

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS AMBIENTAIS**

**LILIAN CALARGA  
MONIK DA SILVA ALVES FERNANDES  
VIVIANE ROCIO SERPE**

**A INFLUÊNCIA DAS INDÚSTRIAS DE CIMENTO E CAL NA QUALIDADE  
DO AR URBANO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA  
2023**

**LILIAN CALARGA  
MONIK DA SILVA ALVES FERNANDES  
VIVIANE ROCIO SERPE**

**A INFLUÊNCIA DAS INDÚSTRIAS DE CIMENTO E CAL NA QUALIDADE DO AR  
URBANO**

**The influence of cement and lime industries on urban air quality**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Tecnólogo em Processos Ambientais da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientadora: Dra. Valma Martins Barbosa.  
Coorientadora: Dra. Renata Ruaro.

**CURITIBA  
2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LILIAN CALARGA  
MONIK DA SILVA ALVES FERNANDES  
VIVIANE ROCIO SERPE**

**A INFLUÊNCIA DAS INDÚSTRIAS DE CIMENTO E CAL NA QUALIDADE DO AR  
URBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Tecnólogo em Processos Ambientais da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 05/dezembro/2023

---

Erika Pereira Felix

Doutorado em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

---

Lucila Adriani de Almeida Coral

Doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

---

Valma Martins Barbosa

Doutorado em Química (Físico-Química) pela Universidade de São Paulo, Brasil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

**CURITIBA**

**2023**

Dedicamos este trabalho à nossa orientadora e coorientadora, bem como às nossas famílias, amigos e cônjuges, que nos têm proporcionado compreensão e apoio. Também dedicamos essa conquista a todos aqueles que persistem e seguem em busca dos seus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaríamos de agradecer a nossa orientadora, a professora Dra. Valma Martins Barbosa e a nossa coorientadora Dra. Renata Ruaro, que nos orientaram e possibilitaram a pesquisa junto ao Município de Rio Branco do Sul, bem como pelas recomendações, tempo concedido para as reuniões e leitura do nosso trabalho, além de cada comentário instrutivo feito durante esse trajeto, essenciais para o desenvolvimento do TCC.

Agradecemos às professoras Dra. Erika Pereira Felix e Dra. Lucila Adriani de Almeida Coral, membros da banca por aceitarem fazer parte desse trajeto, pelo tempo cedido e sem as quais não teríamos conseguido concluir esta difícil tarefa.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, pela oportunidade da realização do Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais, e aos seus docentes pelas valiosas contribuições dadas durante todo o curso.

Aos nossos familiares, a nossa mais sincera gratidão pelo apoio constante e pela compreensão diante das ausências durante diversos momentos, em virtude do comprometimento com este projeto.

Por fim, estendemos nossos agradecimentos a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho. Suas contribuições foram inestimáveis para a concretização deste projeto.

## RESUMO

As indústrias de cimento e cal desempenham um papel fundamental no cenário socioeconômico. Apesar do reconhecido potencial poluente desses empreendimentos, poucos são os estudos que demonstram os impactos ao meio ambiente e à saúde humana, e a necessidade de controle eficaz de emissões durante todo o processo produtivo. Assim, esse estudo objetivou descrever e compreender a influência das indústrias de cimento, cal e coprocessamento na qualidade do ar urbano, identificando possíveis impactos ao meio ambiente e à saúde com o intuito de fornecer subsídios para proposição de ações preventivas e/ou mitigadoras, bem como possíveis ações e soluções para preservação do meio ambiente e a proteção da saúde humana. Para o desenvolvimento do presente trabalho e embasamento teórico, realizou-se uma revisão bibliográfica por artigos publicados em português e inglês do período de outubro de 2004 até setembro de 2023, junto a base de dados do *Scopus*, Google Acadêmico e Periódicos Capes, como as combinações-chaves: qualidade do ar, indústrias cimenteiras, coprocessamento, problemas respiratórios, meio ambiente, impactos, cimento e monitoramento. Além de outras fontes como relatórios de desempenho de aspectos ambientais, sociais, técnicos e legislação aplicável. Ao total a análise incluiu 17 trabalhos científicos realizados, dos quais identificaram impactos na saúde da população, no meio ambiente, impactos socioambientais e socioeconômicos. Os resultados evidenciaram que a fabricação do cimento, cal e calcário, em todas as fases da produção, embora estejam em aprimoramento, geram grandes impactos no meio ambiente e na população local e global, e dessa maneira é preciso que as empresas adotem métodos e tecnologias de controle de emissão de poluentes para minimizar os impactos socioambientais e sobre a saúde pública. Desta forma, espera-se contribuir com a comunidade acadêmica e profissional da área para um melhor entendimento sobre o impacto e mitigação da indústria de cimento e cal na região em que estas atividades estão presentes.

Palavras-chave: Cimento. Cal. Qualidade do Ar. Meio Ambiente. Impactos à Saúde.

## ABSTRACT

The cement and lime industries play a fundamental role in the socioeconomic scenario. Despite the recognized polluting potential of these projects, there are few studies that demonstrate the impacts on the environment and human health, and the need for effective control of emissions throughout the production process. Thus, this study aimed to describe and understand the influence of the cement, lime and co-processing industries on urban air quality, identifying possible impacts on the environment and health with the aim of providing subsidies for proposing preventive and/or mitigating actions, as well as possible actions and solutions to preserve the environment and protect human health. For the development of this work and theoretical basis, a bibliographic review was carried out for articles published in Portuguese and English from October 2004 to September 2023, together with the *Scopus*, Google Scholar and Capes Periodicals databases, such as key combinations: air quality, cement industries, co-processing, respiratory problems, environment, impacts, cement and monitoring. In addition to other sources such as performance reports on environmental, social, technical aspects and applicable legislation. In total, the analysis included 17 scientific works carried out, which identified impacts on the health of the population, the environment, socio-environmental and socioeconomic impacts. The results showed that the manufacture of cement, lime and limestone, in all phases of production, although they are being improved, generate major impacts on the environment and on the local and global population, and therefore it is necessary for companies to adopt methods and technologies to control pollutant emissions to minimize socio-environmental and public health impacts. In this way, it is expected to contribute to the academic and professional community in the area to a better understanding of the impact and mitigation of the cement and lime industry in the region where these activities are present.

Keywords: Cement. Lime. Air Quality. Environment. Impacts to Health.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Quadro 1: Lista de trabalhos científicos incluídos na revisão sistemática a partir da busca dos bancos de dados Scopus, Google Acadêmico e Periódicos Capes.</b> .....	<b>37</b>
<b>Quadro 1: Lista de trabalhos científicos incluídos na revisão sistemática a partir da busca dos bancos de dados Scopus, Google Acadêmico e Periódicos Capes.</b> .....	<b>38</b>
<b>Quadro 1: Lista de trabalhos científicos incluídos na revisão sistemática a partir da busca dos bancos de dados Scopus, Google Acadêmico e Periódicos Capes.</b> .....	<b>39</b>
<b>Figura 1: Mapa da Rede Estadual da Qualidade do Ar.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 2: Mapa das Estações na Região Metropolitana de Curitiba .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 3: Mapa da Região Metropolitana de Curitiba .....</b>	<b>48</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Padrões primários de qualidade do ar recomendados pela OMS comparado com Brasil, União Europeia e Estados Unidos.....</b>	<b>24</b>
--	-----------

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAC	Captura e armazenamento de carbono
CaO	Óxido de cálcio/Cal virgem/Cal queimado
CBCP	Companhia Brasileira de Cimento Portland
CDR	Combustível Derivado de Resíduo
CDRU	Combustível Derivado de Resíduos Urbanos
CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH	Cal hidratada
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONRESOL	Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
CSI	Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento
CV	Cal virgem
EF	Fator de emissão
EFs	Fatores de emissão específicos
EUA	Estados Unidos da América
ECP	Equipamentos de Controle de Poluição do Ar
FMC	Fumaça
GBFS	Escória granulada de alto forno
GJ	Gigajoule
HAPs	Poluentes atmosféricos perigosos
IAT	Instituto Água e Terra
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IGEO	Índices de geoacumulação
IIMR	Instrumento de Identificação de Municípios de Risco
IPT	Instituto de Pesquisa e Tecnologia
KM	Quilômetros
MP	Material particulado
MP <sub>2,5</sub>	Partículas Inaláveis Finas
MP <sub>10</sub>	Partículas Inaláveis
MtCO <sub>2e</sub>	Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Ambiental
NSP	Fornos de pré aquecedores de suspensão
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
OR	Fornos rotativos
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PTM	Poluentes Traços Metálicos
PTS	Partículas Totais em Suspensão
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RCD	Resíduos de construção civil e demolição

RMC	Região Metropolitana de Curitiba
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SEDEST	Secretaria do Desenvolvimento Sustentável
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMS	Short Message Service
SNCR	Redução seletiva não catalítica
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.
SUS	Sistema Único de Saúde
USEPA	United States Environmental Protection Agency - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
USP	Universidade de São Paulo
VIGIAR	Vigilância em Saúde de Populações Expostas à Poluição Atmosférica

## LISTA DE SÍMBOLOS

As	Arsênio
Cd	Cádmio
CO	Monóxido de carbono/Óxido de carbono
CO2	Gás Carbônico/Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Hg	Mercúrio
Ni	Níquel
NOx	Óxidos de Nitrogênio
NO	Óxido Nítrico
NO2	Dióxido de Nitrogênio
Pb	Chumbo
SO2	Dióxido de Enxofre
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1. Objetivos geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
2.2.1. Identificar e relacionar possíveis impactos das indústrias de cal, cimento e coprocessamento ao meio ambiente e à saúde .....	16
2.2.2. Verificar instrumentos de mitigação de impactos que poderiam ser aplicados para preservação da saúde e do meio ambiente.....	16
2.2.3. Sugerir possíveis ações e soluções visando contribuir com o desempenho dos atores públicos e privados.....	16
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1. Indústrias de cimento, cal, calcário e coprocessamento</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2. Legislações que regem as indústrias da cal e cimenteiras</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3. Poluentes atmosféricos relacionados à indústria de cimento, calcário e cal</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4. Impactos e agravos à saúde humana por poluentes atmosféricos</b> .....	<b>24</b>
<b>3.5. Impactos das indústrias de cimento, cal e coprocessamento ao meio ambiente</b> .....	<b>27</b>
<b>3.6. Instrumentos de mitigação de impactos</b> .....	<b>29</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1 Impactos da indústria de cimento, cal e calcário</b> .....	<b>36</b>
<b>5.2 Instrumentos de mitigação de impactos</b> .....	<b>45</b>
5.2.1 Monitoramento da qualidade do ar .....	46
5.2.2 Outros instrumentos .....	49
<b>5.3 Sugestões de ações e soluções</b> .....	<b>51</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A quantidade de poluentes liberados na atmosfera tem crescido globalmente. Isso está relacionado ao crescimento populacional, e ao transporte movido a combustíveis fósseis e à produção industrial. Como resultado, segundo a Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS (2021), os componentes químicos do ar estão se elevando acima dos níveis recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Por exemplo, limites para os poluentes material particulado  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  são na casa de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Para o dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) é de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) é de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e para o monóxido de carbono (CO) é de  $4 \text{mg}/\text{m}^3$  para periodicidade de 24 horas. E para o ozônio ( $\text{O}_3$ ) é de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 8 horas. Concentrações acima das mencionadas podem acarretar alterações irreversíveis na saúde e no meio ambiente, como “problemas de desenvolvimento neuropsicomotor, defeitos congênitos, doenças associadas à desregulação endócrina”, à mudança climática, contaminação ambiental, dentre outras, transformando a poluição atmosférica em um sério problema para a qualidade do ar (OPAS, 2021, p. 5).

A crescente participação das atividades industriais na emissão de poluentes para a atmosfera exige uma análise aprofundada dos impactos ambientais associados. Atualmente, existem caminhos para resolver as problemáticas ambientais, como a ecologia industrial. De acordo com Santos et al. (2014), a ecologia industrial se trata de modelo de produção industrial com menor impacto ao ambiente inserido, ou seja, interação entre ambiente físico e social, viabilizando processos com redução de poluição, otimização de recursos, *design* ambiental, novos materiais, ou mesmo processos de gestão, que visam métodos industriais mais alinhados com a demanda, ou seja, *layouts* mais flexíveis, estoques baixos, detecção de falhas e quebras e, conseqüentemente, menos desperdícios, dentre outros (SENAI, 2018). Assim como ferramentas que possibilitam a análise da pegada ambiental de produtos durante todo o seu ciclo de vida e, principalmente programas de monitoramento ambiental, que visam a proteção da saúde humana, preservação da biota e seus *habitats*, que resultem no resgate da interdependência entre a biosfera e o homem, ou seja, “as interações da humanidade com o seu meio”, isto é, a “conservação da biodiversidade e o desenvolvimento” (BURSZTYN et al., 2012, p. 346).

O processo de urbanização global apresenta um crescimento acelerado e continuado, o que exige aumento das infraestruturas e de moradias. Dentre os insumos empregados, o concreto é o material mais utilizado no mundo, decorrente do baixo custo, facilidade de produção, versatilidade, disponibilidade de matérias-primas, como o cimento etc. (PENA et al., 2021). Em contrapartida, os impactos ambientais gerados são significativos, provenientes da produção do clínquer, componente do cimento, que emite grande quantidade de gases do efeito estufa para a atmosfera durante a sua produção (OLIVEIRA et al., 2014).

As indústrias de cimento e cal são importantes atividades econômicas que impactam de forma relevante o desenvolvimento da economia do país. De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC (2021), no Brasil há 103 fábricas de cimentos atribuídas a 22 grupos industriais dispostos em 80 municípios, sendo o estado de Minas Gerais o maior polo industrial do país, com 16 fábricas. O Paraná possui 3 (três), sendo a maior delas instalada em Rio Branco do Sul.

A produção de cimento representa cerca de 8% das emissões globais de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), segundo o instituto britânico Chatham House Report (2018). Portanto, é fundamental identificar e mitigar os impactos decorrentes desse tipo de empreendimento. Assim, o presente trabalho apresenta uma análise de estudos que examinam a liberação de poluentes atmosféricos originados pelas cimenteiras industriais, abordando tanto a fase de produção quanto o processo de coprocessamento e/ou co-incineração. Além de discorrer sobre a poluição do ar, o estudo destaca os efeitos prejudiciais que essas emissões podem causar à saúde humana e ao meio ambiente junto às regiões circunvizinhas às instalações cimenteiras. Enfatiza-se que os impactos não se limitam à geração de partículas sólidas suspensas - material particulado, mas se estendem a outros poluentes, como amônia, cloro, óxidos de nitrogênio, enxofre, entre outros, que necessitam de um controle mais rigoroso.

A análise aqui apresentada também aponta a importância da implementação de medidas preventivas para controlar a emissão de poluentes, especialmente material particulado, nas áreas circundantes junto à região das fábricas instaladas. Além disso, a pesquisa busca informar as comunidades sobre os potenciais riscos à qualidade do ar e ressaltar a necessidade de ações proativas visando a redução dos impactos ambientais causados pelas operações industriais.

