribuíram menos de 5% para o impacto em análise foram desconsideradas. Essa aplicação ocorreu tanto na caracterização quanto na normalização. Foi utilizado o software *SimaPro v.7.2* (2010) para o procedimento das análises.

A metodologia ReCiPe *hierarchist v.1.04* resume-se numa continuação dos métodos *Eco-indicator 99'* e CML 2000 (Mendes *et al.*, 2016, p. 163). Neste estudo, serão analisados apenas os impactos de ponto médio, com vistas à redução das incertezas.

Foram estudadas todas as categorias de impacto do ciclo de vida: Mudanças Climáticas (MC), Depleção da Camada de Ozônio (DO), Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF), Formação de Material Particulado (FMP), Acidificação Terrestre (AT), Radiação Ionizante (RI), Ocupação de Terra Agrícola (OTA), Ocupação da Terra Urbana (OTU), Transformação Natural da Terra (TNT), Eutrofização da Água Doce (EA), Eutrofização Marinha (EM), Depleção de Metais (DM), Depleção de Fósseis (DF), Toxicidade Humana (TH), Ecotoxicidade Terrestre, da Água Doce e Marinha (ET, ETA e ETM, respectivamente).

Nota-se que, dentre as dezessete categorias de impacto, quatro delas estão diretamente ligadas à toxicidade, referentes uma à toxicidade humana e três à toxicidade aos ecossistemas. Outro fator importante é que essas categorias também podem ser entendidas pela sua escala de efeitos: global (ex. clima), regional (ex. ecossistemas/recursos) ou local (ex. saúde).

O Impact 2002+ é um método suíço, combinado quanto ao nível de avaliação do impacto (ponto médio e ponto final) (Mendes *et al.*, 2016, p. 165). As categorias selecionadas foram duas relacionadas à toxicidade humana: carcinogênicos (CRC) e não carcinogênicos (NCR), e duas a efeitos respiratórios: inaláveis inorgânicos (II) e inaláveis orgânicos (IO), a fim de obter um maior aprofundamento quanto aos possíveis efeitos da atividade na saúde humana.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Descrição das etapas de blendagem

Abaixo são descritas as etapas do processo de blendagem dos resíduos, bem como são indicados os principais aspectos



ambientais observados. O processo segue por duas linhas de produção: *blends* sólidos e *blends* líquidos (Quadro 1).

Cabe ressaltar que as supracitadas linhas de produção comunicam-se pelo aproveitamento de resíduos e emissões líquidas que surgem de seus respectivos processos (Figura 1).

### Avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida

#### Caracterização

Os resultados da caracterização apontam a toxicidade humana (TH) como principal impacto dos processos de blendagem, totalizando 1,37E+05 kg 1,4-DB eq (Tabela 3). A água

