

Universidade de Brasília

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas

Departamento de Administração

ENNIO EDUARDO FURTADO MORETTI

**PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR EM INDÚSTRIAS DE
CIMENTO: um estudo de caso no DF**

Brasília – DF

2023

ENNIO EDUARDO FURTADO MORETTI

**PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR EM INDÚSTRIAS DE
CIMENTO: um estudo de caso no DF**

Monografia apresentada ao
Departamento de Administração como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Administração.

Professora Orientadora: Dra. Emilia de
Oliveira Faria

Brasília – DF

2023

ENNIO EDUARDO FURTADO MORETTI

**PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR EM INDÚSTRIAS DE
CIMENTO: um estudo de caso no DF**

A Comissão Examinadora, abaixo identificada, aprova o Trabalho de
Conclusão do Curso de Administração da Universidade de Brasília do
(a) aluno (a)

ENNIO EDUARDO FURTADO MORETTI

Doutora, Emília de Oliveira Faria

Professor-Orientador

Mestre , Elizânia de Araújo
Gonçalves ,

Professor-Examinador

Mestre, Olinda Maria
Gomes Lesses

Professor-Examinador

Brasília, 14 de julho de 2023

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe Suzana Furtado e à memória do meu querido e saudoso pai, Sidney Moretti. Cedo ou tarde a gente vai se encontrar, tenho certeza numa bem melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, pelo apoio e pelo amor incondicional para que eu chegasse até esse momento. Espero me tornar pelo menos 1% do exemplo que eles são para mim.

Agradeço à Dharla, meu amor, que me traz equilíbrio para continuar seguindo meus caminhos, que me inspira e me apoia. Te amo.

Agradeço à professora Doutora Emília Faria, que acreditou, lutou, persistiu e foi a melhor orientadora que eu poderia ter. Sem seus direcionamentos e esforços essa tentativa passaria em branco.

Agradeço aos amigos que conquistei nesse período de Universidade, que tornaram os momentos complicados mais leves e os momentos bons memoráveis.

RESUMO

O concreto é o segundo material mais consumido do mundo, ficando atrás apenas da água. Esse material é composto principalmente por cimento, material básico de construção que é facilmente modelável em seu estado líquido e é duro como pedra em seu estado sólido. A indústria cimenteira é uma das que mais emitem o CO² na atmosfera, onde a produção de 1 tonelada de clínquer (cimento puro) é responsável pela emissão de aproximadamente 900 kg de CO². Logo, torna-se urgente a busca por soluções sustentáveis para a diminuição desse impacto ambiental sem prejudicar o produto final. Alternativas viáveis são encontradas no campo da Economia Circular, uma abordagem baseada no crescimento contínuo, de forma sustentável e regenerativa. Através de revisão bibliográfica e estudo de caso em uma indústria do Distrito Federal, buscou-se analisar as práticas da indústria do cimento a partir dos princípios da Economia Circular. Para o atingimento desse objetivo foram realizadas entrevistas com especialistas de uma indústria de cimento do Distrito Federal, bem como foi analisada a literatura disponível acerca do tema, o que possibilitou compreender práticas de Economia Circular realizadas nas indústrias de cimento. Como resultado notou-se que a busca pela redução de emissão de CO² bem como a realização de práticas sustentáveis é uma realidade urgente para as indústrias cimenteiras, possuindo pressões tanto de agentes governamentais e diretorias, quanto do mercado consumidor, que é ciente de sua cadeia de suprimentos e almeja cada vez mais produtos e soluções sustentáveis. São discutidas as práticas de Economia Circular, bem como suas oportunidades e barreiras de implementação no contexto de indústrias cimenteiras. Como oportunidades para futuros estudos sugere-se que sejam abordados os impactos financeiros e mercadológicos de práticas sustentáveis nas empresas, atestando se a adoção dessas gera ou não impacto na rentabilidade das organizações.

Palavras-chave: Economia Circular. Indústrias de cimento. Práticas sustentáveis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Diagrama do sistema de economia circular

FIGURA 2 – Ciclo da economia circular

FIGURA 3 – Comportamento do consumidor na Economia Circular

FIGURA 4 – Estrutura ReSOLVE

FIGURA 5 – Ranking produção mundial de cimento (em milhões de toneladas)

FIGURA 6 – Consumo per capita de cimento (kg por habitante)

FIGURA 7 – Etapas do processo de fabricação de cimento

FIGURA 8 – Designação normalizada, sigla e classe do Cimento Portland

FIGURA 9 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)

FIGURA 10 – Quantidade de artigos publicados por ano

FIGURA 11 – Publicações por país de origem

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo do protocolo de revisão sistemática da literatura

Tabela 2 - Roteiro de entrevista utilizado

Tabela 3 - Resumo da interface entre Economia Circular e o setor cimenteiro

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SNIC – Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento

PIB - Produto Interno Bruto

ABCP - Associação Brasileira do Cimento Portland

CVP - Coque verde de petróleo

EMF - Ellen MacArthur Foundation

DF - Distrito Federal

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

PL - Projeto de Lei

ONU - Organização das Nações Unidas

CBIC - Câmara Brasileira de Indústrias de Construção

CADE - Conselho Administrativo de Defesa Econômica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Contextualização	9
1.2. Formulação do problema	11
1.3. Objetivo Geral	11
1.4. Objetivos Específicos	12
1.5. Justificativa	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Economia Circular	13
2.2. Cimento	19
2.2.1. Mercado	20
2.2.2. Fabricação	22
2.2.3. Impacto Ambiental	24
3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	27
3.1. Tipologia e descrição geral dos métodos de pesquisa	27
3.2. Revisão Sistemática da Literatura	28
3.2.1. Análise e síntese	29
3.3. Caracterização do instrumento de pesquisa	30
3.4. Caracterização do setor cimenteiro no Brasil	32
3.5. Caracterização da organização	34
3.6. Participantes da entrevista	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Panorama atual da literatura sobre Economia Circular e Setor cimenteiro	35
4.2. Relações e práticas existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular	36
4.3. Processo produtivo de uma indústria cimenteira do DF	41
4.4. Práticas sustentáveis de uma indústria cimenteira do DF	43
4.5. Oportunidades e barreiras à implementação da Economia Circular	46
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	49

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O concreto é o material produzido pelo homem mais consumido do mundo, perdendo apenas para a água como a mais consumida no geral. É a base por trás de toda obra, de modo que sua utilização está diretamente relacionada ao nível de desenvolvimento de um país (MARTIRENA & SCRIVENER, 2015). Dentre seus componentes está o cimento, material que em seu estado líquido se molda com facilidade e em seu estado sólido é duro como pedra. Estima-se que em 2021 foram produzidos 4,4 Bilhões de toneladas de cimento, num contexto em que o Brasil foi o 7º país que mais produziu esse material (U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2022).

Muito além da importância para o desenvolvimento e para as obras, o cimento movimenta bastante a economia de um país, de modo que é responsável por mais de 18.000 empregos diretos em 91 fábricas distribuídas em 80 municípios brasileiros. Esse segmento produziu 65,8 milhões de toneladas em 2021 e possui o potencial de produzir 94 milhões de toneladas em 2022 (SNIC, 2022).