Portanto, considerando a significativa influência das atividades industriais na emissão de poluentes atmosféricos, onde as indústrias de cal e cimento desempenham um papel central na economia local, este estudo justifica sua relevância ao contribuir com informações substanciais para a compreensão dos impactos ambientais e para a promoção de práticas sustentáveis junto às mesmas.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos geral**

O objetivo deste estudo é descrever e compreender a influência das indústrias de cimento e cal na qualidade do ar urbano, com o intuito de fornecer subsídios para proposição de ações preventivas e/ou mitigadoras com a preservação do meio ambiente e a proteção da saúde humana.

### **2.2. Objetivos específicos**

2.2.1. Identificar e relacionar possíveis impactos das indústrias de cal, cimento e coprocessamento ao meio ambiente e à saúde.

2.2.2. Verificar instrumentos de mitigação de impactos que poderiam ser aplicados para preservação da saúde e do meio ambiente.

2.2.3. Sugerir possíveis ações e soluções visando contribuir com o desempenho dos atores públicos e privados.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. Indústrias de cimento, cal, calcário e coprocessamento**

Como agente químico, o cimento é classificado como aglomerante hidráulico. O processo de fabricação de cimento ocorre, simplificada, em duas etapas, sendo (1) produção e (2) moagem de clínquer. Na primeira etapa, calcário e argila (sílica, óxidos de alumínio e ferro) e as matérias-primas base do cimento, são misturadas em fornos de alta temperatura, nesta etapa ocorrem as emissões diretas de 30% a 40% de CO<sub>2</sub> (queima de combustíveis, na grande maioria, fósseis, em especial, o coque de petróleo e o carvão mineral) e o restante provém do processo e da reação química da calcinação (descarbonatação, conversão de calcário em óxido de cálcio) e 5% das emissões de CO<sub>2</sub> é inerente do consumo indireto de energia elétrica da planta industrial. A segunda corresponde à moagem do clínquer junto com o sulfato de cálcio (gesso), podendo ser incluídos outros componentes, em proporções variáveis, dependendo do produto acabado desejado, como por exemplo: cinzas volantes, escórias granuladas de alto forno e fíler calcário (SNIC, 2019). A cal é oriunda do aquecimento do calcário para decompor os carbonatos, processo chamado de calcinação ou descarbonatação, em fornos rotativos de altas temperaturas, com liberação de CO<sub>2</sub> (SANTOS, 2020).

No Brasil, a indústria de cimento tem os seus primeiros registros de produção no final do século XIX, no Estado da Paraíba, quase que paralelamente, junto às principais atividades manufatureiras da época, que eram as indústrias têxtil e alimentícia. Entretanto, a primeira unidade industrial instalada se deu em 1920, da Companhia Brasileira de Cimento Portland - CBCP (SANTOS, 2011).

O mercado de cimento no Brasil, segundo o Conselho Administrativo de Defesa Econômica (2019), é formado por 22 grupos cimenteiros, compostos por empresas nacionais e estrangeiras, que atuam em 103 unidades produtivas, abrangendo todas as regiões do país. Atualmente, a capacidade instalada de plantas ativas no Brasil ultrapassa 95 milhões de toneladas por ano, tendo Minas Gerais o maior polo industrial com 16 fábricas. O Paraná possui três unidades fabris, sendo a maior delas instalada em Rio Branco do Sul. Esta significativa capacidade de produção reflete a importância deste setor para a economia nacional (CADE, 2019).

A produção mundial de cimento em 2021 ficou em torno de 4.300 milhões de toneladas, sendo a China, Índia, Vietnã, Estados Unidos, Turquia e Brasil, os seis primeiros maiores produtores mundiais respectivamente, tendo a China a maior indústria de cimento do mundo (SNIC, 2022).

A indústria cimenteira atualmente combina a produção de cimento com o processo de tratamento térmico de resíduos, conhecido como coprocessamento. Essa prática oferece benefícios significativos, como o reaproveitamento do valor energético dos resíduos líquidos, sólidos e pastosos e a utilização da fração mineral como substituto de combustíveis fósseis não renováveis (OLIVEIRA, 2019).

Conforme o relatório do Panorama do Coprocessamento, realizado pela Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2019), no ano de 2017, 38 das instalações integradas com fornos rotativos para produção de clínquer obtiveram licenças para realizar o coprocessamento de resíduos, o que corresponde a quase 70% da capacidade total da produção instalada. Segundo a ABCP (2022), o percentual de combustíveis alternativos do setor saltou de 9% para 28% em 2020, ou seja, representa aproximadamente 2 milhões de toneladas de resíduos utilizados.

O setor de cal no Brasil é composto por um total de 185 empresas, sendo que aproximadamente 10 a 15 delas são consideradas de porte médio ou grande. Essas empresas são responsáveis por produzir dois tipos de produto: a cal virgem (CV), obtida por meio da calcinação de rochas calcárias ou dolomíticas, e a cal hidratada (CH), que é produzida após a adição de água ao material calcinado (CETESB, 2018).

O calcário tem sido usado em diversas finalidades desde a antiguidade, ou seja, constata-se o uso do calcário, dolomitos e seus derivados em grandes obras e uso domésticos há cerca de 8.000 anos (TOMAS, 2007). A extração é feita de pedreiras ou depósitos dispostos em todo mundo, cujas reservas são grandes, contudo, menos de 10% delas apresentam elevada pureza de carbonatos lavrados em todos os continentes (SAMPAIO et al., 2008).

Dentre os 26 municípios que compõem a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), nove municípios dependem significativamente das atividades relacionadas à extração de calcário como fonte principal de renda e emprego. Entre esses municípios, destacam-se Rio Branco do Sul, Itaperuçu, Colombo e Almirante Tamandaré (APL DA CAL E CALCÁRIO DO PARANÁ, 2006).

De acordo com o informe mineral do Instituto de Água e Terra (2023), no estado do Paraná, a extração de minerais não metálicos abrange uma ampla gama de setores, incluindo a exploração de areia, rochas para britagem e ornamentação, bem como rochas carbonáticas usadas na produção de cimento, cal, corretivos agrícolas e outras aplicações. Essa diversidade de recursos minerais desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico da região, fornecendo materiais essenciais para várias indústrias e atendendo às demandas da sociedade.

### **3.2. Legislações que regem as indústrias da cal e cimenteiras**

O consumo contínuo de concreto, argamassa e outros produtos à base de cal e cimento impulsiona o crescimento desses setores, criando um ambiente produtivo e dinâmico. No entanto, para assegurar que essas atividades industriais ocorram de maneira responsável e sustentável, a legislação desempenha um papel crucial ao estabelecer normas e padrões para a operação das indústrias de cal e cimento.

Um dos principais instrumentos legais que regulam o licenciamento ambiental no Brasil é a Lei Federal nº 6.938/1981 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente. Esta lei estabelece a obrigatoriedade de licenciamento para atividades que utilizam recursos ambientais e que são consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como para aquelas que têm o potencial de causar degradação ambiental (BRASIL, 1981).

Outra disposição legal é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 237/1997 que estabelece diretrizes gerais para o licenciamento ambiental de atividades e empreendimentos que possam causar impacto ambiental significativo. Essa resolução tem como objetivo principal regulamentar o processo de licenciamento ambiental em nível federal, proporcionando uma abordagem padronizada e sistemática para a avaliação e controle dos impactos ambientais decorrentes de diversas atividades. Consequentemente, empreendimentos como a indústria cimenteira estão sujeitos ao licenciamento ambiental conforme as diretrizes estabelecidas nesta resolução (BRASIL, 1997).

A Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), apresentando preceitos normativos acerca de seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como direcionamentos relativos à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, inclusive os classificados como

perigosos. A legislação delimita as responsabilidades dos geradores e do poder público, aborda a necessidade de adoção e desenvolvimento de tecnologias destinadas à minimização dos impactos ambientais derivados da gestão e disposição de resíduos e trata da recuperação energética mediante o reaproveitamento de resíduos sólidos, estabelecendo-o como uma estratégia relevante.

A Resolução CONAMA nº 491/2018 revogou a Resolução nº 03/1990, assim como os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução CONAMA nº 05/1989, estabelecendo novos e atualizados padrões de qualidade do ar. Este ajuste, conforme destacado pela Resolução, é uma resposta aos riscos associados à poluição atmosférica, que afetam tanto o meio ambiente quanto a saúde da população. O padrão de qualidade do ar, de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2023), desempenha um papel crucial como instrumento de gestão, visando preservar a qualidade do ar por meio da determinação da concentração de um poluente específico na atmosfera em relação a um intervalo de tempo de exposição.

Além disso, a Resolução abordou a regulamentação do material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>), Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Chumbo (Pb), estabelecendo critérios deste poluente para monitoramento em áreas específicas, considerando a tipologia das fontes de emissões atmosféricas, conforme orientações do órgão ambiental competente. A resolução também sublinhou a necessidade de os órgãos ambientais desenvolverem planos de ação para lidar com situações críticas de poluição do ar. Estes planos, baseados nas concentrações de poluentes observadas, devem estar em conformidade com o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR.

No estado do Paraná, a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CEMA nº 107/2020 estabelece critérios e diretrizes a serem seguidos no licenciamento de atividades que possam causar degradação ambiental, poluição ou modificações no meio ambiente. Além disso, a resolução também inclui outras medidas com a finalidade de promover um desenvolvimento sustentável garantindo que todas as exigências técnicas e legais do processo de licenciamento ambiental sejam cumpridas (PARANÁ, 2020).

A indústria cimenteira também está sujeita a normas específicas relacionadas ao coprocessamento de resíduos em fornos de cimento. Em substituição a Resolução nº 264/1999, que se refere ao Licenciamento de fornos rotativos de produção de

clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) editou a nova Resolução nº 499/2020, a qual trouxe atualizações nas definições e parâmetros de emissão com base nas normas mais recentes Europeias e Internacionais, a inserção do conceito de Resíduo Sólido Urbano (RSU) e formas de tratamento térmico, bem como adequação da legislação aos conceitos de economia circular, de baixo carbono e uso sustentável dos recursos naturais (BRASIL, 2020).

A Resolução CONAMA nº 499/2020 ampliou a permissão de resíduos que podem ser destinados para o coprocessamento como os medicamentos, materiais vencidos ou fora de especificação, além de permitir o coprocessamento de resíduos de saúde que tenham passado por autoclavagem ou descontaminação biológica, ou seja, realizados de forma segura, controlada e integralmente alinhada com os objetivos refere à PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e ao Programa Nacional Lixão Zero (BRASIL, 2020).

A Resolução CONAMA nº 416/2009 revoga as Resoluções nº 258/1999 e nº 301/2002, versa sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências, como a utilização de pneus como substitutos parciais de matéria-prima ou de combustível em fornos de produção de clínquer, na fabricação de cimento (BRASIL, 2009).

A Resolução SEMA nº 16/2014 se destaca como um documento amplo e relevante, aborda diversos aspectos relacionados à qualidade do ar, ao coprocessamento de resíduos e à indústria de cimento e cal. O Artigo 1º, Inciso I da resolução se aplica a padrões de emissão e critérios de atendimento para fontes industriais, comerciais e de serviços. No contexto do coprocessamento em fornos de clínquer, as normas de emissão e a sua monitorização estão definidas na secção IV do art. 33. Para a produção de cimento, a Subsecção VIII, art. 40, estipula padrões de emissões que devem ser observados. Quanto à indústria de cal, a Subsecção X, representada pelo art. 42, estabelece requisitos sobre o monitoramento e boas práticas para a mitigação de impactos. Além disso, a resolução também faz referência aos padrões de qualidade do ar, suas concentrações e níveis correspondentes, contribuindo para a regulamentação eficaz da qualidade do ar (PARANÁ, 2022).

No estado do Paraná a Resolução CEMA nº 76, de 30 de novembro de 2009 estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético. A criação dessa resolução foi um avanço para o Estado para o licenciamento dos resíduos que podem ser coprocessados. Esta resolução garante que os resíduos que são destinados ao Coprocessamento são seguros para o processo e qualidade do cimento, e principalmente para o meio ambiente (PARANÁ, 2009).

Do outro lado, a sociedade de forma geral, também tem o respaldo legal relacionado ao direito de obter informação sobre a poluição atmosférica – a Lei nº 10.650/2003, a qual dispõe sobre o acesso público aos dados e informações ambientais existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, ou seja, é um dever do Estado disponibilizar dados e um direito de os cidadãos ter acesso às informações referentes a qualidade do ambiente (BRASIL, 2003).

### **3.3. Poluentes atmosféricos relacionados à indústria de cimento, calcário e cal**

Apesar dos conjuntos de tecnologias e inovações que contribuem para que todos estejam mais conectados aos acontecimentos no planeta, problemáticas ambientais como a qualidade do ar constituem uma grande preocupação atual, uma vez que níveis de poluição atmosférica são considerados nocivos para a saúde e o meio ambiente.

Conforme a Resolução CONAMA nº 491/2018, poluente atmosférico é qualquer forma de matéria, considerando concentração, quantidade, tempo, dentre outras características que torne o ar inapto ou nocivo à saúde, bem como impróprio ao bem-estar e a qualidade de vida da população, bem como prejudicial à fauna e à flora (BRASIL, 2018).

Decorrente disso, é importante o estudo dos poluentes atmosféricos que geram danos ao ecossistema, para tal, o nível de poluição é medido pela quantidade de substância nocivas presente no ar. Contudo, devido à variedade de substâncias poluentes na atmosfera, os poluentes são divididos em duas categorias segundo a CETESB (2023): Poluentes Primários referem-se às substâncias que são liberadas diretamente das fontes emissoras para a atmosfera e os Poluentes Secundários são

formados na atmosfera por meio de reações químicas entre os poluentes primários e os componentes naturais presentes no ambiente atmosférico.

Para tal, foram adotados globalmente, decorrente da frequência de ocorrência e de efeitos nocivos, um grupo de poluentes utilizados como indicadores de qualidade do ar, tais como: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis ( $MP_{10}$ ), Partículas Inaláveis Finas ( $MP_{2,5}$ ), Fumaça (FMC), Dióxido de Enxofre ( $SO_2$ ), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio ( $NO_2$ ), Ozônio ( $O_3$ ), Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e Chumbo (Pb) (CETESB, 2023).

No que se refere a padrões de qualidade do ar, a resolução do CONAMA nº 491/2018 define instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica (CONAMA, 2023).

Esses parâmetros e normas para a qualidade do ar são de responsabilidade do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Já órgãos estaduais e municipais de meio ambiente têm a competência de monitorar, controlar e divulgar informações sobre os níveis de poluição. Apesar do estabelecimento dos padrões nacionais de qualidade do ar e resoluções específicas para fontes fixas, o Brasil adota o padrão intermediário PI-1 do CONAMA nº 491/2018, que são padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas conforme pode ser observado na Tabela 01, menos rigoroso se comparado com padrões internacionais baseados nas recomendações da Organização Mundial de Saúde (OPAS, 2021), definido na Resolução do CONAMA nº 491/2018 como padrão de qualidade do ar final - PF.