**Quadro 1.** Descrição das etapas do processo para produção dos *blends*

Linha Sól./Liq.	Etapas/Sigla	Descrição	Aspecto Ambiental
S	Desenvase ou Desentamboramento (DSV)	Chegada e abertura dos recipientes com resíduos embalados. Cortes superiores em contêineres são feitos por trabalhadores (auxiliares operacionais). Resíduos a granel não passam por esta etapa.	Liberação de odores e agentes voláteis
S	Picagem, trituração e moagem (PTM)	Inspeção visual, triagem manual em esteira plana por trabalhadores e análises físico-químicas dos resíduos sólidos, que necessitam de um pré-tratamento mediante picagem, trituração ou moagem, a fim de reduzir sua granulometria, em atendimento às especificações de qualidade das fábricas de cimento.	Emissões de material particulado
S	Estruturação (EST)	Impregnação da mistura com maravalha, serragem ou materiais picados. Ocorre retirada de umidade do material. Os resíduos sólidos adquirem fluidez, permitindo a transportabilidade, a maneabilidade, a homogeneidade e a uniformidade nas linhas de injeção de combustível nos fornos de cimento.	Emissões gasosas, liberação de odores, agentes voláteis e chorume.
S	Mistura e descanso (MSD)	Os resíduos são enviados a baías com o uso de pá carregadeira, para viragem e organização do material em pilhas. Ocorre a drenagem residual das frações líquidas, as quais são captadas por canaletas e enviadas à linha de blends líquidos	Emissões gasosas, emissões líquidas, liberação de odores e agentes voláteis
S	Inertização (INZ)	Promove a estabilização da mistura, diminuição da sua umidade e correção do pH pelo uso de aditivo inertizante, ex.: cal virgem. Proporciona o aumento da temperatura na reação, fazendo a água evaporar. A mistura é feita com o auxílio de pá carregadeira. Após a mistura, o blend é acondicionado em pilhas para a continuidade da reação	Geração de emissões gasosas, particulados em suspensão (pós), liberação de odores e agentes voláteis
S	Peneiramento (PNT)	Separação granulométrica em tamanhos distintos, utilizando peneiras com malha de 10 mm e 50 mm. Pode ocorrer peneiramento de solo contaminado com malha de 100 mm. Separa o material granulado seco e fluido com vistas à boa operacionalidade, sem gerar intensos entupimentos na malha do equipamento. Em seguida, os blends são armazenados em pilhas nas baías de armazenamento de produto acabado	Geração de materiais particulados, liberação de odores intensos (hidrocarbonetos leves e aromáticos presentes nos resíduos). A intensidade varia em função da composição do blend e das condições climáticas. Esta etapa é percebida como uma das mais significativas em termos de emissão de odores
S	Carregamento (CRG)	A expedição de blends é feita por caminhões basculantes. O carregamento é feito com o auxílio da pá carregadeira	Liberação de odores
L	Recebimento de resíduos líquidos (RCL)	Desenvase dos resíduos líquidos com auxílio de uma empilhadeira de lanças. Trabalhadores auxiliam operacionalmente na abertura de tampas e aros de bombonas, tambores e contêineres. 10% desses resíduos apresentam borras no fundo; assim, são esvaziados e a parte sólida é destinada à linha de blends sólidos	Liberação de odores
L	Bombeamento (BOB)	Utilização de bombas pneumáticas para esvaziamento de embalagens com material para a caixa transitória de mistura, remetendo à filtração e destinando ao armazenamento em tanques de blend líquido não energético, blend líquido energético e efluente industrial. Envio de material acabado para caminhões-tanque no CRL, que serão destinados às cimenteiras ou às ETE. Direcionamento de emissões líquidas captadas nas linhas de blends à linha de blends líquidos.	Possíveis vazamentos para o solo, gasto de energia e/ou consumo de combustíveis.
L	Mistura Direta (MID)	Realizada em recipiente de 20m <sup>3</sup> ou caixa transitória, cujo objetivo é produzir um mix na faixa de poder calorífico entre 500 a 3.000 kcal/kg, e superior a 3.000 kcal/kg. São manuseados volumes de 15m <sup>3</sup> a granel e de 1m <sup>3</sup> para materiais de maior reatividade	Efeitos adversos da mistura entre líquidos reativos. Risco de incêndios
L	Filtração (FLT)	Consiste na remoção da carga orgânica do líquido, diminuindo a demanda química de oxigênio (DQO). Produz um efluente adequado à ETE de terceiros. O elemento filtrante é a maravalha	Geração de efluentes para tratamento externo
L	Armazenamento (ARM)	Alocação em tanques específicos para o blend líquido não energético, blend líquido energético e efluente industrial	Possíveis vazamentos dos tanques para o solo
L	Carregamento de blend líquido (CRL)	Abastecimento de caminhões-tanque com blends líquidos destinados às cimenteiras	Liberação de odores e vazamentos
S/L	Processos auxiliares (PAX)	Estacionamento de caminhões, oficinas, fornecimento de água e energia elétrica	Emissões de efluentes para o solo e água subterrânea

foi o compartimento ambiental que recebeu as principais cargas poluidoras.

A TH predominou na maioria das etapas, com exceção de RCL, PAX e CRL, e teve como principal impacto a ecotoxicidade de marinha (ETM), com  $4,31E+03$ ,  $1,70E+02$ ,  $4,71E+01$  e kg  $1,4DB$  eq. A principal substância responsável pela categoria ETM foi a emissão de níquel (Ni).

Constatou-se que as etapas com os maiores registros de toxicidade humana ocorreram na linha de produção dos *blends* sólidos. As etapas que mais se destacaram nessa categoria foram mistura e descanso (MSD) e inertização (INZ), com as maiores contribuições, sendo ambas de mesmo valor ( $2,64E+04$  kg  $1,4-DB$  eq.).

Os potenciais impactos da TH foram proporcionados principalmente pela emissão de substâncias à base de selênio (Se), bário (Ba), manganês (Mn) e arsênio (As). As demais substâncias impactaram individualmente em menos de 5%.

A Figura 2 destaca o selênio (Se) com uma maior emissão nas etapas mistura e descanso (MSD), inertização (INZ) e peneiramento (PNT), dotados de mesmo valor  $9,81E+03$  kg  $1,4-DB$  eq. As fontes prováveis de selênio são oriundas de resíduos como tintas, pigmentos, borrachas, fertilizantes e produtos farmacêuticos, utilizados na linha de *blends* sólidos.