Entretanto, com grandes produções em uma indústria vêm grandes impactos em termos de sustentabilidade. No caso do cimento, não é diferente: o Cimento Portland (principal tipo de cimento produzido e comercializado) tem como matéria-prima o clínquer, que para ser produzido exige alta emissão de CO². Para a fabricação de uma tonelada de clínquer, emite-se, aproximadamente, 900 kg de CO² (MOREIRA & REGO, 2020).

Apesar desses números, a indústria nacional vem somando esforços para a redução de emissão de gases do efeito estufa, sendo responsável por apenas 6% da emissão nacional (comparada a uma participação acima de 20% do PIB), sendo a indústria cimenteira responsável por 2,6% do total nacional (abaixo da média mundial, de 7%) (ABCP, 2021). Apesar dos resultados satisfatórios, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o Sindicato Nacional das Indústrias de

Cimento (SNIC) e as indústrias de cimento uniram esforços em 2019 para traçar o “Roadmap Tecnológico do Cimento”, inspirado no “Roadmap Tecnológico - Transição de Baixo Carbono na Indústria do Cimento”, lançado em 2009 pela Agência Internacional de Energia (IEA) e a Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (CSI) do Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD). Essas estratégias possuem como objetivo reduzir a emissão de CO² na produção de cimento até 2050.

Dentre as alternativas para a redução da emissão de CO², está o coprocessamento, que consiste na recuperação simultânea de energia e a reciclagem de recursos minerais quando usados para substituir os combustíveis fósseis primários (como petróleo e carvão) em fornos de cimento (FREITAS & NOBREGA, 2014). Para isso, indústrias cimenteiras utilizam resíduos sólidos como palha de arroz, pneus usados, farinha e ossos de animais, serragem entre outros para substituir o Coque Verde de Petróleo (CVP), combustível responsável por 85% da produção de clínquer em 2014 (Roadmap Tecnológico do Cimento, 2019).

Para além da iniciativa privada, o Governo Brasileiro em 2010 promulgou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que objetiva reduzir a geração de resíduos através do tratamento e reutilização desses. Para colocar em prática essa política, em 14 de abril de 2022 entrou em vigor o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), estabelecendo diretrizes, estratégias e metas para a gestão de resíduos sólidos, citando o coprocessamento como alternativa para a redução da emissão de CO². A atividade de coprocessamento é regulamentada pela resolução Conama 499/2020, que dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.

Vale citar que o coprocessamento é uma prática sustentável que corrobora para a lógica da Economia Circular, que busca manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, por meio da retroalimentação do sistema de consumo (ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, 2015). Essa vem sendo uma alternativa atraente em detrimento à Economia Linear de extração, transformação e descarte, dado que pode impulsionar tanto a inovação quanto a economia nos países em que é implementada (ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, 2017).

1.2. Formulação do problema

No contexto da produção de cimento, ao longo de todo processo produtivo, esse produto é danoso ao meio ambiente e à saúde humana, onde populações que moram próximas às fábricas e sua força de trabalho humana saem ainda mais prejudicadas (MAURY, 2012). Sabe-se que cerca de 5% das emissões antrópicas de CO² no mundo são causadas pela fabricação de cimento (WBCSD, 2010). No Brasil, as indústrias de cimento foram responsáveis por 24,9% das emissões de CO² de processos industriais em 2016 (BRASIL, 2020).

O “Roadmap Tecnológico do Cimento”, traçado pela ABCP e pelo SNIC, traz diversas alternativas para a redução da emissão de carbono, que tangem principalmente os insumos utilizados na fabricação de cimento e a tecnologia envolvida na sua fabricação. Entre essas, estão as fontes de energia alternativas, enfatizando o coprocessamento como potencial solução para a redução da emissão de CO².

Dessa forma, faz-se necessária análise acerca das conexões entre o setor cimenteiro e a Economia Circular, de modo que essa pesquisa buscou responder a seguinte pergunta: Quais as relações entre a economia circular e a indústria do cimento?

1.3. Objetivo Geral

O estudo teve como objetivo geral analisar as práticas da indústria do cimento a partir dos princípios da Economia Circular.

1.4. Objetivos Específicos

- Compreender o panorama atual da literatura sobre Economia Circular e o setor cimenteiro;
- Identificar relações e práticas existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular;
- Descrever o processo produtivo de uma indústria cimenteira do DF;
- Identificar práticas sustentáveis de uma indústria cimenteira do DF;
- Investigar oportunidades e barreiras à implantação dos princípios da EC no setor de cimento.

1.5. Justificativa

No dia 28 de julho de 2022, a humanidade já havia consumido todos os recursos naturais que o planeta é capaz de renovar em um ano (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2022). Ao longo do tempo, essa data vem ocorrendo cada vez mais cedo.

E a tendência é piorar, visto que o aumento populacional só será freado em 2064 (MURRAY, 2020) e 75% da população ocupará espaços urbanos em 2050 (ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, 2019). Logo, a forma e a velocidade do consumo dos recursos naturais se torna cada vez mais insustentável (SPANGENBERG, 2010).

Portanto, alternativas fazem-se urgentes para a sustentabilidade do planeta e da humanidade. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foram produzidas mais de 82 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) em 2020. Para reduzir o impacto ambiental negativo e proporcionar oportunidades de novos negócios, as práticas que dizem respeito à Economia Circular fazem-se necessárias (KORHONEN et al, 2018).

Baseado no atingimento de um Desenvolvimento Sustentável, transita no Senado Federal o PL 1874/2022, que visa instituir a Política Nacional de Economia Circular, enxergando nessa alternativa “[...] uma área estratégica para a recuperação transformadora com sustentabilidade e igualdade”, onde é possível se desenvolver sustentavelmente, socialmente e economicamente. Entretanto, a transição para um modelo circular ainda é desafiador, visto que não há estudos detalhados e claros sobre um modelo de aplicação (LEWANDOWSKI, 2016).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda tanto o Referencial Teórico quanto a Revisão Sistemática da literatura. O Referencial Teórico abrange os principais conceitos utilizados neste trabalho, bem como a discussão de autores acerca desses. Já a Revisão Sistemática diz respeito ao estado-da-arte do tema abordado, ou seja, uma análise aprofundada acerca do conhecimento já existente sobre o objeto de estudo.

2.1 Economia Circular

De acordo com o relatório “Perspectivas da população Mundial” (Organização das Nações Unidas - ONU, 2022), o planeta Terra terá 9,7 bilhões de habitantes no ano de 2050. Isso significa um salto de 2,2 bilhões de seres humanos habitando o nosso planeta. A expectativa do mesmo relatório é que o Brasil salte dos atuais 215 milhões para 230 milhões de habitantes no mesmo período. Além disso, de acordo com o “Panorama dos Resíduos Sólidos” (ABRELPE, 2022), cada brasileiro gerou, em média, 381 kg de resíduos sólidos em 2022, totalizando 81.811.506 toneladas de resíduos por ano. Desses, apenas 4% são reciclados (ISWA). De acordo com Hood (2016), “Para reduzir o consumo e o desperdício, devemos superar nossa aversão em reaproveitar bens usados”. Como alternativa a esse potencial problema, uma possível solução vem na Economia Circular.