**Tabela 1: Padrões primários de qualidade do ar recomendados pela OMS comparado com Brasil, União Europeia e Estados Unidos.**

Poluente	Tempo de Amostragem	OMS (PF) 2005	OMS (PF) 2021	Brasil (PI-1)	União Europeia	Estados Unidos
CO	8 h	100 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	9 ppm (10 mg/m <sup>3</sup> )	10 mg/m <sup>3</sup>	9 ppm (10 mg/m <sup>3</sup> )
NO <sub>2</sub>	1 h	200 µg/m <sup>3</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>	260 µg/m <sup>3</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>	100 ppb
SO <sub>2</sub>	24 h	20 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>	125 µg/m <sup>3</sup>	125 µg/m <sup>3</sup>	75 ppb
MP <sub>2,5</sub>	24 h	25 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>	60 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>	35 µg/m <sup>3</sup>
MP <sub>10</sub>	24 h	50 µg/m <sup>3</sup>	45 µg/m <sup>3</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>

**Fonte: Adaptado de OMS (2005), OMS (2021), Resolução CONAMA (2018), EUR-LEX (2015), USEPA (2015).**

Um dos poluentes considerados como principal agente de toxicidade para a saúde humana é o material particulado, oriundo da mistura de componentes sólidos e líquidos, os quais podem variar na sua composição, tamanho, fonte de emissão e condições meteorológicas. São classificados como Partículas Totais em Suspensão-PTS (diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 50 µm), Partículas Inaláveis-MP<sub>10</sub> (diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm) e Partículas Inaláveis Finas-MP<sub>2,5</sub> (diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm). Decorrente do tamanho das suas partículas, que quanto menor, maior o efeito nocivo, estas partículas têm se destacado como as grandes responsáveis por efeitos adversos sobre a saúde das populações expostas e até mesmo por mortalidade precoce à medida que são conhecidos e apresentados os efeitos junto às agências de saúde e estudos relacionados (BRASIL, 2016).

Todavia, apesar da representatividade do material particulado, não se pode excluir a importância dos demais poluentes, como: dióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio etc., que conforme as substâncias químicas são geradas, podem contribuir diretamente para a poluição do ar.

### **3.4. Impactos e agravos à saúde humana por poluentes atmosféricos**

Nos últimos anos, houve um avanço no entendimento das origens, composições, comportamentos e interações dos poluentes atmosféricos, verdadeiros adversários da saúde pública. Esse conhecimento tem impulsionado investimentos tecnológicos e financeiros diversos. Estudos observacionais têm progressivamente demonstrado efeitos cada vez mais significativos na morbidade e mortalidade

associadas a esses poluentes. No entanto, para validar biologicamente esses resultados, têm-se exigido estudos experimentais e de intervenção (SANTOS, 2019).

De acordo com o documento da Organização Mundial da Saúde - OMS das diretrizes globais para a qualidade do ar, a poluição do ar é o principal fator de risco ambiental em todo o mundo. As estimativas da OMS mostram que cerca de 7 milhões de mortes, principalmente por doenças não transmissíveis, são atribuíveis aos efeitos conjuntos da poluição atmosférica ambiental e doméstica (OMS, 2021).

Análise global semelhante revela que as mortes atribuíveis à poluição do ar variam entre 4 e 9 milhões anualmente. Esses impactos são mais pronunciados em países de baixa e média renda (OMS, 2021).

A exposição prolongada a poluentes atmosféricos está associada a uma ampla gama de impactos e riscos para a saúde humana, afetando diversos sistemas e órgãos. Os poluentes presentes no ar podem ter efeitos imediatos e crônicos, e vão além da via dérmica (dermatites, infecções etc.), ou seja, acomete uma gama de patologias, danos aos sistemas respiratório, cardiovascular, gastrointestinal, endócrino, neurológico e, por ser um material pulverulento, pode causar câncer de estômago e da via respiratória nos seres humanos (REIS et al., 2012).

Atualmente, segundo a OMS (2021), existem evidências robustas que estabelecem relações causais entre a exposição a partículas finas (PM<sub>2,5</sub>) e diversas condições de saúde, incluindo mortalidade por todas as causas, infecções respiratórias agudas, doença pulmonar obstrutiva crônica, doença cardíaca isquêmica, câncer de pulmão e acidente vascular cerebral. Além disso, a exposição à poluição do ar sugere relações causais para diabetes tipo II e impactos na mortalidade neonatal devido ao baixo peso ao nascer e à curta gestação (OMS, 2021).

A exposição à poluição atmosférica pode aumentar a incidência e a mortalidade por um número maior de doenças do que as atualmente consideradas, como a doença de Alzheimer e outras doenças neurológicas (OMS, 2021). Estima-se agora que o fardo das doenças atribuíveis à poluição atmosférica está a competir com outros grandes riscos globais para a saúde, como a alimentação pouco saudável e o tabagismo, e esteve entre os cinco primeiros entre 87 fatores de risco na avaliação global (OMS, 2021).

Dado o conhecimento parcial dos mecanismos pelos quais a poluição do ar impacta a saúde humana, a condução de estudos epidemiológicos correlacionados

assume um papel de destaque. Tais investigações se tornam essenciais para identificar e definir de forma precisa os efeitos prejudiciais dos poluentes na qualidade de vida da população, bem como na incidência de doenças. Estes impactos podem se estender a áreas distantes, e as hospitalizações emergem como apenas uma das manifestações resultantes da degradação da qualidade do ar (NEGRISOLI et al., 2013).

De acordo com as diretrizes globais da Organização Mundial da Saúde - OMS (2021), a poluição atmosférica tem impactos significativos relacionadas principalmente na saúde humana e à produtividade do trabalho, gerando consequências econômicas substanciais. Esses impactos econômicos podem ser divididos em duas categorias principais:

- Custos de saúde humana: Estes são os custos associados à incidência de doenças e mortalidade decorrentes da exposição à poluição atmosférica. Uma maneira de estimar esses custos é por meio de uma abordagem de "disposição a pagar", que avalia quanto as pessoas estão dispostas a gastar para evitar doenças relacionadas à poluição do ar. Esses custos incluem despesas médicas, medicamentos e tratamentos, bem como os custos indiretos, como perda de renda devido à incapacidade de trabalhar devido a doenças causadas pela poluição do ar.

- Perda de produtividade do trabalho: A poluição atmosférica afeta a saúde das pessoas, o que pode resultar em uma redução na produtividade no local de trabalho. Isso pode se manifestar de várias maneiras, como faltas ao trabalho devido a doenças, diminuição da capacidade de trabalho devido a problemas de saúde crônicos e aposentadoria antecipada devido a incapacidades relacionadas à poluição.

Em um estudo promovido pelo Banco Mundial, foi estimado que a exposição à poluição do ar, especialmente partículas finas (PM<sub>2,5</sub>), resultou em um impacto econômico global significativo (THE WORLD BANK, 2016). As perdas de rendimento do trabalho totalizaram 143 bilhões de dólares em nível global. Além disso, as perdas de bem-estar, que consideram os impactos na qualidade de vida das pessoas, foram estimadas em 3,55 trilhões de dólares (THE WORLD BANK, 2016).

Esses números destacam não apenas o custo humano da poluição do ar, mas também a importância de abordar a poluição atmosférica como uma questão econômica crítica, além de uma preocupação de saúde pública. Reduzir a poluição do ar não apenas melhora a qualidade de vida das pessoas, mas também pode ter

impactos econômicos positivos significativos, incluindo uma força de trabalho mais saudável e produtiva.

De acordo com as diretrizes globais da OMS (2021), as perdas de bem-estar variaram consideravelmente, desde aproximadamente 1% do Produto Interno Bruto (PIB) em países de baixa renda até cerca de 5% em países de alta renda que não fazem parte da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Além dos encargos relacionados com a saúde, a poluição do ar gera custos econômicos suplementares, como impactos adversos nas colheitas agrícolas e danos a edifícios e infraestruturas. Adicionalmente, existem custos associados às alterações climáticas e à degradação ambiental relacionadas com a poluição atmosférica (OMS, 2021).

Esses impactos ressaltam a importância crítica de regulamentações rigorosas e medidas de controle eficazes para minimizar a emissão de poluentes atmosféricos, garantindo assim um ambiente mais saudável e seguro para todos.

### **3.5. Impactos das indústrias de cimento, cal e coprocessamento ao meio ambiente**

A população que reside nas proximidades de instalações industriais, assim como aquelas que vivem mais distantes, na direção predominante dos ventos, enfrentam riscos significativos de exposição aos diversos compostos químicos poluentes gerados pelas fábricas, o que pode resultar em problemas de saúde. Durante esse processo de poluição do ar, substâncias químicas, gases e partículas em suspensão, incluindo metais pesados e seus sais, podem ser inalados ou entrar em contato com os olhos e a pele das pessoas, causando danos à saúde (SANTI et al., 2004).

Entre os principais impactos ambientais associados à produção de cimento, destaca-se a poluição do ar, decorrente especialmente pela liberação de emissões de dióxido de carbono, as quais contribuem em média cerca de 45% de emissões totais da indústria mineral. No ano de 2017, observou-se uma redução de 18% nas emissões em comparação com os valores registrados em 2015, além de uma diminuição de 4% em relação a 2016. Entretanto, nos anos posteriores, identifica-se um gradual aumento nas emissões, culminando em sua maior contribuição no ano de 2019, alcançando um patamar equivalente a 5,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e) (UK-PACT, 2022).

Dentre os principais aspectos ambientais associados à produção de cal destacam-se as emissões de dióxido de carbono, o elevado consumo de energia, a geração de resíduos, a alteração na paisagem devido às atividades de mineração, a emissão de ruídos e a dispersão de poeira (JOHN et al., 2014).

A produção de cal exibe uma contribuição média das emissões de dióxido de carbono de aproximadamente 54% das emissões totais provenientes da indústria mineral. Diferentemente do que é observado na produção de cimento, o setor de produção de cal apresentou uma relativa estabilidade durante o período de 2015 a 2018, acompanhada por uma leve diminuição de 2,4% em 2019 (UK-PACT, 2022).

Já no processo de coprocessamento, De Araujo (2020) destaca que esta tecnologia se torna uma aliada na redução do consumo de combustíveis fósseis, durante o processo de fabricação de cimento, resultando na diminuição dos custos associados à aquisição de energia no contexto produtivo. Ressalta-se que essa prática não apresenta riscos às comunidades vizinhas das fábricas de cimento, uma vez que está sujeita a rigorosos padrões de controle. As fábricas que adotam o coprocessamento de resíduos demonstram níveis de emissões iguais ou inferiores às aquelas que não empregam tal prática.

No entanto, Rocha et al. (2011), em seu estudo, enfatizam que, embora o coprocessamento possa apresentar aspectos econômicos vantajosos, é importante considerar aspectos socioeconômicos. Destaca-se, por exemplo, a combustão de resíduos voláteis, os quais podem seguir rotas que têm o potencial de afetar adversamente as propriedades do cimento. Além disso, esses processos de combustão podem conter componentes prejudiciais, caso não sejam bem operados e/ou balanceados, como metais pesados, furanos e dioxinas, que acarretam preocupações ambientais e de saúde ocupacional entre os trabalhadores envolvidos.

De acordo com o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA da Supremo Cimentos (2017), a prática de coprocessamento de resíduos na produção de cimento possui tanto implicações para o meio ambiente quanto para a dinâmica socioeconômica da região em que a indústria está situada. Entre os impactos potencialmente adversos, destaca-se a emissão de partículas e gases na atmosfera. No entanto, por outro lado, identifica-se um potencial impacto benéfico, vinculado à criação de oportunidades de emprego e geração de renda, e ao aproveitamento energético dos resíduos. A adoção do processo reduz significativamente o consumo de coque de petróleo, bem como

redução da emissão de CO<sub>2</sub>, como no caso da Votorantim Cimentos, que em 2022 substituiu em torno de 26,5% da energia térmica por meio do coprocessamento, um aumento de 4,1% com relação a 2021, e tendo como resultado uma redução de 3% das emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento, em comparação com os níveis registrados em 2021, e um redução de 24% entre 1990 e 2022 (VOTORANTIM CIMENTOS, 2022).

Um estudo conduzido por Torres et al. (2022) identificam desafios significativos associados ao coprocessamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) que têm uma ligação direta com a busca por soluções sustentáveis na indústria de cimento. Esses desafios englobam questões como o baixo poder calorífico dos RSU, restrições de granulometria que limitam as opções de queima e a possível presença de componentes perigosos, como mercúrio e chumbo. No entanto, o estudo também destaca que o coprocessamento de Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU) pode representar uma alternativa técnica viável e ambientalmente adequada, contanto que esteja em conformidade com a legislação ambiental em vigor. Isso reforça a importância de explorar abordagens que se alinhem com os regulamentos ambientais estabelecidos.

Por outro lado, o "Estudo de baixo carbono para a indústria de cimento no estado de São Paulo de 2014 a 2030" da CETESB (2018), refere-se à utilização do Combustível Derivado de Resíduos (CDR) como estratégia para a substituição do coque de petróleo, porém ressalta a necessidade de considerar os fatores locais, as dimensões tecnológicas, econômicas, políticas e ambientais. A exclusão desses fatores, ao aplicar as conclusões diretas do estudo poderia resultar em interpretações equivocadas, que poderiam negligenciar as vantagens potenciais da substituição de combustíveis fósseis, bem como os impactos potenciais na qualidade do ar.

Portanto, a viabilidade do coprocessamento requer uma avaliação minuciosa desses potenciais impactos, visto não ser uma solução isenta de riscos e desafios.

### **3.6. Instrumentos de mitigação de impactos**

À medida que o mundo se volta cada vez mais para a sustentabilidade e a proteção ambiental, a necessidade de instrumentos eficazes de mitigação de impactos nas indústrias cimenteiras se torna evidente. Estes instrumentos englobam uma série de estratégias e tecnologias destinadas a reduzir as emissões poluentes, promover a

eficiência energética e minimizar os efeitos adversos no ar e no ecossistema circundante.

Os instrumentos de mitigação desempenham um papel fundamental na redução da poluição do ar e na promoção de um ambiente mais saudável para as gerações presentes e futuras. Esses instrumentos abrangem uma variedade de abordagens, desde tecnologias avançadas de controle de emissões até políticas governamentais, regulamentos e práticas de conscientização pública.

Segundo a Chatham House (2018) a indústria cimenteira, desde os anos 1990, tem implementado estratégias de redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Fabricantes líderes participam ativamente na Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento (CSI) e investem em medidas de mitigação. Ao mesmo tempo, os responsáveis pelas políticas buscam impulsionar maior eficiência e uma mudança para uma produção com menor emissão de carbono (CHATHAM HOUSE, 2018).

Essas medidas mitigadoras têm se concentrado em quatro áreas-chave, descritas na sequência.