O selênio, quando originado de resíduos industriais, dissolve-se ao encontrar a água, depositando-se em partículas, podendo ser convertido pela ação de micro-organismos na forma inerte e solúvel, podendo também bioacumular-se

na cadeia alimentar. Os sinais e sintomas mais comuns de altos níveis de selênio urinário são: distúrbios gastrointestinais, descoloração da pele, dentes cariados, perda de cabelos ou unhas, anormalidades das unhas e alterações nos nervos periféricos. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) considera o Se como uma das substâncias não classificáveis quanto a sua não carcinogenicidade para o ser humano (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB], 2018a, p. 2).

Essas três etapas de blendagem também registram as maiores emissões de Mn com os mesmos valores ( $5,60E+03$  kg  $1,4-DB$  eq.). As fontes de manganês têm como origem os diversos resíduos perigosos, provenientes da indústria química em geral, têxtil e de fertilizantes. Trabalhadores expostos cronicamente a aerossóis e poeiras contendo altas concentrações podem apresentar tosse, náuseas, cefaleias, fadiga, perda do apetite, insônia, manganismo e inflamações nos pulmões que podem levar a uma pneumonia química. Algumas formas são persistentes no ambiente aquático e podem ser acumuladas por organismos, como algas, moluscos e alguns peixes. A bioacumulação do manganês é maior em níveis inferiores da cadeia trófica (CETESB, 2018b, p. 2).

O arsênio também foi predominante nessas etapas com valor semelhante de  $2,14E+03$  kg  $1,4-DB$  eq. A substância é utilizada na fabricação de ligas não ferrosas. Formas como o ácido arsênico são utilizadas como descolorante e clareador na indústria de determinados produtos, a exemplo das vidrarias e garrafas. Na água, o arsênio pode ser introduzido por emissões de efluentes industriais ou via atmosférica. Uma das prováveis fontes difusoras pode ser o sulfato de ferro (pirita) – que foi um dos resíduos listados para a produção

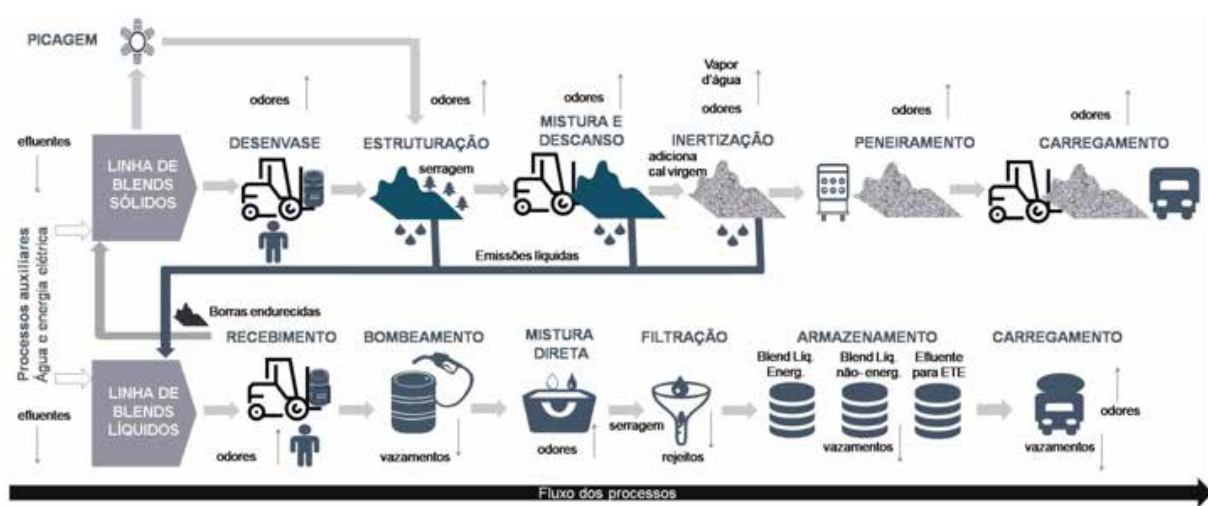


Figura 1. Etapas de blendagem com delimitação das fronteiras de sistema

Fonte: Elaboração própria (2020)

de *blends* líquidos. Os sinais e sintomas clínicos de intoxicação aguda por arsênio são: dor abdominal, vômito, diarreia, vermelhidão muscular e fraqueza, seguidos por dormência e formigamentos das extremidades (CETESB, 2017a, p. 2).