A evolução da economia global foi dominada por um modelo linear de produção e consumo, onde a lógica se baseia em produção, venda e descarte, presumindo em perdas significativas ao longo da cadeia de valor. A mera redução do consumo mantendo essa lógica apenas posterga a finitude dos recursos finitos.

Essa lógica de consumo leva empresas a perdas econômicas e desperdício estrutural, bem como riscos de preço e oferta.

A Economia Circular vem como uma alternativa potencial e efetiva, que se caracteriza como uma economia restaurativa e regenerativa, na qual o foco é manter produtos, componentes e materiais no seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo. É concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo e que funciona de forma efetiva em qualquer escala. Esse modelo vem em detrimento ao modelo “extrair, transformar, descartar”, o qual depende de grandes quantidades de materiais de baixo custo e fácil acesso (ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, 2015).

A Economia Circular apoia-se em três princípios:

- **Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis:** consiste na seleção sensata de recursos quando necessário, priorizando tecnologias e processos que utilizam recursos renováveis ou que apresentam melhor desempenho;
- **Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico:** consiste em projetar fluxos para que os materiais continuem circulando e contribuindo para a economia, seja por meio de remanufatura, renovação ou reciclagem. Prefere-se a utilização de menores circuitos internos com o intuito de preservar energia e maximizar o número de ciclos consecutivos, sem comprometer a efetividade; e
- **Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio:** Diz respeito a redução de danos a sistemas e áreas e a gestão de externalidades.

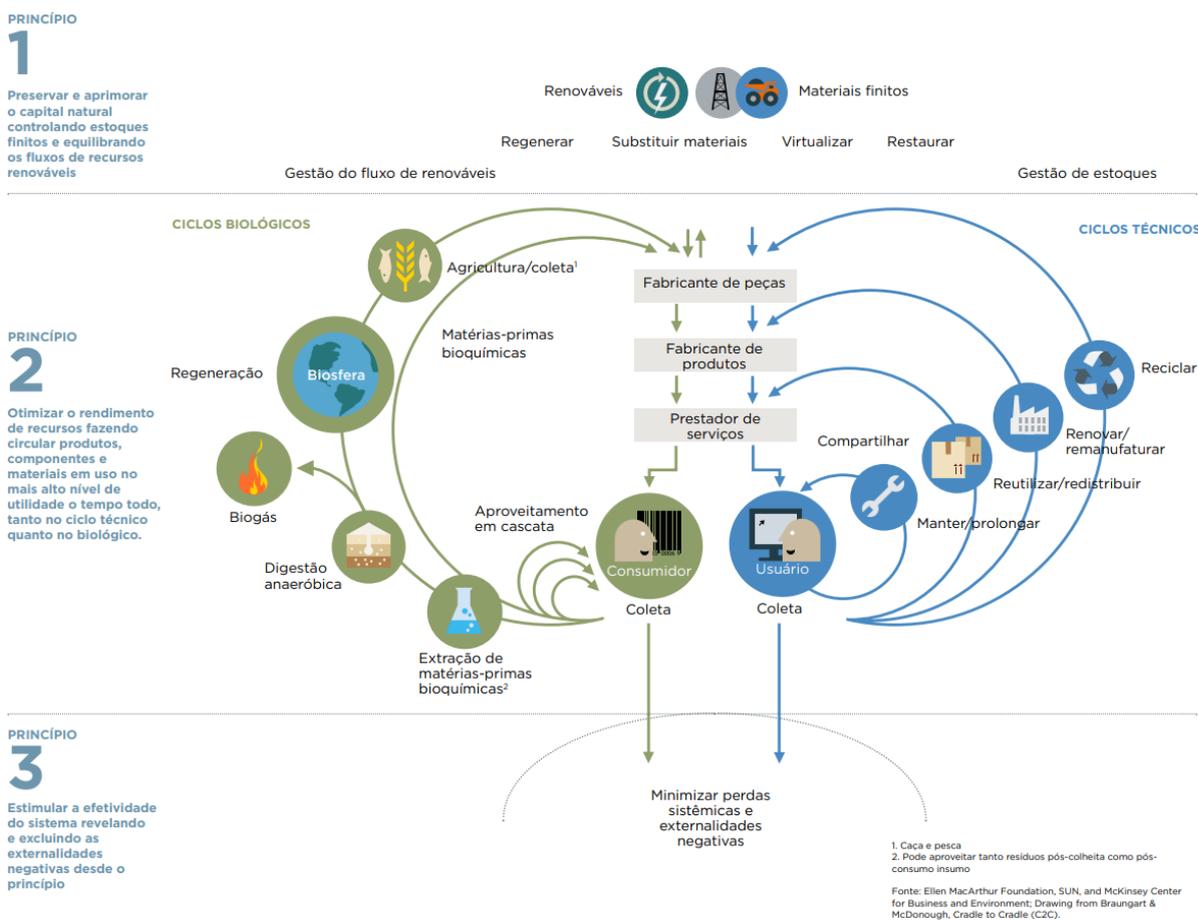


FIGURA 1 – Diagrama do sistema de economia circular
Fonte: ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015.

Além dos princípios para que a economia circular se faça valer, existem algumas características fundamentais que a descrevem, como a exclusão de perdas desde o princípio, a diversificação de alternativas para a manutenção do sistema, a utilização de fontes de energia renováveis, o pensamento sistêmico e que preços refletem os custos totais de cada produto, de modo a não se tornar uma barreira à transição para uma economia transparente (ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, 2015).

Stahel (2016) diferencia três sistemas de economia industrial: linear; circular e performance. A economia linear funciona como um rio, onde recursos naturais fluem até se tornarem produtos disponíveis para a venda. Após a venda, cabe ao consumidor as decisões acerca do descarte (ou não) daquele produto. De acordo com o autor, esse sistema “[...] é eficiente em superar a escassez, mas perdulário

no uso de recursos em mercados muitas vezes saturados”. Já a economia circular é como um lago, onde os recursos são reaproveitados, gerando empregos e economizando energia. Ao invés de puramente descartar, como num processo linear, a economia circular tenta buscar alternativas para que resíduos tenham alguma utilidade ao fim do uso desejado pelo usuário, aumentando a utilidade daquele produto que ele tem em mãos. Por fim, a economia de performance foca no arrendamento ou compartilhamento de bens como serviços, onde os fabricantes mantêm a propriedade do produto, compartilhando-os com usuários interessados em utilizá-lo.

A percepção circular da economia enxerga que os recursos não são mais algo obtido diretamente da natureza, com um determinado custo, mas sim uma parte do processo de produção, podendo ser extraídos não apenas da natureza, mas também da reciclagem de produtos finalizados e seus respectivos componentes. Pensar a produção de modo linear é algo insustentável por si só, visto que a fonte de recursos (natureza) é finita (e cada vez mais escassa) e gera custos àqueles que dela extraem. Isso não significa que a Economia Circular traz perpetuidade aos recursos, mas sim traz a máxima utilidade que esses podem oferecer (BONCIU, 2014).