1) Eficiência térmica e elétrica: A estratégia principal busca melhorar a eficiência térmica e elétrica nos processos industriais do cimento, envolvendo a modernização de fornos e equipamentos para reduzir o consumo de energia. Mudanças no *design* das plantas, uso de fornos eficientes, atualização de motores e moinhos, e dispositivos "inteligentes" são adotados para economia de energia. Embora a indústria invista nessa otimização, ainda persiste uma lacuna na eficiência, com a produção de cimento utilizando as melhores tecnologias resultando em menor consumo de energia. A produção de cimento utilizando as melhores tecnologias e práticas disponíveis atualmente resulta num consumo de energia térmica de cerca de 2,9 GJ/tonelada de clínquer. Em comparação, a média global em 2014 foi de 3,5 GJ/tonelada de clínquer. A lacuna de eficiência reflete em grande parte o uso de equipamentos mais antigos na Europa e nos EUA. Entretanto, a indústria cimenteira indiana é uma das mais eficientes do mundo em termos energéticos, consumindo cerca de 3,0 GJ/tonelada de clínquer (CHATHAM HOUSE, 2018).

2) Uso de combustíveis alternativos: A segunda estratégia visa substituir os combustíveis fósseis por fontes alternativas, como biomassa e resíduos, nos fornos de cimento. Isso é viável devido à capacidade dos fornos em queimar esses materiais de forma segura, aproveitando a alta temperatura e a presença de calcário para limpar

os gases emitidos. Essa mudança depende da disponibilidade e qualidade local das alternativas, além do controle dos produtores de cimento. Na Europa, cerca de 43% do consumo de combustível na produção de cimento já vem de fontes alternativas, enquanto na América do Norte corresponde a 15%, na China, Coreia do Sul e Japão, 8%, e na Índia, cerca de 3%. Há um grande potencial de aumento no uso de combustíveis alternativos, principalmente em mercados emergentes, como China e Índia, e ainda espaço para melhorias na Europa, onde algumas fábricas já usam mais de 90% de combustíveis residuais (CHATHAM HOUSE, 2018).

3) Substituição de clínquer: A terceira estratégia visa diminuir o uso de clínquer Portland, substituindo-o por alternativas como cinzas volantes, escória granulada de alto forno - GBFS e calcário. Estudos indicam que essa abordagem pode economizar cerca de 3,7 GJ e 0,83 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de clínquer substituída. Alguns substitutos, como o GBFS permitem, teoricamente, níveis de substituição superiores a 70%, reduzindo as emissões de produção em mais de 60%. A substituição de clínquer já resultou numa redução média de 20-30% nas emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento desde os anos 1980, mas as proporções têm se estabilizado recentemente. As principais barreiras para essa substituição são a disponibilidade, custo dos substitutos e a aceitação do consumidor, além das regulamentações normativas locais (CHATHAM HOUSE, 2018).

No Brasil, o "cimento verde", uma tecnologia inovadora desenvolvida pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia - IPT, tem sido adotado. Utilizando resíduos de construção civil e demolição (RCD), essa tecnologia substitui parte do clínquer por pó de calcário cru superfino (fíler de calcário). Desenvolvido na Universidade de São Paulo - USP, esse novo processo reduziu em 50% as emissões de CO<sub>2</sub>, empregando uma abordagem de fabricação de baixo impacto ambiental, substituindo materiais orgânicos por soluções minerais. Isso resulta em estruturas mais eficientes, tecnologicamente avançadas e com menor necessidade de reparos e manutenção (IAT, 2017).

4) Captura e Armazenamento de Carbono (CAC): A estratégia da Captura e Armazenamento de Carbono (CAC) é relevante na redução das emissões da indústria cimenteira, que não podem ser eliminadas com simples mudanças de combustíveis ou eficiência energética. Apesar de ser crucial, seu progresso tem sido lento devido a desafios como altos custos, falta de legislação para o armazenamento do CO<sub>2</sub> e



dificuldades de agrupamento geográfico das fábricas. A indústria tem buscado outras estratégias para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, resultando em uma redução global de 18% na intensidade média de emissões desde 1990 (CHATHAM HOUSE, 2018).

Além das estratégias de mitigação de impacto, o monitoramento da qualidade do ar é de vital importância, pois avalia as concentrações dos poluentes atmosféricos, gerando informações sobre as condições atuais da qualidade do ar. Além disso, cria um histórico de dados que permite aos tomadores de decisão planejarem ações e políticas públicas para garantir que a qualidade do ar permaneça boa (VORMITTAG et al., 2021).

Em 1989, o Conselho Nacional do Meio Ambiente estabeleceu o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR) no Brasil. Esse programa é um dos principais pilares da gestão ambiental, visando à proteção da saúde e do bem-estar da população, enquanto promove o desenvolvimento econômico e social do país com responsabilidade ambiental (VORMITTAG et al., 2021).

Em 2001, o Ministério da Saúde estruturou a Vigilância em Saúde de Populações Expostas à Poluição Atmosférica (Vigiar), com o objetivo de desenvolver ações de vigilância para populações expostas a poluentes atmosféricos, de forma a recomendar e instituir medidas de prevenção, de promoção da saúde e de atenção integral, conforme preconizado pelo Sistema Único de Saúde (SUS). O campo de atuação prioriza as regiões onde existam diferentes atividades de natureza econômica ou social que gerem poluição atmosférica de modo a caracterizar um fator de risco para as populações expostas.

Segundo Brasil (2021),

Desde 2001, em conformidade com os princípios do SUS, o Ministério da Saúde, em articulação com o setor ambiental, desenvolve ações de Vigilância em Saúde Ambiental e Qualidade do Ar (Vigiar), na perspectiva da promoção da saúde da população. As ações desta unidade técnica integram o conjunto de atribuições da Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental do Departamento de Saúde Ambiental, Saúde do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública, da Secretaria de Vigilância em Saúde (CGVAM/Dsast/SVS) (BRASIL, 2021, p. 13).

Ao Vigiar compete as ações de (BRASIL, 2021):

- Identificação e priorização dos municípios de risco de exposição humana a poluentes atmosféricos;
- Definição de áreas de atenção ambiental atmosférica de interesse para a saúde;

- Identificação dos efeitos agudos e crônicos da exposição a poluentes atmosféricos para a caracterização da situação de saúde.

Para a atuação dessa vigilância, utiliza-se o Instrumento de Identificação de Municípios de Risco (IIMR) e a estratégia de Unidade Sentinela como principais ferramentas.

No Paraná o Instituto Água e Terra - IAT monitora a qualidade do ar desde a década de 80. A ampliação da rede para as demais regiões do Estado iniciou-se em 2016, com aquisição de 7 novas estações automáticas (IAT, 2023).

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo adota uma abordagem de revisão bibliográfica, fundamentada em pesquisas prévias sobre indústrias cimenteiras, produção de cal, calcário e coprocessamento e os impactos associados à saúde humana e ao meio ambiente.

Para atingir esse propósito, os bancos de dados *Scopus*, Google Acadêmico e Periódicos Capes foram empregados como fontes de pesquisa através de acesso *online* e estendeu-se pelo período de 05 de agosto a 30 setembro de 2023. Os critérios de inclusão estabelecidos compreendem a seleção de artigos de estudos primários e que avaliaram impactos sociais, na saúde e no meio ambiente decorrentes da indústria de cal, calcário e cimento, publicados apenas nos idiomas português e inglês. Os termos empregados na pesquisa abrangeram uma variedade de combinações-chave, incluindo "qualidade do ar", "indústrias cimenteiras", "coprocessamento", "problemas respiratórios", "meio ambiente", "impactos", "cimento", "monitoramento" (qualidade do ar + indústrias cimenteiras), (coprocessamento + qualidade do ar), (problemas respiratórios + qualidade do ar), (meio ambiente + qualidade do ar), (impactos + indústrias cimenteiras), (cimento + qualidade do ar), (monitoramento + qualidade do ar), (air quality + cement industries), (coprocessing + air quality), (respiratory problems + air quality), (environment + air quality), (impacts + cement industries), (cement + air quality), (monitoring + air quality). Os artigos selecionados a partir dos termos de busca, foram filtrados por meio da leitura de seus títulos e resumos e os trabalhos que se encaixaram no critério foram incluídos nesta revisão, e tiveram suas referências analisadas.

A seleção considerou artigos publicados entre outubro de 2004 até setembro de 2023, utilizando as palavras chaves combinadas com os filtros de pesquisas selecionados na caixa de relevantes e filtros de pesquisas selecionados na caixa de recentes sobre o tema.

Assim, não foram incluídos estudos de revisão, estudos publicados em outras línguas, e estudos que não tenham avaliado impactos sociais, à saúde e ao meio ambiente decorrentes da indústria de cal, calcário e cimento.

As informações extraídas foram tabuladas em um quadro para sintetizar e quantificar os estudos, destacando: i) autor (es); ii) título do estudo; iii) local de realização, iv) impactos reportados; v) resultados; vi) fonte da publicação; vii) e ano

de publicação. Dos 29 artigos identificados inicialmente, apenas 17 foram considerados pertinentes para fornecer uma análise das evidências científicas sobre esses impactos. Os resultados dos artigos analisados foram quantificados conforme seus impactos. Entre os 17 artigos analisados, 5 abordam impactos na saúde da população local, 3 apresentam impactos na saúde e meio ambiente, 3 estudos tratam de impactos socioambientais, 2 apresentam impactos socioeconômico e ambiental, 2 estudos discorrem de impactos ambientais, 1 explora sobre os impactos socioambientais e na saúde, 1 estudo mostra os impactos econômicos e ambientais.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com a revisão da literatura realizada evidencia-se que a produção de cimento tem sido essencial para o progresso socioeconômico. No entanto, os seus processos, englobando a composição, o consumo energético e a utilização de recursos naturais, juntamente com todo o ciclo de vida, incluindo-se os subprodutos e resíduos gerados, pode resultar em impactos ambientais e efeitos nocivos à saúde. Estes impactos têm abrangência local, regional e até mesmo global quando se considera o dióxido de carbono. Mas também foi possível verificar que observando normas, legislações e as melhores tecnologias disponíveis, há como minimizar estes impactos, aspectos que serão apresentados neste capítulo.

### **5.1 Impactos da indústria de cimento, cal e calcário**

Na pesquisa realizada para esta revisão de literatura, nas bases de dados utilizadas, um total de 17 artigos acadêmicos apresentaram os impactos relacionados aos agravos na saúde humana e no meio ambiente em áreas próximas às indústrias de cimento e cal. Os estudos selecionados foram publicados no período entre os anos de 2004 e 2023 (Quadro 1).

Os resultados dos artigos indicaram que independentemente da localidade ou país de estudo, as indústrias exercem impactos substanciais.

**Quadro 1: Lista de trabalhos científicos incluídos na revisão sistemática a partir da busca dos bancos de dados Scopus, Google Acadêmico e Periódicos Capes.**

Autor(s)	Título do estudo	Local	Impactos	Resultados	Fonte	Ano de publicação
Schuhmacher, et al.	Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood.	Catalunha Espanha	- Impactos Ambientais e na Saúde	Poluentes emitidos permeiam a biosfera e afetam indiretamente a saúde humana, riscos toxicológicos e cancerígenos.	Environmental Research	2004
Bakonyi et al.	Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR.	Curitiba - PR	Impactos na Saúde	Aumento das consultas por doenças respiratórias.	Revista Saúde Pública	2004
Bertoldi et al.	Health effects for the population living near a cement plant: An epidemiological assessment.	Itália	Impactos na Saúde	Aumento de internações hospitalares por doenças respiratórias e cardiovasculares.	Environment International	2012
Uwasu et al.	World cement production and environmental implications.	China	Impacto Econômico e Ambiental.	Eliminação da demanda excessiva poderia resultar em reduções substanciais das emissões de CO <sub>2</sub> e poluentes locais, sem prejudicar o desenvolvimento econômico.	Environmental Research	2014
Chen et al.	Pollutants generated by cement production in China, their impacts, and the potential for environmental improvement.	China	Impacto Socioeconômico e Ambiental	Impactos gerados contribuíram para a carga ambiental de emissão global. Melhor Eficiência e ACV, contribui para tomadas de decisão políticas, de impactos, e crescimento do segmento.	Journal of Cleaner Production	2015
Hua et al.	Atmospheric emission inventory of hazardous air pollutants from China's cement plants: Temporal trends, spatial variation characteristics and scenario projections.	China	Impacto Ambiental	Substituição de fornos reduziram substancialmente as emissões de poluentes. E a emissão é desigual relacionado a concentração das fábricas e o volume de consumo de carvão.	Atmospheric Environment	2016

(continua)

**Quadro 1: Lista de trabalhos científicos incluídos na revisão sistemática a partir da busca dos bancos de dados Scopus, Google Acadêmico e Periódicos Capes.**

<b>Autor(s)</b>	<b>Título do estudo</b>	<b>Local</b>	<b>Impactos</b>	<b>Resultados</b>	<b>Fonte</b>	<b>Ano de publicação</b>
Shen et al.	Cement industry of China: Driving force, environment impact and sustainable development.	China	Impacto Socioeconômico e Ambiental	Uso de resíduos sólidos, cimento promissor com matérias-primas baratas, baixo teor de poluentes e subprodutos residuais.	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2017
Kholodov et al.	Identification of cement in atmospheric particulate matter using the hybrid method of laser diffraction analysis and Raman spectroscopy.	Primorsky Krai - Rússia	Impactos Ambientais e na Saúde	Contaminação por PM <sub>10</sub> em toda cidade e morbidade da população.	Heliyon	2020
Moraes et al.	Incidência de doenças do aparelho respiratório em cidades circunvizinhas (até 50 km) a Indústria cimenteira na região sudeste do Brasil.	Região Sudeste - Brasil	Impactos na Saúde	Impactos significativos na saúde das populações próximas a cimenteiras.	Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB)	2020
Silva et al.	Deposition of potentially toxic metals in the soil from surrounding cement plants in a Karst area of southeastern Brazil.	Região Sudeste - Brasil	Impactos Ambientais e na Saúde	Contaminação do solo/ riscos carcinogênicos para população a longo prazo.	Conservation	2020
Ferreira et al.	Análise dos impactos socioambientais da fabricação da cal no assentamento Ubá, Santa Quitéria - CE.	Santa Quitéria - CE	Impactos Socioambientais	Degradação ambiental Condições insalubres.	Meio Ambiente em Foco	2020
Souza et al.	Análise dos impactos socioambientais provocados pela lavra de calcário: Distrito de Soledade, Apodi - RN.	Apodi - RN	Impactos Socioambientais	Degradação ambiental.	Realize Editora	2022

(continuação)

**Quadro 1: Lista de trabalhos científicos incluídos na revisão sistemática a partir da busca dos bancos de dados Scopus, Google Acadêmico e Periódicos Capes.**

<b>Autor(s)</b>	<b>Título do estudo</b>	<b>Local</b>	<b>Impactos</b>	<b>Resultados</b>	<b>Fonte</b>	<b>Ano de publicação</b>
Vormittag et al.	Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil.	Brasil	Impactos Socioambientais e na Saúde	Agravos na saúde da população e falta de infraestrutura no monitoramento da qualidade ambiental.	Revista USP	2021
Oliveira Filho et al.	Simulação da sinergia de emissões atmosféricas do polo cimenteiro do litoral sul da Paraíba na cidade de Alhandra.	Alhandra - PB	Impactos Ambientais	Não houve impactos significativos na poluição do ar no período realizado pelo estudo.	Ciências Agrárias e Biológicas	2022
Nasir et al.	Modeling air pollution health risk for environmental management of an internationally important site: The salt range (Kallar Kahar), Pakistan.	Paquistão	Impactos na Saúde	Impactos significativos na saúde da comunidade local.	Atmosphere	2022
Seidel et al.	Panorama da mineração na Paraíba: a industrialização como promessa de desenvolvimento.	Paraíba - Brasil	Impactos Socioambientais	Degradação ambiental Conflitos na comunidade local.	Geopauta	2023
Beketie et al.	Impact of cement factory emission on air quality and human health around Muger and the surrounding villages, Central Ethiopia.	Muger - Etiópia	Impactos na Saúde	Aumento de doenças respiratórias na população do entorno.	Air Quality Atmosphere & Health	2023

**Fonte: Autoria própria (2023).**



Segundo Schuhmacher et al. (2004), substâncias químicas podem ser transferidas da fonte para a atmosfera e, posteriormente, para os seres humanos, geralmente por meio da inalação do ar. No entanto, esses compostos químicos também têm o potencial de ultrapassar os limites ambientais, como o solo, a água, a vegetação etc., afetando indiretamente a saúde humana. Isso pode ocorrer por meio da contaminação da água potável ou subterrânea, da absorção cutânea dos poluentes presentes na água ou no solo, da ingestão de alimentos contaminados, entre outros mecanismos.