Quanto ao bário, as emissões possuem o mesmo registro de valor nas etapas mistura e descanso (MSD) e inertização (INZ) (6,36E+03 kg 1,4-DB eq). O tempo de permanência das partículas no ar depende do tamanho, mas essas acabam sendo depositadas no solo. Emissões antropogênicas na água podem ocorrer a partir do descarte de efluentes industriais. Essa substância é utilizada na fabricação de diversos tipos de produtos industriais que também são descartados em formas de resíduos, como plásticos, vidros, cerâmicas (refratários), têxteis, lubrificantes e borrachas (CETESB, 2017b, p. 2).

Em suma, pode-se atribuir as contribuições percentuais das principais substâncias na categoria toxicidade humana (TH) da seguinte maneira: Se 37,8%, Mn 22,1%, Ba 21,5%, As 8,8%, e demais substâncias 9,8%.

Outras categorias de impacto que se destacaram na produção de *blends* foram ecotoxicidade marinha (ETM) e mudanças climáticas (MC), com 9,89E+04 kg 1,4-DB eq e 1,41E+04 kg CO<sub>2</sub> eq, respectivamente.

Para a ETM, as substâncias que contribuíram para o impacto foram selênio com 1,44E+04 kg 1,4-DB eq, oriundo das matérias-primas (resíduos), e manganês com 6,09E+03

kg 1,4-DB eq, emitidos para a água. Nesta categoria, a maior contribuição para o impacto foi o Desenvase (DSV), com 1,15E+04 kg 1,4-DB eq.

Quanto às mudanças climáticas (MC), a principal substância emitida para o ar foi CO<sub>2</sub>, com 1,05E+04 kg CO<sub>2</sub> eq, e a etapa que mais contribuiu foi o armazenamento (ARM), por utilizar bombeamento com uso de diesel como combustível, com 9,03E+02.

Pelo método Impact 2002+, a categoria não carcinogênicos (NCR) foi aquela que mais se destacou, com o total de 3,03E+03 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq (Tabela 1). A principal substância que correspondeu a 87% do impacto nesta categoria foi o arsênio, emitido para o solo com 2,66E+03 kg C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl eq. No solo, o arsênio pode ser liberado da fase sólida sob condições redutoras, podendo lixiviar-se para águas subterrâneas ou escoar para águas superficiais (CETESB, 2017a, p. 1).

A etapa ARM foi a categoria com o maior registro, com valor de 9,74E+02 kg C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl eq. Nota-se que nela os *blends* líquidos já estão devidamente misturados, após serem bombeados para as estruturas de armazenamento. Nessa fase, foram registrados alguns vazamentos desses líquidos para o solo (INEA, 2019).

Quando emitido para o solo, o arsênio aparece também como a principal substância, contribuindo com 39% na categoria carcinogênicos (CRC). A IARC (Agência Internacional de Pesquisa em Câncer) classifica o arsênio e seus compostos

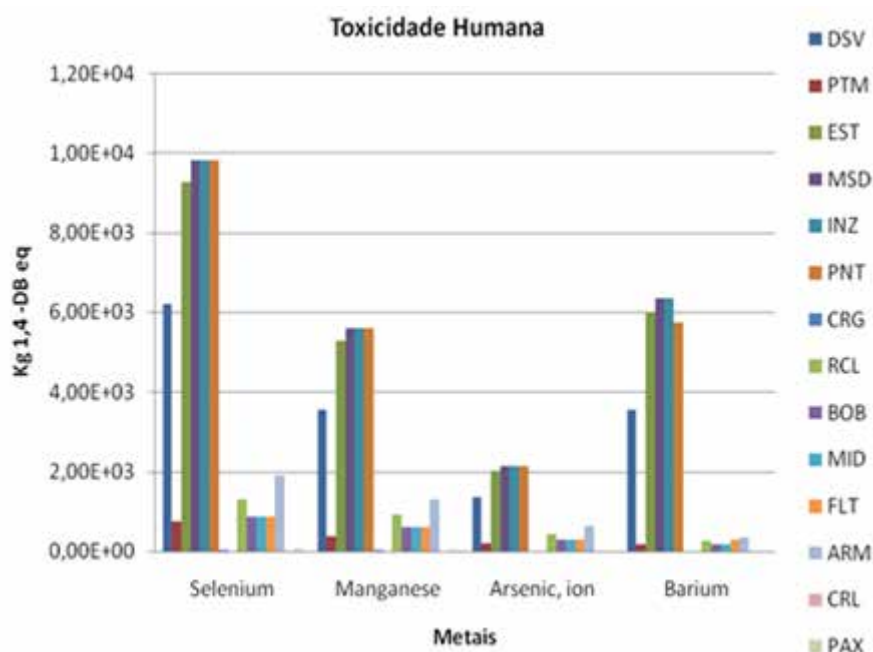


Figura 2. Emissões de metais nas etapas de blendagem da categoria TH

Fonte: Autoria própria (2020)



inorgânicos como cancerígenos para o ser humano (CETESB, 2017a, p. 2). Repete-se a etapa de armazenamento (ARM) como a mais significativa para este impacto, também com  $8,75E+01$   $C_2H_3Cl$  eq.