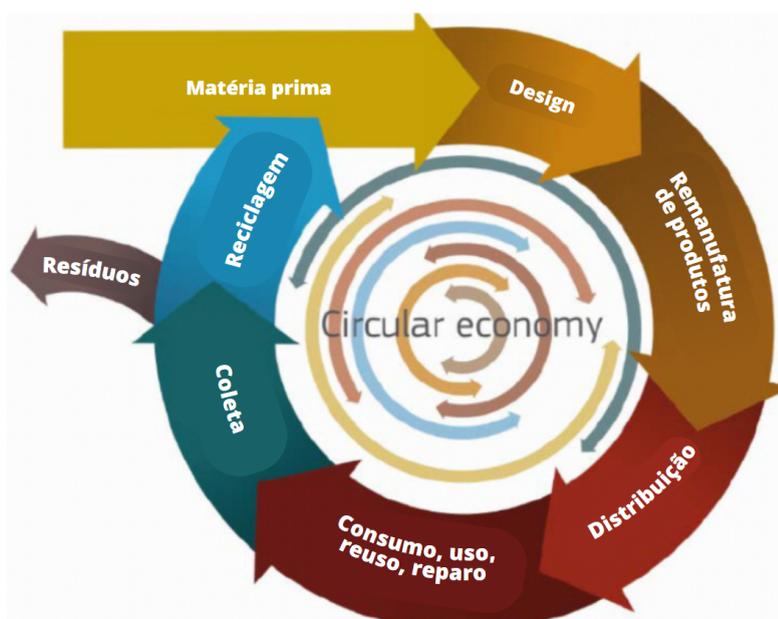


FIGURA 2 – Ciclo da economia circular
Fonte: BONCIU, 2015.

O desenvolvimento de uma Economia Circular exige uma mudança no comportamento do consumidor (PLANING, 2015), visto que este, ao adquirir um produto, terá em mãos a decisão de onde, como e quando descartar aquilo que comprou. Esse poderá (1) utilizar aquele produto por um tempo mais longo; (2) realizar manutenções no produto a fim de estender seu tempo de vida; (3) restaurar produtos ou componentes, consumindo menos energia do que a fabricação de um novo produto ou; (4) reciclar o produto, separando os materiais puros deste, tornando-os reutilizáveis no processo produtivo.

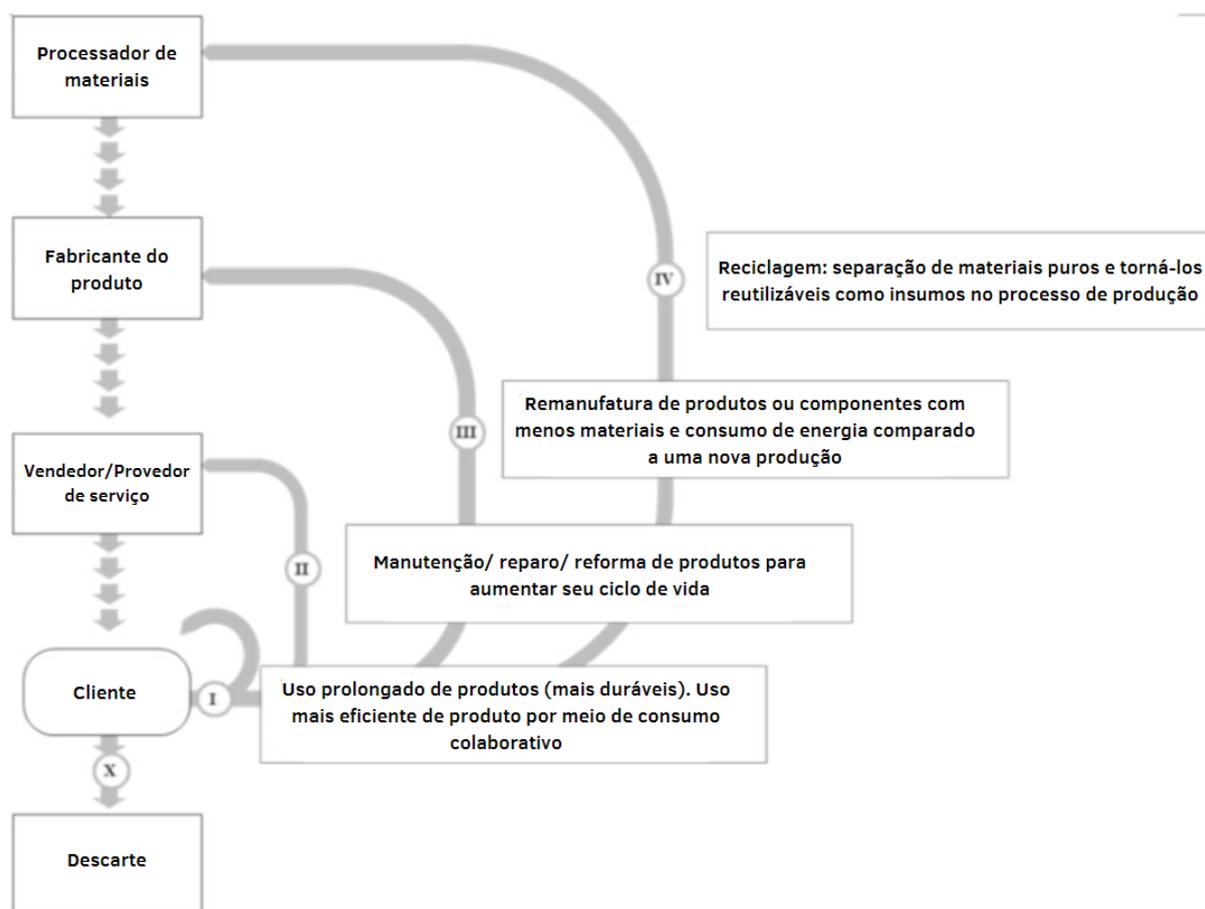


FIGURA 3 – Comportamento do consumidor na Economia Circular
Fonte: PLANING, 2015.

No tocante a empresas e governos, a transição para a economia circular pode ser baseada em um conjunto de seis ações: regenerar, compartilhar, otimizar, ciclar, virtualizar e trocar. Essas ações em inglês formam o anagrama ReSOLVE (destrinchado na Figura 4), modelo que possibilita a geração de estratégias circulares e iniciativas voltadas para o crescimento. Essas ações em conjunto

possibilitam prolongar a vida útil de ativos físicos, bem como promover a substituição do uso de recursos finitos por fontes renováveis. (ELLEN MacARTHUR FOUNDATION, 2015).



FIGURA 4 – Estrutura ReSOLVE

Fonte: ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015.

2.2 Cimento

A demanda por materiais capazes de se moldarem com facilidade no estado líquido e terem resistência e dureza no estado sólido vem desde o Antigo Egito, passando pelos impérios gregos e romanos, onde misturas de gessos e solos específicos com a água formavam materiais rígidos, possibilitando construções mais resistentes e que perduram até os dias atuais (vide Coliseu, Panteão e outros monumentos históricos).