Conforme Bakonyi et al. (2004) em um estudo realizado durante o período de 1999 a 2000 na cidade de Curitiba, há uma correlação significativa entre a exposição a poluentes atmosféricos e o aumento nas consultas médicas por doenças respiratórias em crianças. A associação entre poluição atmosférica e morbidade, mesmo em cenários onde os níveis de poluentes se mantêm relativamente baixos, podem ter impactos negativos na saúde de grupos vulneráveis. É importante destacar que a interação entre diferentes poluentes contribui para a intensificação desses efeitos negativos.

As comunidades próximas a instalações de produção de cimento podem sofrer um impacto significativo nas taxas de internações hospitalares, especialmente em casos relacionados a problemas cardiovasculares em adultos e problemas respiratórios em crianças com idades entre 0 e 14 anos, conforme destacado por Bertoldi et al. (2012).

Segundo Uwasu et al. (2014) o cimento, além de ser a base indispensável para infraestruturas e construção civil, é essencial para crescimento de um país. Contudo, devido ao uso intensivo de energia na produção e a geração de poluição, é importante a gestão da demanda. Decorrente disso, o estudo tratou de análises estatísticas econométricas para confirmar se a produção de cimento *per capita* converge para algum nível ou tendência de produção usando dados de 1978 a 2007 dos países da Europa, América do Norte, América do Sul, África, Ásia, Oceania e Oriente Médio e, os fatores significativos na determinação dos níveis de produção, relacionando as implicações ambientais sobre uso dos recursos minerais e os produtos industriais. De acordo com os autores, apesar dos níveis variarem entre os países, a produção de cimento *per capita* tende a convergir a longo prazo entre os níveis de rendimento e a procura do mesmo nos países. E que, as características e/ou fatores regionais,

associado a estrutura tecnológica de produção obsoleta, em determinados países, tem um papel significativo na determinação destes níveis e, nas implicações ambientais de poluição atmosférica e alterações climáticas. Os autores argumentam que o aprimoramento das tecnologias de produção, alteração da estrutura de procura/demanda excessiva, a implementação de políticas internas eficazes, considerando as características regionais, são desafios para equilibrar o desenvolvimento, os recursos energéticos e a conservação ambiental, mas que podem resultar em reduções substanciais de emissão da poluição ambiental.

O estudo de Chen et al. (2015), abordou os poluentes gerados pela indústria de cimento na China, seus impactos e o potencial de melhoria ambiental através da realização de análise do ciclo de vida híbrida, baseada em estatísticas nacionais e provinciais sobre o consumo de energia (eletricidade e carvão) acerca dos poluentes gerados pela indústria de cimento e os impactos desses poluentes atmosféricos durante a produção, sendo utilizadas como dados para substituir os dados locais relacionados, e conseqüentemente no potencial de melhoria ambiental. A partir das análises, os autores verificaram que os impactos gerados pelos materiais inorgânicos respiratórios ( $PM_{2,5}$ ), aquecimento global e as energias não renováveis contribuíram para carga ambiental de emissão global, e que devido a isso é necessário o aprimoramento na recuperação e eficiência energética das categorias mencionadas. É recomendado o aperfeiçoamento da infraestrutura dos processos de produção, bem como otimização da distância, do tipo de transporte, do consumo de calcário, etc. Desta forma contribuirá para o progresso do ciclo de vida da indústria cimenteira, bem como para tomadas de decisão políticas, de impactos, e crescimento do segmento na China.

O estudo de Hua et al. (2016), abrange um inventário no período de 1980 a 2012 face às emissões plurianuais da indústria de cimento da China com relação aos poluentes atmosféricos perigosos – HAPs como: dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP) e os metais pesados tóxicos - HMs, como mercúrio (Hg), cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb), zinco (Zn), arsênico (As), níquel (Ni) e cobre (Cu), cujas emissões concentram-se principalmente nas províncias orientais e costeiras decorrente das instalações das indústrias cimenteiras e ao seu enorme volume de consumo de carvão. Considerando que a China é a maior produtora e consumidora de cimento do mundo, a produção

gera em torno de 20% a 30% do total de emissões nacionais de material particulado e 40% do total de emissões industriais no país. A análise se baseou em fatores de emissões dinâmicas, tecnologia e produção anual detalhada de cimento em diferentes tipos de fornos e plantas, estimando as estatísticas de produção por província, fatores de emissão específicos - EFs de cada tipo de fornos: eixo e rotativos, sendo estes pré aquecedores de suspensão-NSP e rotativos-OR e, os efeitos da remoção por uso de tecnologias de controle de emissão como a de redução seletiva não catalítica-SNCR. Sobre a substituição dos fornos, um dos fatores do estudo aborda o consumo de carvão conforme o tipo de fornos referente aos poluentes  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{CO}$ , citando por exemplo, os valores do  $\text{SO}_2$  ( $\text{g.kg}^{-1}$  de carvão), nos fornos de NSP é de  $2,9 \text{ g.kg}^{-1}$ , fornos de eixo e rotativo são de  $12,3 \text{ g.kg}^{-1}$ . Diante disso, apesar dos custos consideráveis, os resultados mostram que as emissões totais de vários poluentes atmosféricos perigosos foram reduzidos e tendem a reduzir substancialmente no futuro com uso desses fornos de pré aquecedores de suspensão-NSP em substituição aos antigos fornos, bem como implementação de padrão de emissão de poluentes atmosféricos mais rigorosos, até então, menores e com poucos padrões de emissão disponíveis em nível nacional se comparados com os países desenvolvidos e, políticas de controle mais relevantes considerando o aumento da taxa de urbanização e otimização da estrutura da indústria cimenteira chinesa, assim como a promoção de dispositivos de controle mais eficiente como a SNCR.

De acordo com Shen et al. (2017), vários estudos abordando impacto potencial à saúde e ao meio ambiente estão associados às emissões na produção de cimento decorrentes das chaminés de combustão, com a liberação de gases e materiais particulados, os quais podem conter metais tóxicos e volatilidade distintas, o que pode ser um fator de risco tanto aos trabalhadores da fábrica de cimento como à comunidade local. A China em 2014 foi responsável por cerca de 60% da produção global de cimento, decorrente disso foi feita uma revisão sobre a produção global de cimento face a força motriz, o impacto ambiental e o desenvolvimento sustentável da indústria cimenteira naquele ano, abordando dados da sociedade, da economia e da indústria, o grau de reciclagem e apresentação de uma forma eficiente para a mesma. Segundo o estudo e os dados, a produção cimento tende a aumentar, e a emissão de poluentes tende a reduzir com a questão dos resíduos sólidos, para tal, se faz necessário encontrar um cimento promissor para o futuro, com matérias-primas

baratas, abundante, de valor potencial, baixo teor de carbono, sem alto consumo de energia, baixo teor de poluentes e com uso de subprodutos residuais.

Kholodov et al. (2020) conduziram um estudo que utilizou várias técnicas para avaliar o material particulado atmosférico em uma cidade onde está localizada uma fábrica de cimento. O estudo revelou a presença de partículas de cimento (MP<sub>10</sub>) em todas as amostras coletadas na cidade, inclusive a uma distância de até 12 km além da área de proteção estabelecida para a fábrica de cimento. Essa fábrica emprega o processo a seco na fabricação de cimento e instala equipamentos de filtragem para reduzir a emissão de poeira na atmosfera. O estudo relatou que a produção de cimento em Spassk-Dalny, juntamente com outras fontes de poluição, está associada à morbidade geral da população local e à poluição ambiental.

Moraes et al. (2020) analisaram dados de morbidade em cidades situadas a até 50 km de indústrias cimenteiras, no período de 1998 a 2017. Os resultados revelaram um aumento na incidência de doenças do sistema respiratório em 46,2% das cidades localizadas a uma distância entre 10 e 20 km das referidas indústrias.

Silva et al. (2021) realizaram um estudo sobre a contaminação do solo por Poluentes Traço Metálicos (PTM) como: cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, manganês, níquel e zinco nas áreas próximas a fábricas de cimento localizadas em regiões cársticas do sudeste brasileiro, conhecidas como Grupo Bambuí. O estudo não se limitou apenas à concentração desses elementos, mas também empregou os índices de contaminação (Igeo) e enriquecimento (EF). Esses parâmetros indicaram uma contaminação por PTM acima do limiar considerado "insignificante", o que acarreta preocupações ambientais, relacionadas à contaminação do solo nas imediações da fábrica de cimento na área de estudo. Como resposta a tais achados, o autor propõe a integração dos índices de contaminação e enriquecimento (Igeo e EF) como ferramentas essenciais nos programas de monitoramento da poluição por PTM, destacando a relevância desses indicadores nos Sistemas de Gestão Ambiental das indústrias cimenteiras.

Dois estudos distintos realizados nos assentamentos de Ubá, município de São João do Araguaia no estado do Pará e no Distrito de Soledade conforme Ferreira et al. (2020), e no município de Apodi no estado do Rio Grande do Norte conduzido por Souza et al. (2022) revelaram os impactos socioambientais da atividade de fabricação da cal. Esses estudos evidenciaram um quadro de degradação ambiental e desafios

sociais enfrentados pelas comunidades afetadas. Ambos os estudos destacaram a poluição do ar e a perda de recursos naturais como consequências da atividade caieira. Além disso, questões sociais, como condições precárias de trabalho, também foram identificadas. Apesar dos estudos serem conduzidos em contextos geográficos diferentes, as semelhanças nos impactos realçam a necessidade de políticas mitigadoras, educação ambiental e regulamentações mais rigorosas para proteger o meio ambiente e o bem-estar das comunidades.

A qualidade do ar é uma preocupação indiscutível, desempenhando um papel fundamental na avaliação das concentrações de poluentes atmosféricos e fornecendo informações cruciais sobre a sua condição. Além disso, ao criar um registro histórico de dados ao longo do tempo, ele capacita os responsáveis pela formulação de estratégias e políticas públicas destinadas a promover e manter uma qualidade do ar em níveis satisfatórios (VORMITTAG, 2021).

Por outro lado, o estudo de Oliveira Filho et al. (2022), realizado no município de Alhandra, na Paraíba, abrangendo também as localidades vizinhas de Pitimbu e Caaporã, aplicou modelos de dispersão atmosférica para material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) provenientes de três fontes pontuais para avaliar os possíveis impactos na qualidade do ar nessas cidades. Os resultados revelaram que não foram observados impactos significativos na qualidade do ar nas três localidades, e não houve violação nos padrões estabelecidos para a qualidade do ar. Essa variação nos resultados destaca a complexidade do tema e a necessidade de abordagens metodológicas variadas na pesquisa ambiental, devido às diferentes condições ambientais e impactos da indústria em áreas diversas.

O estudo conduzido por Nasir et al. (2022), fornece evidências que ressaltam a importância do monitoramento da qualidade do ar. O estudo utilizou dados de monitoramento coletados por meio do software AirQ+ na região salina de Kallar Kahar no ano de 2018. Os resultados dessa pesquisa revelam impactos significativos dos poluentes atmosféricos na saúde da população local, incluindo a mortalidade por câncer de pulmão relacionada ao ( $\text{MP}_{2,5}$ ) e a mortalidade pós-neonatal associada ao ( $\text{MP}_{10}$ ). Esses dados ressaltam a influência direta que a qualidade do ar exerce sobre a saúde das comunidades.

A Paraíba é reconhecida como um polo cimenteiro, e o estudo de Seidel et al. (2023) enfatiza o dilema entre o desenvolvimento econômico do estado e os

consideráveis impactos socioambientais associados a essa indústria. O estudo destaca os impactos ambientais, como a poluição do ar e as emissões de gases de efeito estufa, e destaca a necessidade de tecnologias mais limpas e da contribuição significativa da indústria de cimento para as mudanças climáticas globais. Além disso, a autora aborda conflitos entre comunidades locais e empresas de cimento, ressaltando a importância da responsabilidade empresarial e da participação comunitária na gestão desses impactos.

Estudos realizados em diferentes partes do mundo, incluindo Mughher-Etiópia e Brasil, demonstram o impacto negativo da proximidade de indústrias cimenteiras nas comunidades circundantes. Beketie et al. (2023) destacaram um aumento significativo de doenças relacionadas à exposição a partículas em suspensão ( $MP_{10}$ ) e ( $MP_{2,5}$ ), como bronquite aguda e alergias respiratórias, com uma taxa de 50,9% em faixas etárias mais jovens, de 0 a 14 anos. Para a faixa etária de 15 a 60 anos, o impacto foi de 47%.

## **5.2 Instrumentos de mitigação de impactos**

As evidências científicas citadas demonstram o grave prejuízo da toxicidade da qualidade do ar à saúde e ao meio ambiente decorrente do segmento cimentício, há tempos e com o agravamento nos últimos anos. Por essa razão, é necessário que as empresas busquem novas opções e soluções, tais como sistemas de gerenciamento, monitoramento de emissões e efeitos nocivos à saúde, tecnologias mais ecoeficientes para minimizar os impactos socioambientais.

Ainda são poucos os estudos que investigam esses impactos. No entanto, a análise de políticas públicas é uma área de pesquisa crescente, que busca entender a eficácia e o impacto das políticas públicas em diferentes áreas. A avaliação e o monitoramento são fases imprescindíveis do planejamento estatal, ocupando também espaço crescente nas pesquisas acadêmicas.