Outras substâncias que surgiram com percentual significativo em carcinogênicos (CRC) foram os hidrocarbonetos aromáticos (HPA) e aldrin, com 28% e 25%, respectivamente. Os principais resíduos perigosos contendo HPA na produção dos *blends* foram petróleo e seus derivados e naftaleno. Estudos com trabalhadores expostos a HPA por inalação ou por longos períodos sugerem a possibilidade do surgimento de câncer de pulmão e de pele (CETESB, 2018c, p. 3.).

O aldrin é um composto organoclorado sintético classificado como compostos orgânicos persistentes (POP), e foram muito utilizados como agrotóxicos em culturas de milho e algodão. A IARC classifica o dieldrin e o aldrin metabolizado a dieldrin como prováveis cancerígenos para o ser humano (CETESB, 2018d, p. 2). Cabe lembrar que muitos tecidos, panos, trapos e uniformes de equipamentos de proteção individual (EPI) contaminados, confeccionados em algodão, são utilizados nos *blends*.

A principal substância encontrada na categoria II foram os NOx, com valor total de  $6,41E+00$  kg 2,5 PM eq, correspondendo a 40% do impacto. Os NOx são formados durante os processos de combustão, pelos quais os veículos são os princípios responsáveis (CETESB, 2020). Nessas etapas há auxílio de pás carregadeiras para transporte e revolvimento da mistura de resíduos. Pessoas com asma e problemas pulmonares crônicos são mais sensíveis aos impactos dos NOx sobre a função pulmonar (Ribeiro & Assunção, 2002, p. 130). Mistura e descanso (MSD) e inertização (INZ) foram as cate-

gorias mais significativas de emissão de NOx, com  $1,28E+00$  kg 2,5 PM eq.

Na categoria I, os compostos orgânicos voláteis não metano (COVNM) foram aqueles que mais se destacaram, com total de  $6,17E+00$  kg  $C_2H_4$  eq, ou seja, 71% de contribuição para o impacto na categoria. A etapa mais significativa foi o peneiramento (PNT), com  $1,10E+00$  kg  $C_2H_4$  eq.

Os COVNM são emitidos para a atmosfera por inúmeras fontes, como solventes e processos de produção diversos. Os NMVOC contribuem para a formação de ozônio troposférico e grupos de espécies, como o benzeno, que são prejudiciais à saúde humana (European Environment Agency [EEA], 2015, p. 1).

Os solventes propriamente ditos fazem parte da composição tanto dos *blends* líquidos como dos sólidos – através das borras de tintas –, e as emissões são potencializadas pelo revolvimento do material.

Todos os resultados da caracterização do impacto podem ser visualizados no suplemento deste artigo.

### Normatização

Pelo método ReCiPe, a toxicidade humana (TH) apresentou valor total de  $1,39E+02$ , correspondendo a 53% dos impactos totais da blendagem. A toxicidade foi predominante em todos os processos. Mistura e descanso (MSD) e inertização (INZ) continuaram como as etapas mais impactantes quanto à toxicidade humana, possuindo o mesmo valor ( $2,69E+01$ ), seguidos pelo peneiramento (PNT) com valor de  $2,63E+01$  (Figura 3).

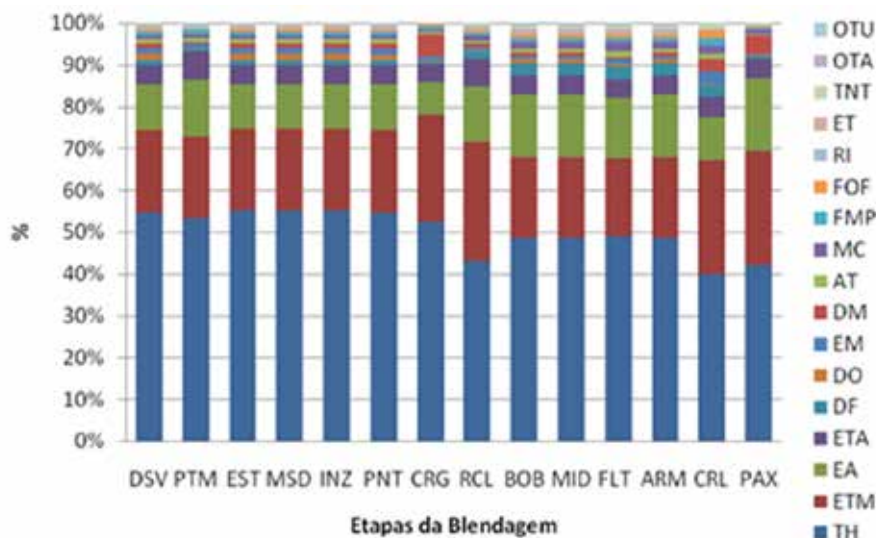


Figura 3. Percentual dos impactos nas etapas de blendagem. Método ReCiPe

Fonte: Autoria própria (2020)