Foi em 1786 que John Smeaton obteve um produto resistente a partir da calcinação de calcários moles e argilosos, matérias-primas abundantes em diversas partes do planeta. Já em 1824, Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino, que após seco se tornava tão duro quanto pedras de construções. Sua coloração e sua rigidez eram similares às rochas da ilha britânica de Portland, de modo que esse patenteou esse material como Cimento Portland (tipo de cimento mais utilizado hoje no mundo). (Associação Brasileira do Cimento Portland)

Sua chegada no Brasil se deu em 1888, por meio do comendador Antônio Proost Rodovalho, que instalou em sua fazenda, em São Paulo, a Usina Rodovalho, que operou de 1897 a 1904. Outras tentativas foram realizadas na Paraíba e no Espírito Santo, mas sem sucesso. Foi em 1924 a instalação definitiva de uma unidade industrial, com a entrada da Companhia Brasileira do Cimento Portland (CBCP), que investiu numa fábrica em São Paulo, no bairro Perus, dada a abundância de matéria prima (calcário) e a profunda transformação urbana que a região passava. Com isso, o Brasil deixa de depender de cimento importado e começa sua produção nacional (SANTOS, 2011).

Atualmente o Brasil conta com 91 fábricas produtoras, pertencentes a 23 grupos industriais, espalhadas em 80 municípios em 23 Estados brasileiros, empregando diretamente mais de 18.000 trabalhadores. Essas fábricas são capazes de produzir 94 milhões de toneladas por ano, suprimindo a demanda nacional, que foi de 64,5 milhões de toneladas em 2021 (SNIC, 2022).

2.2.1 Mercado

Falar sobre cimento é falar sobre concreto, o segundo material mais consumido do mundo, que perde apenas para a água, logo, se tornando o material não natural mais consumido. Em 2020 a produção mundial atingiu 4,19 bilhões de toneladas, sendo a China responsável por mais da metade dessa produção, com 2,38 bilhões de toneladas produzidas. O Brasil foi o 8º país que mais produziu, com 61 milhões de toneladas. Apesar do destaque na produção e ter produzido suficientemente para atender à demanda doméstica, o consumo per capita do Brasil - 286 kg/hab - ainda está bem abaixo do consumo médio global - 560 kg/hab (SNIC, 2022)

Países/Country	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. China	2.350,0	2.403,0	2.316,3	2.176,7	2.300,0	2.376,9
2. Índia/India	270,0	289,3	285,0	327,7	320,0	290,0
3. Estados Unidos/U.S.A.	83,4	84,7	86,1	87,8	88,6	91,6
4. Vietnã/Vietnam	57,4	77,3	78,8	90,2	97,0	76,9
5. Turquia/Turkey	71,4	75,4	80,6	72,5	57,0	75,4
6. Irã/Iran	58,6	55,0	54,0	58,0	60,0	68,3
7. Indonésia/Indonesia	65,0	61,3	68,0	70,8	64,2	64,8
8. Brasil/Brazil	66,5	58,2	54,0	53,6	56,6	61,0
9. Rússia/Russia	69,0	55,0	54,7	53,7	54,1	56,0
10. Arábia Saudita/Saudi Arabia	55,0	55,9	47,1	42,2	42,2	53,4
11. Japão/Japan	55,0	53,4	55,5	55,3	55,2	52,1
12. Coreia do Sul/Rep. of Korea	63,0	56,7	57,9	55,0	56,4	48,0
13. Paquistão/Pakistan	27,2	37,0	38,9	40,8	40,5	47,6
14. Egito/Egypt	55,0	55,0	53,0	49,9	47,0	46,9
15. México/Mexico	39,8	42,4	42,8	42,8	47,5	41,9
Total Mundial/World Total	4.650,0	4.100,0	4.100,0	3.992,0	4.168,0	4.190,0

FIGURA 5 – Ranking produção mundial de cimento (em milhões de toneladas)
Fonte: SNIC, 2021.

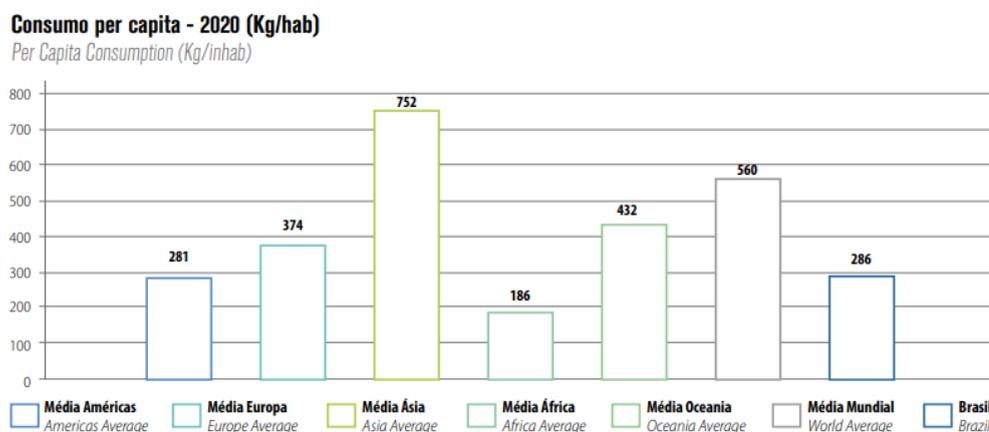


FIGURA 6 – Consumo per capita de cimento (kg por habitante)
Fonte: SNIC, 2021.

O consumo de cimento no Brasil está distribuído da seguinte maneira: 58% da produção é destinada à revenda, 20% a concreteiras, 18% para construtoras e indústrias e 4% para outros tipos de consumidores (SNIC,2022). Dessas revendas, 16% das lojas com porte pequeno ou médio e 6% das com porte grande possuem mais de 50% do faturamento baseado em materiais básicos - como o cimento (ANAMACO, 2022). Essas revendas vêm buscando se atualizar cada vez mais, de modo que 51% das lojas grandes e 12% das pequenas/médias estão presentes no e-commerce, principalmente por meio de Marketplaces em detrimento de canais próprios da loja. Entretanto, materiais básicos (por exemplo, cimento) são os menos vendidos por esses meios, sendo o fator “logística” o motivo mais citado para a não adesão a esse tipo de produto (ANAMACO, 2022).

O mercado de cimento no Brasil possui 23 grupos industriais nacionais e estrangeiros, os quais possuem 91 fábricas distribuídas em 80 municípios brasileiros (SNIC, 2022). Os 10 grupos com maior capacidade instalada no Brasil são Votorantim Cimentos, Interceement, Nassau, LafargeHolcim, Mizu, CSN, Tupi, Ciplan, Itambé e CRH (CADE, 2019).

O preço do saco de 50kg de cimento no Brasil em dezembro de 2022 saía da indústria, em média, por R\$35,85, com destaque para Rondônia, Mato Grosso e Amazonas, que amargam os preços mais caros do Brasil (todos acima de R\$40,00). Para efeito de comparação, em dezembro de 2021 o mesmo saco era vendido, em média, a R\$30,02 (CBIC, 2023). Os custos de produção do cimento vêm aumentando ano após ano, influenciados, entre outros fatores, pela guerra na Ucrânia. O coque do petróleo (combustível utilizado no maquinário de produção de cimento) era repassado a US \$50,00 em 2019 e em 2022 atingiu US \$180,00. Além do preço do insumo, o frete marítimo nesse período saltou de US\$18,00 para US\$35,00. Apenas em 2021, o aumento em componentes utilizados na indústria chegou a 96%, no caso do gesso, e 98%, no caso do coque de petróleo, além das altas registradas em refratários (40%), frete rodoviário (28%) e na própria energia (69%) utilizada pelas fábricas e que representa mais da metade dos custos investidos na produção. Em suma, a indústria não repassou por inteiro os custos de produção para seus consumidores, internalizando esses prejuízos para que pudesse continuar operando (ABCP, 2022).