Com mais estudos, pode-se ter uma melhor compreensão e talvez políticas de controle mais efetivas. A avaliação de políticas públicas pode ser dividida em dois tipos: a avaliação acadêmica, que é mais formal e foca a efetividade das políticas, seus impactos e benefícios; e a avaliação da implementação, que privilegia o exame de sua eficiência e eficácia.

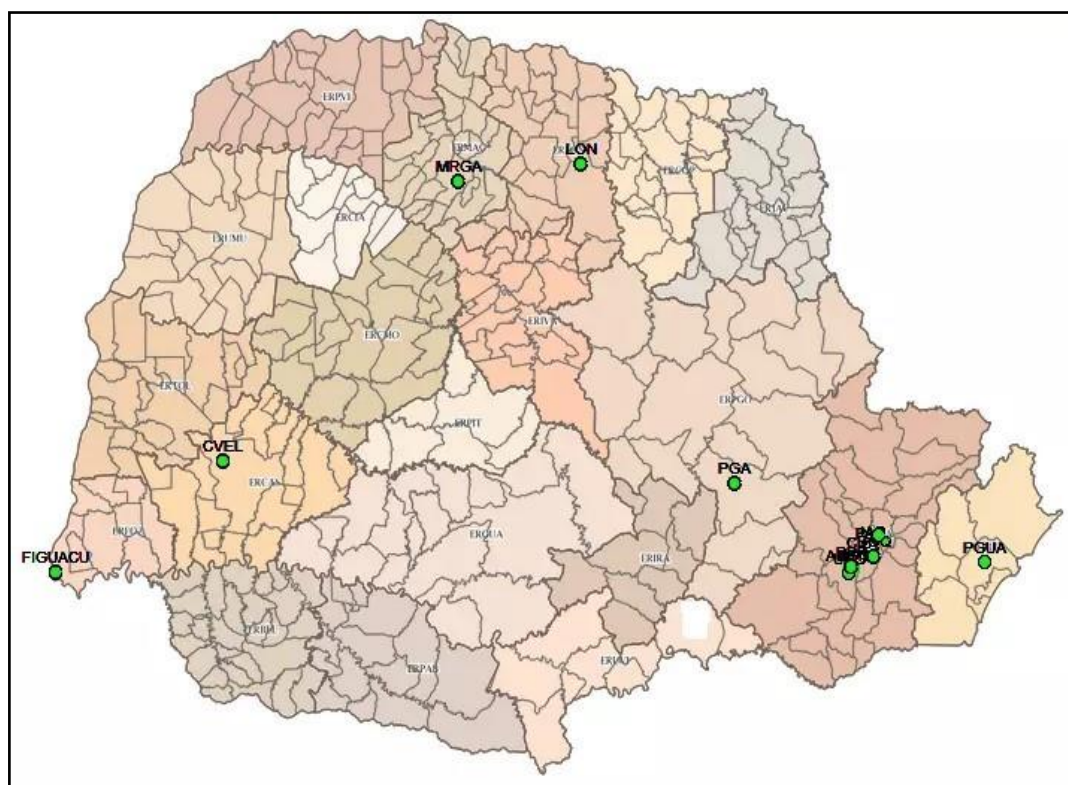
Existem diversas ações e soluções que podem contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do ar em áreas afetadas pela poluição atmosférica.

### **5.2.1 Monitoramento da Qualidade do Ar**

O monitoramento da qualidade do ar é a chave de partida para mensurar as concentrações dos poluentes atmosféricos, gerar dados confiáveis e abrangentes sobre as condições diárias da qualidade do ar, de modo que os interessados e/ou afetados tenham conhecimento sobre o ambiente em questão, para se prevenirem de seus efeitos, e se mobilizarem pela melhoria da qualidade do ar, fazendo jus ao direito de um ambiente ecologicamente equilibrado. O monitoramento contínuo constrói um histórico de dados e habilita os tomadores de decisão a planejar ações e políticas públicas no sentido de assegurar a boa qualidade do ar (BRASIL, 2020; MCLAREN et al., 2015).

O estado do Paraná, através da atuação do Instituto Água e Terra, tem mantido desde a década de 80, uma rede de monitoramento da qualidade do ar, com o propósito de avaliar os níveis de poluição atmosférica em diferentes escalas de abrangência, especialmente em Curitiba e na Região Metropolitana. Inicialmente, o monitoramento era executado por meio de cinco estações manuais. Em 1998, foi implementado o monitoramento automático, possibilitando o acompanhamento em tempo real dos resultados obtidos (IAT 2023).

O estado enfrenta uma escassez de equipamentos e profissionais para monitorar a qualidade do ar, conforme demonstrado na Figura 1. Seis estações estão distribuídas nas cidades de Ponta Grossa, Paranaguá, Londrina, Maringá, Foz do Iguaçu e Cascavel, constituindo assim a Rede Estadual de Qualidade do Ar. O processo de expansão da rede para abranger as demais regiões do Estado foi iniciado em 2016, por meio da aquisição de sete novas estações automáticas (IAT 2023).

**Figura 1: Mapa da Rede Estadual da Qualidade do Ar.**

Fonte: IAT (2023).

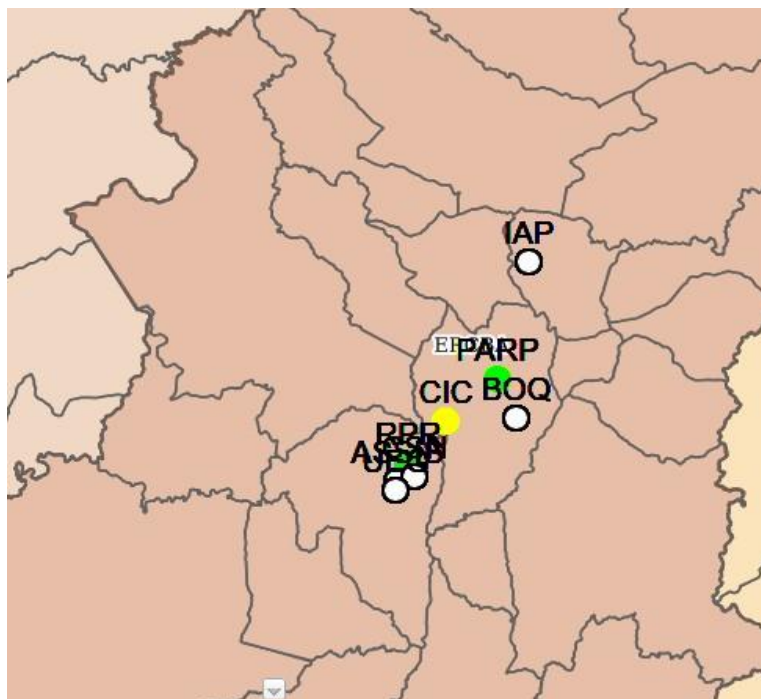
O monitoramento iniciou-se na Região Metropolitana de Curitiba com a operação de quatro estações de amostragem do ar, fixas manuais, localizadas uma em Curitiba e três em Araucária. Estas estações analisavam três dos sete parâmetros previstos em Lei (antiga Resolução CONAMA 03/90): Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Fumaça (IAT, 2023).

A partir do ano 2000, observou-se uma expansão da rede automática, que, em 2017, passou a contar com oito estações automáticas distribuídas nas cidades de Curitiba e Araucária. As últimas três estações manuais, localizadas nos municípios de Araucária, Colombo e Curitiba, foram desativadas em 2015. Além disso, em 2000, teve início a publicação dos relatórios anuais da qualidade do ar, os quais passaram por modificações ao longo das edições e estão disponíveis para consulta online no site institucional (IAT, 2017).

Conforme ilustrado na Figura 2, acerca da região metropolitana de Curitiba, vale salientar dois importantes polos econômicos de cal e cimento para a economia do estado, como Rio Branco do Sul e Campo Largo, os quais não dispõem de dispositivos para monitorar a qualidade do ar, ressaltando a necessidade de investimentos.



**Figura 2: Mapa das Estações na Região Metropolitana de Curitiba.**



Fonte: IQAr (2023).

A evidência dos municípios pode ser destacada na Figura 3 do mapa da região metropolitana de Curitiba. Nesta figura pode-se perceber que há uma concentração maior de equipamentos de monitoramento do ar na capital e na cidade de Araucária. Porém nas cidades mencionados como polos de indústrias cimenteiras não há qualquer estação de monitoramento.

**Figura 3: Mapa da Região Metropolitana de Curitiba.**



Fonte: Bem Paraná (2023).

### 5.2.2 Outros Instrumentos

Além do monitoramento da qualidade do ar através de equipamentos que determinam a concentração de gases e materiais particulados, permitindo verificar se os valores limites estabelecidos pela legislação estão sendo cumpridos, os bioindicadores são também importantes instrumentos de avaliação, pois estes permitem avaliação direta do impacto no ser vivo selecionado. De acordo com o estudo conduzido por Boonpeng et al. (2023), a utilização de bioindicadores para avaliar os efeitos de longo prazo da poluição causadas por poeiras alcalinas demonstrou ser eficaz e confiável. Os resultados da pesquisa revelaram que a vegetação sofreu impactos decorrentes da poeira em uma distância que variou de 6 a 7 km em relação à área industrial principal foi a *Alstonia scholaris*, uma árvore tropical perene encontrada em larga distribuição na Tailândia e em diversos outros países tropicais. É relevante destacar que as poeiras contêm diversos componentes tóxicos com potenciais impactos na saúde humana e no meio ambiente, enfatizando a importância de estabelecer cinturões verdes de proteção em torno das fontes de emissões. Isso destaca a necessidade de ações eficazes para minimizar a poluição e proteger a saúde da comunidade e o ambiente.

Já para medidas de prevenção de emissões é fundamental promover o uso de fornos eficientes e a modernização dos equipamentos, processo mais ecoeficiente tanto para a indústria de cal como a cimenteira. Isso inclui o estímulo à substituição de fornos artesanais de alvenaria e à atualização de fornos verticais de cuba simples por sistemas verticais de fluxo paralelo regenerativo. Essa tecnologia demonstra ter uma eficiência energética superior e contribui para mitigar emissões de CO<sub>2</sub> (JOHN et al., 2014).

Para apoiar essas iniciativas, é essencial considerar o aumento de incentivos destinados a melhorar a eficiência energética, como a criação de um sistema financeiro e infraestrutura adequada. Além disso, a busca por iniciativas internacionais que facilitem a transferência de tecnologia pode ser uma fonte valiosa para tais medidas.

A pesquisa e desenvolvimento de cimentos alternativos que se baseiam em matérias-primas amplamente disponíveis, buscam baixa emissão de dióxido de carbono e demais poluentes, além de menor consumo de energia. A incorporação de

resíduos ou materiais alternativos como plásticos, biomassas, cavacos de madeira, palha de arroz, caroço de açaí e casca de babaçu, configuram uma saída para a diminuição da extração de recursos naturais (ABCP, 2022). Para tal, pode-se associar a combinação inteligente de matérias-primas triviais com ferramentas e conceitos avançados, como é o caso do uso da reologia, que estuda o escoamento dos fluidos, no caso, a base de cimento, permitindo misturas fluidas com baixo teor de clínquer e outros ligantes como a escória (USP, 2013).

A substituição do combustível fóssil já conta com algumas tecnologias notáveis como o uso de hidrogênio. Um projeto-piloto conduzido na Inglaterra demonstrou a viabilidade de produzir cimento com sucesso usando uma combinação de combustíveis, composta por 49% de glicerina, 39% de hidrogênio e 12% de biomassa animal. Isso ressalta a possibilidade de incorporar o hidrogênio como parte dos esforços de descarbonização da indústria (BNDES, 2022).

O cimento Aether adota uma composição com belita como sua principal fase, enquanto incorpora sulfoaluminato de cálcio e alumínio ferrita de cálcio como outras duas fases predominantes. Essa formulação busca reduzir a presença de CaO, substituindo-o por maiores proporções de óxidos de alumínio e silício. Isso resulta em uma redução de 25% a 30% nas emissões de CO<sub>2</sub>, devido à diminuição do teor de CaO. Além disso, oferece economias adicionais nos processos de moagem e mistura devido às excelentes propriedades de moagem do clínquer Aether (BRASIL, 2017).

As empresas, especialmente as multinacionais, investem em práticas ambientais, mas muitas pequenas e médias enfrentam dificuldades com requisitos ambientais que aumentam os custos a ponto de ameaçar sua operação. Há décadas, estudos sobre a redução de poluentes industriais distinguem ações indiretas (prevenção de geração de poluentes) de ações diretas (corretivas para Equipamentos de Controle de Poluição do Ar (ECP)) para atender padrões legais. Estes equipamentos atuam como "filtros" para retirar parte dos poluentes, mas transferem os contaminantes para outro meio (sólido ou líquido). Os ECP's são classificados por características dos poluentes e mecanismos de controle, podendo operar a seco ou com líquidos. A seleção desses sistemas considera custo, eficiência de remoção, queda de pressão, temperatura e resistência (FERREIRA, 2018).

O gerenciamento eficiente de operação e manutenção dos sistemas de controle é crucial para manter as emissões dentro dos limites legais, prolongar a vida útil dos

equipamentos e garantir a eficiência dos processos. Os lavadores de gases são usados para controle de poluição, resfriamento e adição de líquidos ou vapores em fluxos gasosos, funcionando pela coleta de partículas sólidas por meio de contato com um líquido atomizado, geralmente água. Removem eficientemente material particulado e gases, sendo compactos e de construção simples. Porém, apresentam desafios, como alto potencial de corrosão, necessidade de aquecimento do gás de saída para evitar fuligem visível e alto consumo de energia devido às quedas de pressão e a necessidade de uma estação para tratamento dos efluentes líquidos. Aspectos técnicos na escolha desses sistemas incluem características do material a ser removido, concentração, temperatura, umidade e vazão dos poluentes na corrente de lavagem, entre outros. Os lavadores de gases podem ser torres de spray, lavadores de orifício, lavadores ciclônicos, lavadores de Venturi e lavadores de leitos fibrosos (FERREIRA, 2018).

### **5.3 Sugestões de ações e soluções**

Os municípios onde estão situadas as indústrias de cimento e cal desempenham um papel crucial na economia, na criação de empregos e no desenvolvimento tanto urbano quanto rural. No entanto, é essencial avaliar os potenciais impactos na saúde e no meio ambiente, especialmente na qualidade do ar, decorrentes dessas atividades industriais. Monitorar essas operações pode ser feito de três maneiras principais: pelas próprias empresas, pelas autoridades públicas e pela comunidade diretamente afetada.

Às empresas compete buscar a conformidade com as normas legais, mantendo-se vigilantes quanto às melhores práticas. Isso engloba desde a manutenção regular dos equipamentos de produção e controle de emissões até a educação ambiental dos colaboradores. Também deveriam estar atualizadas em termos de tecnologia para reduzir os impactos gerados, seguindo as soluções indicadas no item 5.2.