A seguir, a categoria ecotoxicidade marinha (ETM) contribuiu com 20% do impacto total da blendagem. As etapas mistura e descanso (MSD) e inertização (INZ) também foram as mais significativas nesta categoria, com os valores idênticos de  $9,59E+00$ .

Subsequentemente, as categorias eutrofização da água doce (EA) e ecotoxicidade terrestre (ETA) foram responsáveis por 11% e 4% dos impactos da blendagem, respectivamente. As etapas mais significativas para essas categorias foram mistura e descanso (MSD), inertização (INZ) e peneiramento (PNT), com os mesmos valores  $5,23E+00$  e  $2,24E+00$ , respectivamente. A principal substância que propiciou a EA foram os fosfatos, oriundos de lodos diversos que também foram encontrados nas frações minerais de solos contaminados, além de alguns resíduos oriundos de atividades agrícolas, como os fertilizantes. Nota-se que a normalização conferiu a essa categoria o terceiro maior impacto da blendagem.

Na ETA, a substância de maior relevância para 40% desse impacto foi o níquel (Ni) emitido diretamente para este compartimento. As principais fontes são os resíduos de pigmentos. Na hidrosfera, esse elemento tende a precipitar-se com material orgânico e chegar ao sedimento. Em quantidades significativas ele não é bioacumulável nos organismos. Quando ingerido acidentalmente, pode ocasionar dores de estômago e alterações sanguíneas em humanos (CETESB, 2018e, p. 2). As demais categorias de impacto somadas correspondem a apenas 11% do impacto total nos processos de blendagem.

No método Impact 2002+, constatou-se que a categoria inaláveis inorgânicos (II) obteve a maior pontuação,  $1,55E+00$ , correspondendo a 51,8% dos impactos totais da blendagem, relacionados apenas à saúde humana, seguidos dos não carcinogênicos (NCR) com 39,7% e carcinogênicos (CRC) com 8,35%. Os processos de blendagem com maior pontuação na categoria II foram mistura e descanso (MSD) e inertização (INZ), com  $2,91E-01$ , permanecendo os NOx como a substância mais representativa nessa categoria de impacto, com valor de  $6,31E-01$ , equivalendo a 40% para resíduos classe II.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos métodos de AICV estudados, concluiu-se que o impacto da atividade de blendagem tem maior abrangência em escala local, com maior prejuízo à saúde humana.

O método ReCiPe permitiu constatar que a toxicidade humana é o principal impacto da blendagem, significando uma série de riscos à saúde pela exposição ocupacional, podendo atingir a população circunvizinha, principalmente pela emissão de Se, Mn, Ba e As na **água**.

No entanto, não se deve desprezar o potencial tóxico e sinérgico das substâncias restantes, apesar dos seus baixos percentuais de contribuição para o impacto (<5%), pois a diversidade de resíduos tóxicos utilizados é bastante ampla.

Entre os processos de blendagem estudados, as etapas mistura e descanso (MSD) e inertização (INZ) foram aquelas em que toxicidade humana teve a maior pontuação, explicada pela prática de revolvimento da massa de resíduos perigosos misturados, potencializando a emissão de vapores e odores tóxicos, emissões líquidas, além do acréscimo de estruturantes e inertizantes ao *blend*.

Complementarmente, pelo método Impact 2002+, a caracterização indicou a categoria não carcinogênicos (NCR) como principal impacto (40%), confirmando a participação do arsênio como uma das principais substâncias que contribuem para o impacto na saúde. Cabe ressaltar o potencial carcinogênico do arsênio, que se apresenta também como a principal substância na categoria carcinogênicos (CRC).

A categoria dos IO apresentou como principais substâncias os compostos orgânicos voláteis não metano (COVNM), o que pode ser um grupo indicador dos odores desagradáveis que atingem as vizinhanças da atividade e são exalados pelos resíduos de substância desse grupo, a exemplo dos hidrocarbonetos, presentes em diversos resíduos perigosos, como as borras oleosas.