2.2.2 Fabricação

Os materiais de construção são de suma relevância histórica para a humanidade, tanto que dividimos os períodos históricos como “Idade da Pedra” ou “Idade do Bronze”, por exemplo. Nossos ancestrais utilizavam materiais conforme sua disponibilidade na natureza, sem customizá-los. Com o tempo as exigências do homem foram mudando, bem como os padrões requeridos. Logo, a pedra, a madeira e o barro deram espaço para materiais mais elaborados, como, por exemplo, o cimento (BAUER, 1994).

O cimento Portland constitui-se como o produto obtido pela pulverização de clínquer, que por sua vez é constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades (BAUER, 1994). O processo de produção consiste em moer as matérias primas no Moinho de Bolas até a obtenção de um pó bastante fino. Esse é armazenado num silo, com condições ideais para sua conservação, até o momento de ser levado ao forno, numa temperatura próxima a 1.400°C. O resultado desta queima é o Clínquer, que sofrerá adições e será moído novamente. O produto final é o Cimento Portland comercial, utilizado em todas as partes do mundo (NEVILLE e BROOKS, 2013).

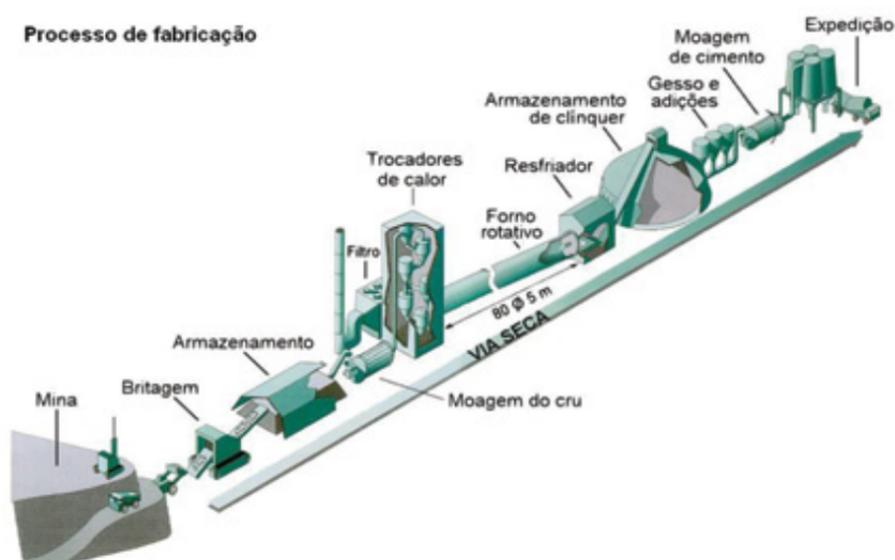


FIGURA 7 – Etapas do processo de fabricação de cimento
Fonte: CAILLON ROUGE/ROGER RIVET, 2009.

A fabricação de cimento é um processo de grande escala, exigindo quantidades consideráveis de recursos naturais, matérias-primas, combustíveis térmicos e energia elétrica (KARSTENSEN, 2006). Boa parte do calcário (uma das matérias-primas) é perdida ao longo do processo de transporte até a britagem, de modo que as cimenteiras se concentram, principalmente, em locais próximos a minas de calcário, a fim de reduzir perdas (SNIC, 2013). O custo de energia para a produção de cimento representa de 25% a 35% do custo de fabricação, fazendo com que as indústrias busquem possibilidades mais eficientes de energia (DUTTA e MAITY, 2015).

A produção de Cimento Portland no Brasil é regulada pela NBR 16697, de 2018, a qual consolidou outras normas vigentes anteriormente. Nela, encontram-se os termos e definições sobre o Cimento Portland, bem como seus requisitos gerais e específicos.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b –
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozzolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozzolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c	–
	Não estrutural	CPB	–	

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

^d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

FIGURA 8 – Designação normalizada, sigla e classe do Cimento Portland
Fonte: ABNT, 2018.

Tabela 2 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5		
	CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71 – 94	0	6 – 14	0 – 15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75 – 89	0	0	11 – 25
Cimento Portland de alto forno	CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
Cimento Portland pozolânico	CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V ^a			ARI	90 – 100	0	0
Cimento Portland branco	Estrutural	25, 32 ou 40	-	75 – 100	-	-	0 – 25
	Não estrutural			-	-	-	26 – 50

^a No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.

FIGURA 9 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)
 Fonte: ABNT, 2018

2.2.3 Impacto Ambiental

As emissões progressivas de gases de efeito estufa (GEEs) atingiram um nível alarmante devido à rápida expansão industrial e espera-se que aumentem ainda mais rapidamente (BENHELAL et al, 2013). No ano de 2021 as emissões globais aumentaram 6%, alcançando o nível mais alto da história, impulsionada pela retomada da atividade econômica após a pandemia da COVID-19. O carvão foi o responsável por mais de 40% do aumento geral das liberações de CO² no mundo, com destaque para EUA e Europa. Os aumentos mais acentuados no setor de energia vieram do Brasil e da Índia - ambos crescendo acima de 10% (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2022).

A produção de cimento é uma das atividades que mais emite CO² no mundo (BENHELAL et al, 2013), onde 1 tonelada de clínquer é responsável pela emissão de 900 kg de CO² na atmosfera (MOREIRA & REGO, 2020), sendo, assim, responsável por, aproximadamente, 5% a 7% da emissão antropogênica de CO² (CHEN et al, 2010).

A emissão de CO² na produção de cimento está presente em diversos momentos, desde a preparação da matéria-prima até a moagem do clínquer (BENHELAL et al, 2013).

Apesar dos dados supracitados serem bastante alarmantes, no contexto brasileiro a indústria é responsável por apenas 6% da emissão nacional de CO² na atmosfera, sendo o cimento responsável por apenas 2,6% da emissão total, enquanto a média mundial está entre 5% e 7% (ABCP, 2021). Mesmo com os números se mantendo abaixo da média mundial, em 2019 foi lançado o “Roadmap Tecnológico do cimento”, que tem como objetivo reduzir a emissão de CO² do cimento até 2050.