Cabe ao poder público realizar fiscalizações periódicas, especialmente em empreendimentos de grande porte com alto potencial de contaminação, ao menos a cada renovação de licença. Conforme a Resolução CONAMA nº 237/1997 (BRASIL, 1997), mencionada na base teórica, no artigo 19, o órgão ambiental competente tem autoridade para alterar os condicionantes e as medidas de controle ou até mesmo

suspender ou revogar uma licença, caso surjam inadequações ou riscos ambientais e de saúde graves. O cumprimento da legislação e a aplicação de penalidades são instrumentos disponíveis para significativa mitigação dos impactos.

Além disso, segundo Brasil (2021), é responsabilidade do poder público implantar o programa Vigiar, que se concentra na Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade do Ar, desempenhando um papel crucial na proteção das comunidades expostas à poluição atmosférica. A implementação desse programa deve acontecer em âmbitos federal, estadual e municipal, respeitando as particularidades de cada região. É fundamental ressaltar que a concepção e execução das atividades do programa devem envolver diferentes setores de forma interdisciplinar, dado o amplo impacto das questões sobre poluição do ar e suas consequências.

O programa Vigiar utiliza o IIMR (Instrumento de Identificação de Municípios de Risco), uma ferramenta do Ministério da Saúde, que analisa as fontes de emissão de poluentes e sua evolução por meio da taxa de mortalidade e internação por doenças respiratórias. Esta abordagem pode auxiliar os gestores na instalação de estações de monitoramento da qualidade do ar (BRASIL, 2021).

Outra ferramenta útil para o poder público em áreas sem monitoramento da qualidade do ar são as unidades sentinelas. São serviços de saúde que realizam vigilância epidemiológica em crianças menores de 5 anos e idosos acima de 60 anos, identificando agravos respiratórios e sintomas associados. Essas unidades permitem avaliar a situação epidemiológica local, coletar informações sobre a saúde da população e identificar os grupos mais suscetíveis aos efeitos da exposição aos poluentes atmosféricos, contribuindo para o planejamento e implementação de ações no programa Vigiar.

É fundamental que os municípios que hospedam esses tipos de indústrias mantenham estações de monitoramento da qualidade do ar em operação contínua, indo além do automonitoramento obrigatório das empresas.

O poder público tem a oportunidade de criar parcerias colaborativas com entidades privadas para implementar relógios digitais, algo já observado em cidades como São Paulo, em uma iniciativa da Prefeitura Municipal de São Paulo (2021), e em Recife, conforme a ação da Prefeitura do Recife (2022). Além de exibirem hora e temperatura, estes dispositivos fornecem informações em tempo real sobre a

qualidade do ar, impactando a conscientização ambiental e a promoção da saúde pública. Em áreas com instalações de cimento, a sugestão de implementar marcadores de dados de MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub> pode ser considerada como uma medida adicional. Ao disponibilizar informações sobre a qualidade do ar, os relógios digitais se tornam ferramentas eficazes para a administração proativa por parte das Prefeituras, permitindo ações imediatas diante de situações críticas, podendo colaborar com ações de autoproteção da comunidade, como evitar exercícios físicos ao ar livre e utilização de máscaras, por exemplo. Assim, a convergência entre avanços tecnológicos e parcerias público-privadas, contribuem para centros urbanos mais sustentáveis e favoráveis à saúde coletiva.

Uma alternativa adicional seria estabelecer mensagens de alerta e envio de SMS para os celulares da população quando a qualidade do ar local piorar, semelhante ao que a Defesa Civil faz com alertas de tempestades. Essas ações podem também abranger iniciativas de saúde, como campanhas de conscientização sobre o uso de máscaras em dias de má qualidade do ar, e programas de educação ambiental em escolas e empresas.

O poder público e as empresas podem, por meio de canais de ouvidoria e audiências públicas periódicas com a população afetada pela poluição do ar, estabelecer ajustes e metas em busca de uma convivência produtiva e sustentável. Tanto as empresas quanto o poder público precisam atender às reclamações da comunidade afetada, oferecendo esclarecimentos e tomando ações necessárias.

Atualmente, as empresas têm a oportunidade de serem referência ao melhorar a qualidade de vida da comunidade por meio de doações de equipamentos para monitorar a qualidade do ar. Em certos casos, oferecer equipamentos para medir a quantidade de partículas suspensas já seria de grande ajuda. Considerando que são indústrias de cimento, seria benéfico colaborar com a prefeitura local na construção de vias públicas, uma vez que estas são intensamente utilizadas para o transporte de produtos pesados e, ao serem pavimentadas com concreto, tornam-se mais resistentes e exigem menos manutenção. Isso reduziria o desgaste da frota e o consumo de combustível, contribuindo para a redução das emissões.

A melhoria na qualidade de vida das comunidades afetadas pela poluição atmosférica depende da cooperação entre setores público e privado. Isso deve ser direcionado por meio da alocação de recursos e diretrizes programáticas que

fortaleçam as decisões assertivas dos gestores públicos. O diálogo colaborativo dos vários setores envolvidos na temática - gestão pública, área de meio ambiente, transporte e setor industrial, é o caminho mais promissor no combate à poluição e suas consequências para a saúde e o meio ambiente.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo se baseou na análise e síntese das evidências científicas sobre impactos das indústrias de cimento e seus correlacionados, e da proposição de medidas mitigadoras, buscando contribuir na identificação dos impactos causados na saúde dos seres humanos e ao meio ambiente, identificando alguns riscos e doenças acometidas junto a produção, sugerindo algumas medidas preventivas.

No que se refere aos impactos, a exposição ao cimento ao longo da cadeia de produção afeta a saúde humana, resultando em diversas doenças e danos nos sistemas vitais do organismo, além de impactar os compartimentos ambientais, como água, ar, solo, fauna e flora, o que compromete a qualidade ambiental e o bem-estar da população devido à disseminação de poluentes, refletindo indiretamente na saúde humana.

Visando a mitigação, destaca-se a necessidade de um cimento mais sustentável, alinhado ao crescimento econômico e populacional, envolvendo métodos setoriais mais precisos, tecnologias mais eficientes, além da substituição por recursos renováveis e subprodutos para reduzir significativamente as emissões de poluentes e melhorar a qualidade de vida. A falta de monitoramento em certas áreas pode limitar a avaliação dos impactos na qualidade do ar, indicando a urgência de ações para abordar essa questão.

As ações propostas abordam medidas para reduzir a poluição nas áreas próximas às fábricas de cimento, visando um desenvolvimento conjunto que beneficie tanto as empresas quanto a comunidade de modo a reduzir ativamente as emissões de gases e partículas pelas indústrias.

Destacam-se as dificuldades na obtenção de dados e a falta de estudos sobre os impactos à saúde humana e ao meio ambiente nas áreas próximas às fábricas de cimento, ressaltando a necessidade de adotar tecnologias mais sustentáveis e de promover a responsabilidade corporativa para gerenciar esses impactos e evitar problemas futuros no meio ambiente, na saúde pública e na economia local.

Por fim, recomenda-se a realização de novos estudos abrangendo não apenas o processo de produção, mas todo o ciclo de vida do cimento. Essa abordagem mais ampla visa a aprofundar o entendimento da questão e a buscar soluções contínuas para os desafios apresentados.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6023**: informação e documentação: referências - elaboração. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018, versão corrigida 2, 24 set. 2020. Disponível em: <https://webapp.utfpr.edu.br/bibservices/gedWeb>. Acesso em: 01 ago. 2023.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. Disponível em: <https://webapp.utfpr.edu.br/bibservices/gedWeb>. Acesso em: 01 ago. 2023.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Panorama do coprocessamento 2019, ano base 2017**. Disponível em: [https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Panoramaco\\_processamento\\_2019\\_bx.pdf](https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Panoramaco_processamento_2019_bx.pdf). Acesso em: 08 ago. 2023.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Indústria do cimento contribui para destinação sustentável do lixo na região metropolitana de Curitiba**. Disponível em: <https://coprocessamento.org.br/industria-do-cimento-contribui-para-destinacao-sustentavel-do-lixo-na-regiao-metropolitana-de-curitiba/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Indústria de cimento traça metas para ampliar sustentabilidade**. Disponível em: <https://abcp.org.br/industria-de-cimento-traca-metas-para-ampliar-sustentabilidade/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Produção de cimento movida por biomassa**. Disponível em: <https://abcp.org.br/producao-de-cimento-movida-por-biomassa/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Indústria do cimento apresenta soluções e capacitação para a gestão de resíduos**. Disponível em: <https://abcp.org.br/industria-do-cimento-apresenta-solucoes-e-capacitacao-para-a-gestao-de-residuos-2/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

APL. APL da Cal e Calcário do Paraná. **Plano de desenvolvimento APL da cal e calcário do Paraná**. Disponível em: <https://www.gov.br/empresas-e-negocios/pt-br/observatorioapl/biblioteca-apl/planos-de-desenvolvimento-dos-apls/pdp-de-cal-e-calcario-do-parana.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2023.

BAKONYI, S. M. C. *et al.* Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, v. 38, p. 695–700, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/dWcD7vxWCRrcp7HtXytJc7t/?lang=pt> ou <https://doi.org/10.1590/S0034-89102004000500012>. Acesso em: 08 ago. 2023.

BEKETIE, K., ANGESSA, A., ZELEKE, T. *et al.* Impacto das emissões das fábricas de cimento na qualidade do ar e na saúde humana em torno de Muger e nas aldeias vizinhas, na Etiópia Central. **Air Qual Atmos Health** v. 15, p. 347–361, 2022. Disponível em: <https://doi-org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11869-021-01109-4>. Acesso em: 20 set. 2023.

BEM PARANÁ. **Região metropolitana de Curitiba completa 50 anos com população quatro vezes maior e mais que o dobro de municípios.** Disponível em: <https://www.bemparana.com.br/noticias/parana/regiao-metropolitana-de-curitiba-completa-50-anos-com-populacao-quatro-vezes-maior-e-mais-que-o-dobro-de-municipios/>. Acesso em: 15 ago. 2023.

BERTOLDI, M. *et al.* Health effects for the population living near a cement plant: An epidemiological assessment. **Environment international**, v. 41, p. 1-7, 2012. Disponível em: <https://doi.org/ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.envint.2011.12.005> ou <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412011002856?via%3Dihub>. Acesso em: 20 set. 2023.

BOONPENG, C., FUANGKEAW, P.; BOONPRAGOB, K. Casca, solo e líquenes são indicadores eficazes de poeira das indústrias de calcário na Tailândia. **Environment Monitoring and Assessment**, v.195, n.6, p. 681, 2023. Disponível em: <https://doi.org/ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-023-11264-z>. Acesso em: 13 set. 2023.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Hidrogênio de baixo carbono: oportunidades para o protagonismo brasileiro na produção de energia limpa.** Rio de Janeiro, 2022. 111 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/22665>. Acesso em: 05 ago. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Atos Normativos - Resolução CONAMA nº 237/1997.** Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 09 set. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Atos Normativos - Resolução CONAMA nº 416/2009.** Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 09 set. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 491/2018.** Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 09 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima – Volume III/** Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/clima/arquivos/destaques/terceira-comunicacao-nacional-do-brasil-a-unfccc-volume-iii.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTI. Organizador Régis Rathmann - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017. **Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de cimento.** Disponível em: <https://www.google.com/url?q=https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/arquivos/opcoes-de-mitigacao-de-emissoes-de-gee-em-setores>

chave/modelagem-setorial-de-opcoes-de-baixo-carbono-para-o-setor-de-cimento.pdf&sa=D&source=docs&ust=1695846877044550&usg=AOvVaw3XaA7A9fHcARMzao3VI0iv. Acesso em: 05 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. **Síntese de evidências para políticas de saúde:** reduzindo a emissão do poluente atmosférico: material particulado em benefício da saúde no ambiente urbano / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Ciência e Tecnologia. – Brasília: Ministério da Saúde, 2016. 52 p.: il. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/sintese\\_evidencia\\_politicas\\_saude\\_reduzindo\\_emissao\\_poluente\\_atmosferico.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/sintese_evidencia_politicas_saude_reduzindo_emissao_poluente_atmosferico.pdf). Acesso em: 13 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. **Polição atmosférica na ótica do Sistema Único de Saúde:** vigilância em saúde ambiental e qualidade do ar [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. – Brasília: Ministério da Saúde, 2021. 16 p.: il. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/poluicao\\_atmosferica\\_SUS\\_saude\\_ambiental.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/poluicao_atmosferica_SUS_saude_ambiental.pdf). Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância em saúde de populações expostas à poluição atmosférica (Vigiar).** Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/saude-ambiental/vigiar>. Acesso em: 30 jul. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA/MMA nº 499, de 6 de outubro de 2020 (\*).** Diário Oficial da União. Publicado em: 09/10/2020 | Edição: 195 | Seção: 1 | Página: 70. Disponível em: [https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-conama/mma-n-499-de-6-de-outubro-de-2020-\\*-282075827](https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-conama/mma-n-499-de-6-de-outubro-de-2020-*-282075827). Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA/MMA nº 491, de 19 de novembro de 2018.** Diário Oficial da União. Publicado em: 21/11/2018 | Edição: 223 | Seção: 1 | Página: 155. Disponível em: [https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-5105860](https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-5105860). Acesso em: 15 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Padrões de qualidade do ar.** Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padroes-de-qualidade-do-ar.html>. Acesso em: 20 out. 2023.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, DF: Presidência da República, [2020]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 13 out. 2023.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 10.650, de 16 de abril de 2003**. Esta Lei dispõe sobre o acesso público aos dados e informações ambientais existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, instituído pela Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2003/l10.650.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.650.htm). Acesso em: 13 out. 2023.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 08 ago. 2023.

BURSZTYN, M. A.; BURSZTYN, M. **Fundamentos de política e gestão ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2012. 612p. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/958712/mod\\_resource/content/3/Fundamentos%20de%20pol%C3%ADtica%20e%20gest%C3%A3o%20ambiental.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/958712/mod_resource/content/3/Fundamentos%20de%20pol%C3%ADtica%20e%20gest%C3%A3o%20ambiental.pdf). Acesso em: 15 ago. 2023.

CADE. Conselho Administrativo de Defesa Econômica. **Mercado de Cimento no Brasil**. Disponível em: [https://cdn.cade.gov.br/Portal/centrais-de-conteudo/publicacoes/estudos-economicos/cadernos-do-cade/DOI/Caderno-do-Cade\\_Mercado-de-Cimento\\_DOI\\_10.52896\\_dee.cc1.019.pdf](https://cdn.cade.gov.br/Portal/centrais-de-conteudo/publicacoes/estudos-economicos/cadernos-do-cade/DOI/Caderno-do-Cade_Mercado-de-Cimento_DOI_10.52896_dee.cc1.019.pdf). Acesso em: 08 ago. 2023.

CETESB. Conselho Ambiental do Estado de São Paulo. **Licenciamento Ambiental - Roteiros e Informações. Resoluções**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/legislacao-federal/resolucoes-federal/>. Acesso em: 08 ago. 2023. em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 13 out. 2023.

CETESB. Conselho Ambiental do Estado de São Paulo. **Padrões de qualidade do ar**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>. Acesso em: 13 out. 2023.