Pela normalização, o principal impacto foi a categoria II (51,8%), sendo a principal causa a emissão de NOx no ar, ocasionada pelo uso de veículos a diesel, seguido da emissão de particulados pelo revolvimento do material na blendagem. As categorias não carcinogênicos (NCR) e carcinogênicos (CRC) corresponderam a 39,8% e 8,36% dos impactos, respectivamente. Além dos diversos riscos iminentes à saúde humana, a categoria ecotoxicidade marinha (ETM) e eutrofização da água doce (EA) (método ReCiPe) apontam os perigos de impacto ao meio ambiente pelas emissões de metais no solo e na **água** subterrânea, e de fosfato nos recursos hídricos.

Pela acurada análise realizada, é possível reiterar que o trabalhador da blendeira é o agente mais vulnerável à exposição, devido à possibilidade do surgimento de doenças do trato respiratório, de diversas patologias pela exposição crônica e do desenvolvimento de câncer.

Metodologicamente, utilizando a avaliação do ciclo de vida (ACV), a inserção da blendagem na cadeia do coprocessamento levanta um debate dos impactos à saúde humana nas questões da sustentabilidade ambiental do tratamento de resíduos industriais na cadeia de produção do cimento.

Recomenda-se que os diversos setores da indústria e comércio, os geradores de resíduos, possam implantar pro-

gramas de prevenção à poluição, aprovados e fiscalizados pelos **órgãos** de controle, incentivando o desenvolvimento de produtos menos poluentes, e que um percentual maior de resíduos possa ser aproveitado em linhas diversas de reciclagem, em vez de serem submetidos à blendagem direta e indiscriminadamente.

Aconselha-se também a reavaliação completa das atividades de blendagem pelos **órgãos** de controle ambiental e do trabalho, exigindo dos empreendedores a elaboração de estudos para a automação de seus processos, com o objetivo de reduzir ao máximo a manipulação direta dos resíduos e a exposição do trabalhador e da população aos odores e outros perigos. Indica-se ainda a realização de estudos epidemiológicos com os trabalhadores das blendadeiras, bem como ACV no campo social e econômico para complementação desses estudos.

É imprescindível a continuação dos estudos de ACV com abordagem do berço-ao-portão com o uso desses *blends* que serão coprocessados nos fornos de clínquer, uma vez que a queima traz maiores possibilidades de ampliação dos impactos à saúde dos trabalhadores, à população circundante e ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- Aguiar, D.B.; Mattos, U.A.O.; Esteves, V.I.P. (2020), Identification of human health and environmental impacts of blending processes of co-processing waste. *Mendeley Data*, V1. Disponível em: <https://data.mendeley.com/datasets/b925vij7yc/1>.
- Al-Dadi, M.M.; Hassan, H.E.; Sharshar, T.; Arida, H.A.; Badran, H.M. Environmental impact of some cement manufacturing plants in Saudi Arabia. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, n. 302, p. 1103–1117, 2014. Doi: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10967-014-3383-8>.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2017a), *Ficha de Informação Toxicológica: Arsênio*. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoestoxicologicas/> (acesso em 18 out. 2020).
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2017b), *Ficha de Informação Toxicológica: Bário*. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoestoxicologicas/> (acesso em 18 out. 2020).
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2018a), *Ficha de Informação Toxicológica: Selênio*. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoestoxicologicas/> (acesso em 18 out. 2020).
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2018b), *Ficha de Informação Toxicológica: Manganês*. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoestoxicologicas/> (acesso em 18 out. 2020).
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2018c), *Ficha de Informação Toxicológica: Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)*. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoestoxicologicas/> (acesso em 18 out. 2020).
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2018d), *Ficha de Informação Toxicológica: Aldrin e Dieldrin*. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoestoxicologicas/> (acesso em 18 out. 2020).
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2018e), *Ficha de Informação Toxicológica: Níquel e seus compostos*. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoestoxicologicas/> (acesso em 18 out. 2020).
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). (2020), *Emissão Veicular*. São Paulo: CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/> (acesso em 18 out. 2020).
- Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (CONEMA-RJ). (2011), *Manual de Classificação de Atividades Poluidoras MN-050*. R-5. Rio de Janeiro.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2020), Resolução CONAMA/MMA 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. Publicado em 08 out., edição 194, seção 1, pág. 50 – *Diário Oficial da União*. Brasília-DF.
- European Environment Agency (EEA). (2015), *Non-methane volatile organic compounds (NMVOC) emissions*. Copenhagen.
- Georgiopolou, M.; Lyberatos, G. (2018), Life cycle assessment of the use of alternative fuels in cement kilns: a case study. *Journal of Environmental Management*, v. 216, pp. 224-234. Doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717306837?via%3Dihub>.
- Güeraca, L.P.; Torres, N.; Juárez-López, C.R. (2015), The co-processing of municipal waste in a cement kiln in Mexico. A life-cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 107, pp. 741-748. Doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615006538?via%3Dihub>.
- Huang, Q.F.; Yang Y.F.; Wang, Q. (2012), Potential for serious environmental threats from uncontrolled co-processing of wastes in cement kilns. *Environ. Sci. Technol.*, v. 46 (24), pp. 13031–13032. Doi: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es3042274>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019), *Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)*, Brasília-DF.
- Instituto Estadual do Ambiente (INEA). (2019), *Pós-Licença e Fiscalização: Consulta a Processos – Proc. E-07/202238/2008*