Benhelal (2013) traçou três estratégias que podem conter a emissão de dióxido de carbono nas fábricas de cimento, sendo essas:

- **Economia de combustível e energia** - Diz respeito à redução de utilização de combustíveis em fábricas de cimento, por meio de processos energéticos mais eficientes (como, por exemplo, o pré-aquecimento e a pré-calcinação da matéria-prima); redução de perdas de energia térmica no processo (por meio de invólucros adicionais e camadas de isolamento nos fornos); recuperação de energia dos “escapes” (como, por exemplo, chaminés), por meio da reutilização dos vapores, transformando-os em energia elétrica ou térmica; Otimização da fábrica; manutenções e atualizações de fornos. Entretanto, fatores como a limitação de capital, baixo custo de energia, pausa de produção, confiabilidade e limitação de tempo e mão de obra dificultam o atingimento dessa estratégia;
- **Separação e armazenamento de carbono** - Diz respeito à captura de CO², reduzindo a emissão não na redução de combustão, mas sim mitigando sua emissão, transportando-o e armazenando-o. Ainda existem barreiras técnicas, econômicas e políticas que dificultam a implementação dessa abordagem, de modo que até o presente estudo, não existiam indústrias de cimento que a tenham implementado;
- **Utilização de materiais alternativos** - Diz respeito à substituição do clínquer, matérias primas e combustíveis na produção de cimento. Como substitutos aos combustíveis, o autor cita a possibilidade de

trabalhar com biomassa residual agrícola e não-agrícola, resíduos de petróleo, químicos ou diversos. Já como substitutos à matéria-prima e ao clínquer, o autor cita os subprodutos industriais (como cinzas volantes e escória de forno). Entretanto, há barreiras para a implementação desses materiais como fontes de energia e materiais, como a disponibilidade do material, a propriedade do produto final, a aceitação do mercado, desafios técnicos e preocupações econômicas.

As estratégias citadas por Benhelal (2013) estão presentes no Roadmap Tecnológico do Cimento (SNIC, 2019) que estabelece, dentre outros objetivos, a redução do fator clínquer de 67% para 52% até 2050; o aumento da utilização de combustíveis alternativos de 15% para 55% até 2050 e; substituição de tecnologias com mais de 40 anos envolvidas na conservação de energia. As principais barreiras de implementação dessas práticas se baseiam em questões financeiras (altos investimentos para aplicação), exigências legais e ambientais, limitações técnicas, e disponibilidades regionais de insumos.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Desde os primórdios da humanidade existe a preocupação em descobrir e explicar a natureza. A utilização de métodos científicos não é da alçada exclusiva da ciência, mas não há ciência sem o emprego de métodos científicos. O método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista (LAKATOS, 2003).

Este capítulo apresentará os métodos e técnicas de pesquisa utilizados para o alcance dos objetivos já citados. Dessa forma, abordam-se: i) tipo e descrição geral da pesquisa; ii) caracterização da organização, setor ou área objeto do estudo; iii) caracterização da população e amostra; iv) caracterização dos instrumentos de pesquisa; e v) descrição dos procedimentos de coleta e de análise de dados empregados.

3.1. Tipologia e descrição geral dos métodos de pesquisa

De acordo com Gil (2002), toda e qualquer classificação se faz mediante algum critério. No caso das pesquisas, é usual a classificação com base em seus objetivos gerais. Os tipos mais comuns de pesquisa são exploratória, descritiva e explicativa (GIL, 1999).

- **Exploratória:** tem como finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos ou ideias, formulando problemas mais precisos ou hipóteses para estudos futuros. É realizada quando o tema de pesquisa é pouco explorado e geralmente constituem a primeira etapa de investigações mais amplas;
- **Descritiva;** tem como finalidade descrever uma determinada população ou um fenômeno ou estabelecer relações entre variáveis. É realizada quando o foco é trazer características de um grupo, estudos

acerca de indicadores, levantamento de opiniões, descrição de fatos e afins;

- **Explicativa:** tem como finalidade explicar os porquês acerca do tema abordado. Valem-se do método experimental nas ciências naturais e geralmente ao observacional nas ciências sociais. Utilizam-se de pesquisas descritivas e/ou exploratórias para sua elaboração.

Visto que o objetivo geral deste trabalho foi “analisar as práticas da indústria do cimento a partir dos princípios da Economia Circular”, trata-se de uma pesquisa do tipo exploratória, visto que essas têm como objetivo o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Entretanto, a mesma se caracteriza como descritiva no momento que um dos objetivos específicos é “descrever o processo produtivo de uma indústria cimenteira do DF”

Quanto à abordagem, é uma pesquisa qualitativa, dada a subjetividade da questão que será descrita e visto que o ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados (SILVA e MENEZES, 2001).

A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso, pois o estudo se propõe a explicar um fenômeno social contemporâneo de modo detalhado (Yin, 2017). Além disso, também foram utilizadas a revisão sistemática da literatura para atender ao objetivo específico “Compreender o panorama atual da literatura sobre Economia Circular e o setor cimenteiro”, e a pesquisa documental em sítios eletrônicos, documentos institucionais e relatórios para complementar as informações coletadas nas entrevistas.

3.2. Revisão Sistemática da Literatura

De modo a atingir os objetivos “Compreender o panorama atual da literatura sobre Economia Circular e o setor cimenteiro” e “Identificar relações e práticas existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular”, tornou-se necessária a realização de uma revisão sistemática da literatura. Galvão e Pereira (2014) conceituam a revisão sistemática da literatura como uma investigação focada em questão bem definida, que visa identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências relevantes disponíveis”. Com o intuito de fazer com que a pesquisa seja

replicável, os critérios adotados são detalhados e descritos nesta etapa. Esse tipo de revisão de distingue à revisão tradicional ou narrativa, as quais trazem informações gerais sobre o tema em questão, bem como se difere da integrativa, a qual utiliza diferentes delineamentos na mesma investigação e expressam a opinião do próprio autor.

3.2.1 Análise e síntese

A revisão sistemática da literatura foi essencial tanto para o embasamento teórico quanto para a resolução do objetivo de pesquisa “Identificar relações e práticas existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular”. A base de dados utilizada para essa revisão sistemática foi a Scopus, com o intuito de buscar artigos mais bem avaliados pela academia, em detrimento de outras bases que trazem uma maior quantidade de artigos, porém com menor qualidade no geral. Foram buscados apenas artigos publicados após 2018, com a intenção de ter informação mais atualizada acerca do tema.

A tabela 1 detalha os pormenores dessa revisão sistemática, explicitando fontes de pesquisa, recorte, palavras-chave com seus respectivos operadores booleanos e os critérios de aceitação para seleção dos artigos.

Tabela 1 - Resumo do protocolo de revisão sistemática da literatura

Pergunta de pesquisa	Quais as relações entre a economia circular e a indústria do cimento?
Fontes de consulta	Scopus
Recorte temporal	Publicações realizadas entre 2018 e 2022
Palavras-chave	“Circular Economy” AND “Cement”
Crítérios de aceitação	Publicações que dizem respeito tanto a Economia Circular quanto cimento (desde sua fabricação até sua utilização ou reutilização)
Crítérios de limitação	Publicações de artigos e trabalhos científicos sem limitação de área de estudo

Desse modo, finalizamos a definição de critérios de exclusão com 43 resultados. Essas 43 revisões foram analisadas a fim de entender se essas iam ao encontro dos objetivos desse trabalho, que são explorar relações existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular e identificar a aplicação de práticas relacionadas à Economia Circular nas indústrias de cimento. Desse modo, 17 revisões tinham relação com o objetivo desse trabalho, de modo que foram submetidas à leitura aprofundada.