CETESB. Conselho Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar – poluentes**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

CETESB. Conselho Ambiental do Estado de São Paulo. BID. **Estudo de baixo carbono para a indústria de cal no estado de São Paulo de 2014 a 2030 [recurso eletrônico]**. Autores: José Milton de Freitas, René Vogelaar, Renato Vogelaar. Coordenação executiva: Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer. Coordenação técnica: Sérgio Almeida Pacca. Colaboradores: Bruna Chyoshi... [et al.]. 1.ed. atual. São Paulo: CETESB, 2018. 1 arquivo de texto (112 p.). Il. color., PDF; 9,56 MB.

CHATHAM HOUSE. **Making concrete change**: innovation in low-carbon cement and concrete. Disponível em: <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete-0/1-introduction>. Acesso em: 30 set. 2023.

CHATHAM HOUSE. **The cement sector: seven reasons why it needs to change**. Disponível em: <https://www.chathamhouse.org/2018/06/cement-sector-seven-reasons-why-it-needs-change>. Acesso em: 30 set. 2023.

CHEN, W.; HONG, J.; XU, C. Pollutants generated by cement production in China, their impacts, and the potential for environmental improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 61-69, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261400403X>. Acesso em: 05 ago. 2023.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Atos Normativos**. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 09 set. 2023.

DE ARAUJO, G. J. F. O coprocessamento na indústria de cimento: definição, oportunidades e vantagem competitiva. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 57, p. 52-61, 2020.

EUR-LEX – European UROPEAN UNION LAW. **Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe (PT)**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0050-20150918&qid=1696121000228>. Acesso em: 15 ago. 2023.

FERREIRA, J. M. de P.; FERREIRA, J. M. de P. Análise dos impactos socioambientais da fabricação da cal no Assentamento Ubá, Santa Quitéria-Ceará. **Meio Ambiente em Foco**, v. 12, p. 31.

FERREIRA, J. V. A. **Lavadores de gases nas indústrias**: uma breve revisão sobre os impactos da sua utilização no controle da poluição atmosférica, atendimento a legislação ambiental e saúde humana. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/23377/1/lavadoresgasesindustriasbvererevisao.pdf>. Acesso em: 30 set. 2023.

HUA, S.; TIAN, H.; WANG, K.; ZHU, C.; GAO, J.; MA, Y.; XUE, Y.; WANG, Y.; DUAN, S.; ZHOU, J. Atmospheric emission inventory of hazardous air pollutants from China's cement plants: Temporal trends, spatial variation characteristics and scenario projections. **Atmospheric Environment**, v. 128, p. 1-9, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231015306385>. Acesso em: 05 ago. 2023.

IAT. Instituto Água e Terra. **Informe mineral 01/2023**. Compensação financeira e royalties pela exploração de recursos minerais no Paraná em 2022. Disponível em: [https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2023-03/informemineral2023.pdf](https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-03/informemineral2023.pdf). Acesso em: 08 ago. 2023.

IAT. Instituto Água e Terra. **Monitoramento da qualidade do ar**. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Monitoramento-da-Qualidade-do-Ar>. Acesso em: 15 ago. 2023.

IAT. Instituto Água e Terra. **Qualidade do ar em tempo real (IQAr)**. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2023-03/rel\\_anual\\_iap\\_2017\\_-\\_rnc.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2023-03/rel_anual_iap_2017_-_rnc.pdf). Acesso em: 15 ago. 2023.

IAT. Instituto Água e Terra. **Relatório anual da qualidade do ar do Estado do Paraná**. [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2023-03/rel\\_anual\\_iap\\_2017\\_-\\_rnc.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2023-03/rel_anual_iap_2017_-_rnc.pdf). Acesso em: 15 ago. 2023.

IEMA. Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Recomendações para a expansão e a continuidade das redes de monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. Disponível em: [https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2022/07/IEMA\\_policypaper\\_qualidadedoar.pdf](https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2022/07/IEMA_policypaper_qualidadedoar.pdf). Acesso em: 08 ago. 2023.

IPT. Instituto de Pesquisa e Tecnologia. **Cimento verde**. Disponível em: [https://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=1286](https://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1286). Acesso em: 09 set. 2023.

JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K. R. G.; CINCOTTO, M. A. **Produção de cal**. In: Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. Ribeirão Preto - SP, 2014.

KHOLODOV, A. *et al.* "Identification of cement in atmospheric particulate matter using the hybrid method of laser diffraction analysis and Raman spectroscopy." **Heliyon**, v. 6, n. 2, p. e03299, 2020.

MCLAREN, J.; WILLIAMS, I. D. **The impact of communicating information about air quality events on public health**. *Science of Total Environment*, Waltham, n. 538, p. 478-491, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715304903>. Acesso em: 04 set. 2023.

MORAES, F. J. H.; ARAÚJO, E. Incidência de doenças do aparelho respiratório em cidades circunvizinhas (até 50 km) a indústria cimenteira na região sudeste do Brasil. In: CBEB 2020: XXVII **Congresso brasileiro de Engenharia Biomédica**, 2020, Vitória - ES.

NASIR A. H. *et al.* "Modeling air pollution health risk for environmental management of an internationally important site: the salt range (Kallar Kahar), Pakistan." **Atmosphere**, v. 13, n. 1, p. 100, 2022.

NEGRISOLI, J.; NASCIMENTO, C.F.L. Poluentes atmosféricos e interações por pneumonia em crianças. **Revista Paulista de Pediatria**, v.31, n.4, p.501-6, 2013. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3bgQL4DTXtpQFnr7nYRQMJz/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

OLIVEIRA, M. G. F. de. **ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050** / coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019 64 p.

OLIVEIRA FILHO, G. N de; ARAÚJO, B. de C. S. de; FIGUEIREDO, C. F. V. de. Simulação da sinergia de emissões atmosféricas do polo cimenteiro do litoral sul da Paraíba na cidade de Alhandra-PB. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 11, n.10, pág. e319111033031, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i10.33031. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33031>. Acesso em: 13 out. 2023

OLIVEIRA, V. C. H. *et al.* **Estratégias para a minimização da emissão de CO<sub>2</sub> de concretos.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/VFQfpB9t5vG7k4gnSKnJq7w/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 nov. 2022.

OMS. Organização Mundial da Saúde (WHO - World Health Organization). **OMS Diretrizes globais de qualidade do ar (WHO global air quality guidelines).** Disponível em: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.

OMS. Organização Mundial da Saúde (WHO - World Health Organization). **Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.** Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/107823>. Acesso em: 15 nov. 2023.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: partículas inaláveis (MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub>), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono.** Resumo executivo. Disponível em: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/54963/9789275724613\\_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/54963/9789275724613_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 09 ago. 2023.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre.** Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>. Acesso em: 09 ago. 2023.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Agenda para as Américas sobre saúde, meio ambiente e mudança climática 2021–2030.** Disponível em: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55385/OPASCDECE210004\\_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55385/OPASCDECE210004_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 09 ago. 2023.

PARANÁ. Instituto Água e Terra (IAT). **Resolução CEMA nº 107.** Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/O-que-e-Licenciamento-Ambiental>. Acesso em: 08 ago. 2023.

PARANÁ. Instituto Água e Terra (IAT). **Resolução SEMA nº 16/2014.** Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Legislacao>. Acesso em: 09 set. 2023.

PARANÁ. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável (SEDEST). **Resolução nº 76 de 30/11/2009 - Conselho Estadual de Meio Ambiente (CEMA) -** Disponível em: <https://www.sedest.pr.gov.br/CEMA>. Acesso em: 30 set. 2023.

PENA, I. R.; OLIVEIRA, R. F. de. **Avaliação da resistência do concreto simples**. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/2364/1459>. Acesso em: 09 ago. 2023.

RECIFE. Prefeitura do. Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação. **Prefeitura assina concessão dos relógios digitais e garante R\$ 100 milhões privados para o Recife**. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/noticias/21/09/2022/prefeitura-assina-concessao-dos-relogios-digitais-e-garante-r-100-milhoes>. Acesso em: 12 nov. 2023.

REIS, F. de F. S.; ZULLI, G. **Risco ocupacional aos trabalhadores da construção civil no contato com o cimento Portland: Estudo de Caso da Cidade de Curitiba – PR**. 2012. 83 páginas. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9332/2/CT\\_TCC\\_2012\\_1\\_04.PDF](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9332/2/CT_TCC_2012_1_04.PDF). Acesso em: 09 ago. 2023.

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. de F. C.; SANTOS, B. C. do E. **Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/3FybtBWKMpCPqCKSXhVnQvp/?lang=pt&format=pdf#:~:text=Uma%20das%20mat%C3%A9rias%2Dprimas%20utilizadas,do%20ao%20for no%20de%20cl%C3%ADnquer ou https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000100003>. Acesso em: 12 nov. 2022.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de. Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras. **Entenda a concessão dos relógios digitais de rua da cidade de São Paulo**. Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/sp\\_obras/noticias/?p=311847](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/sp_obras/noticias/?p=311847). Acesso em: 12 nov. 2023.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. de. **Calcário e dolomito**. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/CALCARIO%20E%20DOLOMITO.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SANTI, A. M. M.; SEVÁ FILHO, A. O. **Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações**. In: Encontro da ANPPAS - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2., 2004, Piracicaba. Anais. Encontro da ANPPAS, 2004. p.1-18. Disponível em: [https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/1295/1/EVENTO\\_Combust%c3%adveisRiscosAmbientais.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/1295/1/EVENTO_Combust%c3%adveisRiscosAmbientais.pdf) ou [http://www.ifch.unicamp.br/profseva/anppas04\\_SantiSeva\\_cimento\\_RMBH.pdf](http://www.ifch.unicamp.br/profseva/anppas04_SantiSeva_cimento_RMBH.pdf). Acesso em: 05 e 31 ago. 2023.

SANTOS, G. S.; MELO, S. W. C. **A Ecologia Industrial e a sua Aplicação na Agroenergia** - Comunicado Técnico 07 - Embrapa/Agroenergia. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105994/1/cot07.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2023.

SANTOS, H. L. *et al.* **Relação entre poluentes atmosféricos e suas consequências para a saúde**. Disponível em: [https://uniesp.edu.br/sites/\\_biblioteca/revistas/20190312105045.pdf](https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20190312105045.pdf). Acesso em: 08 ago. 2023.



SANTOS, L. B. **A indústria de cimento no Brasil: origens, consolidação e internacionalização.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/hnypgjBHkwHg9Vt53YMJWLj/>. Acesso em: 09 set. 2023.

SANTOS, M. M. de O. **Quarto inventário nacional de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa** – Relatórios de Referência (PNUD/MCTI). Disponível em: [2020\\_setor\\_processos\\_industriais\\_uso\\_produtos\\_subsetores\\_industria\\_mineral\\_quimica\\_metalurgica\\_prosutos\\_nao\\_energeticos\\_combustiveis\\_solventes\\_outros](#). Acesso em: 21 nov. 2022.

SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J. L.; GARRETA, J. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood. **Environmental Research**, v. 95, i. 2, p. 198-206, June 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935103001725>. Acesso em: 08 ago. 2023.

SEIDEL, M. A.; LIMA, G. F. da C.; SILVA, E. da. Panorama da mineração na Paraíba: a industrialização como promessa de desenvolvimento. **Geopauta**, v. 6, p.e10953, 2023.

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Lean Manufacturing: O que é e como funciona?** Disponível em: <https://senaies.com.br/news/lean-manufacturing-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

SHEN, W.; LIU, Yi; Yan, B.; WANG, J.; HE, P.; ZHOU, C.; HUO, X.; ZHANG, W.; XU, G.; DING, Q. Cement industry of China: driving force, environment impact and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 618-628, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116307535>. Acesso em: 05 ago. 2023.

SILVA, T. A. da C. *et al.* "Deposition of potentially toxic metals in the soil from surrounding sement plants in a Karst area of southeastern Brazil." **Conservation**, v. 1, n. 3, p. 137–150, 2021.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Fábricas no Brasil** - Localizações. Disponível em: <http://snic.org.br/fabricas-localizacoes.php>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Números** - Números da Indústria. Disponível em: Acesso em: 21 nov. 2022.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Relatório Anual 2022** - Números da Indústria de Cimento - Maiores Produtores de Cimento, página 42. Disponível em: [http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio\\_anual/rel\\_anual\\_2022.pdf](http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2022.pdf). Acesso em: 20 nov. 2023.

SOUZA, J. R de. Análise dos impactos socioambientais provocados pela lavra de calcário: distrito de Soledade, Apodi-RN. Anais do VII CONAPESC. Campina Grande: **Realize Editora**, 2022. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/86804>. Acesso em: 13 set. 2023.

SUPREMO CIMENTOS. **Relatório de impacto ambiental (RIMA)** - coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/coprocessamento\\_rima.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/coprocessamento_rima.pdf). Acesso em: 05 ago. 2023.

THE WORLD BANK. **The cost of air pollution: strengthening the economic case for action.** Disponível em: <https://documents.worldbank.org/pt/publication/documents-reports/documentdetail/781521473177013155/the-cost-of-air-pollution-strengthening-the-economic-case-for-action>. Acesso em: 15 ago. 2023.

TOMAS, M. R. **Dossiê técnico** - cal e calcário. Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR 6/9/2007. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTgz>. Acesso em: 12 nov. 2022.

TORRES, V. A.; LANGE, L. C. Rotas tecnológicas, desafios e potencial para valoração energética de resíduo sólido urbano por coprocessamento no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 25-30, 2022.

UK-PACT. Partnering for Accelerated Climate Transitions. Green recovery challenge fund. **4º inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa** - estado de Minas Gerais - Programa de Cooperação entre Brasil e Reino Unido em Finanças Verdes - Green Recovery Challenge Fund - UK Pact, do British Consulate in Belo Horizonte, do CDP Latin America e do ICLEI – Local Governments for Sustainability. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2023/06/relatorio-inventario-mg.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **NAAQS Table - National Ambient Air Quality Standards.** Disponível em: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>. Acesso em: 15 ago. 2023.

USP. Universidade de São Paulo. **Cimento** – produção mundial pode dobrar sem aumentar CO<sub>2</sub>. Disponível em: <https://www.poli.usp.br/noticias/1527-cimento-producao-mundial-pode-dobrar-sem-aumentar-co2.html#:~:text=Com%20demanda%20anual%20da%20ordem,na%20atmosfera%E2%80%9D%2C%20afirma%20John>. Acesso em: 09 set. 2023.

UWASU, M.; HARA, K.; YABAR, H. World cement production and environmental implications. **Environmental Development**, v. 10, p. 36-47, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464514000256>. Acesso em: 05 ago. 2023.

VORMITTAG, E. da M. P. A. de A. *et al.* Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 7–30, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.002>. Acesso em: 30 set. 2023.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Relatório integrado 2021.** Disponível em: <https://www.votorantimcimentos.com.br/wp-content/uploads/2022/10/relatorio-integrado-2021.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2023.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Avançamos em nossas metas de descarbonização.** Disponível em: <https://www.votorantimcimentos.com.br/noticia/avancamos-em-nossas-metas-de-descarbonizacao/>. Acesso em: 13 set. 2023.