- e Proc. E-07/202258/2003. Rio de Janeiro. Disponível em: de <http://200.20.53.7/SCUP/>. (acesso em 15 out. 2020).
- Junior, A.G.P.; Braga, A.M.C.B. (2009), Trabalho e saúde: a atividade da queima de resíduos tóxicos em fornos de cimenteiras de Cantagalo, Rio de Janeiro. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14 (6), pp. 2005–2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232009000600008>.
- Lamas, W.Q.; Palau, J.C.F.; De Camargo, J.R. (2013), Waste materials co-processing in cement industry: ecological efficiency of waste reuse. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 19, pp. 200-207. Doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112006260?via%3Dihub>.
- Li, C.; Cui, S.; Nie, Z.; Gong, X.; Wang, Z.; Itsubo, N. (2015), The LCA of Portland cement production in China. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 20, pp. 117–127. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0804-4>.
- Mendes, N. C.; Bueno, C.; Ometto, A. R. (2016), *Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: Revisão dos Principais Métodos*. Production, v. 26 (1), pp. 160-175. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.153213>
- Milan, M. (2017), *Reciclagem de Materiais: empresa e conceito*, SENAI, São Paulo.
- Milanez, B.; Fernandes, L.O.; Porto, M.F.S. (2009), A coincineração de resíduos em fornos de cimento: riscos para a saúde e o meio ambiente. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14(6), pp. 2143–2152.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA) Pesquisa de Licenciamento Ambiental. (2019), *Portal Nacional do Licenciamento Ambiental*. Brasília, 2019. Disponível em <http://pnla.mma.gov.br/> (acesso em 24 dez. 2020).
- Secretaria de Trabalho do Ministério da Economia. Portaria nº 3214 de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 1978.
- Ribeiro, H.; Assunção, J.V. (2002), Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados*, v.16 (44), pp. 125-148. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142002000100008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142002000100008) (acesso em 19 dez. 2020).
- Rocha, S.D.F., Lins, V.F.C., & Espírito Santo, B.C. (2011), Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 16 (1), pp. 1-10.
- Santos, L.S.C. (2020), *Prejuízos ao meio ambiente e agravos na saúde das populações vizinhas relacionados com as unidades de blendagem no município de Magé - Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Simapro Data Server. *Version 2,0803. Release - D11*) Software. (2006), Queensland: Nexus data base pty ltd.
- Simapro 7: *Classroom*. (Version 7.2.3 Multi-user Software. (2010), Amersfoot: Pre-Consultants bv.
- Spiro, T.G.; Stigliani, W.M. (2009), *Química Ambiental*. Ed. Pearson Prentice Hall. São Paulo.
- Stafford, F.N.; Raupp-Pereira, F.; Labrincha, J.A.; Hotza, D. (2016), Life cycle assessment of the production of cement: a Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 137, pp. 1293–1299. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.050>
- Tukker, A. (1999), A comparison of thermal treatment processes for hazardous waste. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 4, pp. 341–351. Doi: <https://link.springer.com/article/10.1007%2F02978525>.
- Ugaya, C.M.L. (2013), Avaliação do ciclo de vida de produtos, in Adissi, P.J.; Pinheiro, F.A.; Cardoso, R.S. (org.), *Gestão Ambiental de Unidades Produtivas*, Rio de Janeiro, Elsevier, pp. 275-298.

**Recebido:** 20 mar. 2021

**Aprovado:** 5 jul. 2021

**DOI:** 10.20985/1980-5160.2021.v16n2.1712

**Como citar:** Aguiar, D.B., Mattos, U.A.O., Esteves, V.P.P. (2021). Identificação de impactos à saúde humana e ao meio ambiente no processo de blendagem de resíduos para coprocessamento. *Revista S&G* 16, 2. <https://revistasg.emnuvens.com.br/sg/article/view/1712>