3.3. Caracterização do instrumento de pesquisa

Para esse estudo o instrumento de pesquisa utilizado foi a entrevista, que é caracterizada como o encontro de duas pessoas, a fim de que uma delas obtenha informações a respeito de determinado assunto, mediante uma conversação de natureza profissional (LAKATOS, 2003). Vergara (2006) atualiza a necessidade da presença física nas pesquisas quando as partes possuem o que ele denomina “mídia interativa”, que seriam nossos computadores, celulares, tablets e afins.

De acordo com Lakatos (2003), as entrevistas podem ser de três tipos:

- **Padronizada ou estruturada:** Segue um roteiro previamente estabelecido e é realizada de acordo com um formulário. É preferencialmente realizada com pessoas selecionadas de acordo com um plano;
- **Despadronizada ou não-estruturada:** O entrevistador possui liberdade para desenvolver a entrevista conforme considere mais adequado. É uma forma de explorar de forma mais ampla uma questão;
- **Painel:** Consiste na repetição de perguntas, de tempo em tempo, às mesmas pessoas, com o intuito de avaliar a evolução de opiniões em períodos curtos.

As entrevistas possuem como vantagens a abrangência do público que pode ocupar o papel de entrevistado (por ser desnecessário o entrevistado saber ler ou escrever); flexibilidade do entrevistador de explicar melhor as questões ao entrevistado; possuir maior oportunidade para avaliar atitudes e condutas, podendo o entrevistado ser observado em termos de gestos e reações; a possibilidade de conseguir informações mais precisas; e permite que os dados sejam quantificados e submetidos a tratamento estatístico. Entretanto, há a possibilidade de dificuldade de expressão e comunicação de ambas as partes; incompreensão do significado das perguntas; possibilidade do entrevistado ser influenciado, consciente ou inconscientemente; retenção de dados importantes; além de ocupar muito tempo e haver a dificuldade de conciliação de agendas (LAKATOS, 2003).

Para esse trabalho foi escolhida a entrevista estruturada, elaborada com base na revisão sistemática da literatura, visto que dentre os objetivos deste trabalho estão i) Descrever o processo produtivo de uma indústria cimenteira do DF; ii) Identificar práticas sustentáveis de uma indústria cimenteira do DF; e iii) Investigar possibilidades e barreiras à implantação dos princípios da EC no setor de cimento.

A tabela 2 apresenta o roteiro de perguntas que embasaram a entrevista, bem como apresenta o objetivo específico que cada pergunta buscou responder. De todo modo, por ser um roteiro semi estruturado, novas perguntas se fizeram pertinentes ao longo da entrevista, buscando uma maior profundidade nos temas abordados.

Tabela 2 - Roteiro de entrevista utilizado

Pergunta realizada	Objetivo específico envolvido
Quais ações voltadas para a sustentabilidade são realizadas pela empresa? Cite as principais.	Identificar práticas sustentáveis de uma indústria cimenteira do DF; Identificar relações e práticas existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular
Quais são os principais processos produtivos realizados pela empresa?	Descrever o processo produtivo de uma indústria cimenteira do DF
Quais são ou foram as principais oportunidades para adoção da economia circular nas ações da empresa?	Identificar relações e práticas existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular; Investigar oportunidades e barreiras à implantação dos princípios da EC no setor de cimento
Quais são ou foram as principais barreiras para adoção da economia circular nas ações da empresa?	Identificar relações e práticas existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular; Investigar oportunidades e barreiras à implantação dos princípios da EC no setor de cimento

Além de entrevista, para o cumprimento dos objetivos específicos desta pesquisa foi também utilizado o estudo de caso, que se caracteriza como uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real (YIN, 2001).

3.4. Caracterização do setor cimenteiro no Brasil

Visto que o presente trabalho busca compreender as práticas de economia circular em indústrias cimenteiras, têm-se o setor industrial cimenteiro como o setor de estudo. A indústria brasileira representou 23,9% do PIB do ano de 2022. Apesar de ser menos de $\frac{1}{4}$ do PIB, a indústria responde por 69,3% das exportações de bens e serviços brasileiros e 66,4% do investimento empresarial em pesquisa e desenvolvimento (CNI, 2023). A indústria de cimento no Brasil é responsável por 18 mil empregos diretos, possuindo 91 fábricas controladas por 23 grupos empresariais.

Em 2021 produziu 65,8 milhões de toneladas de cimento, possuindo potencial para produzir 94 milhões de toneladas (SNIC, 2022). Estima-se que para cada milhão de toneladas de cimento produzida, 1.200 empregos (diretos, indiretos e induzidos) são criados, R\$480 milhões são gerados em valor e R\$55 milhões são arrecadados em impostos (ABCP, 2022).

O primeiro registro de uma indústria de cimento no Brasil é no ano de 1897, a Usina Rodovalho, no estado de São Paulo. Até o momento, a importação do material poderia ser feita sem nenhuma tarifa alfandegária. Além disso, a distância entre a unidade fabril e a matéria-prima e o transporte do produto final até o consumidor também desestimularam a produção da Usina Rodovalho. Só em 1920 a fábrica da Companhia Brasileira de Cimento Portland foi instalada no Bairro Perus, em São Paulo, numa região abundante em calcário (matéria-prima do cimento) e com mercado consumidor próximo. Nos anos 1930 surgiram mais duas fábricas no Brasil: uma no Rio de Janeiro (Companhia Nacional do Cimento Portland - CNCP) e outra no município de Votorantim/SP (indústria homônima ao município). Dessa forma, as três indústrias controlavam 80% do mercado nacional, que ainda dependia de importações. (SANTOS, 2011). Atualmente a produção é autossuficiente, possuindo marcas e grupos nacionais, bem como grupos estrangeiros (Lafarge Holcim, Vicat, Secil, etc.) (SNIC, 2022).

No tocante a impactos ambientais, sabe-se que para a fabricação de uma tonelada de clínquer, emite-se, aproximadamente, 900 kg de CO² (MOREIRA & REGO, 2020). Além disso, a indústria cimenteira é responsável por 5% das emissões antrópicas de CO² no mundo (WBCSD, 2010), sendo que ¼ das emissões de CO² de processos industriais vieram da indústria de cimento em 2016 (BRASIL, 2020). Os números chamam atenção, de modo que a indústria cimenteira mapeia há mais de 20 anos suas emissões de maneira organizada e reduziu 20% a sua emissão de CO² entre os anos de 1990 e 2015, tendo como meta reduzir as emissões em mais 33%, entre 2015 e 2050. Para isso, quatro grandes áreas irão auxiliar no atingimento dessa meta: matérias-primas alternativas, combustíveis alternativos, eficiência energética e captura de carbono (ABCP, 2022).

3.5. Caracterização da organização

Para a realização deste trabalho foi escolhida uma empresa do ramo cimenteiro localizada no Distrito Federal, atuante no segmento há mais de 50 anos. Para fins de identificação, será descrita como Empresa X.

3.6. Participantes da entrevista

Para a realização das entrevistas, foram buscados especialistas da área de produção da Empresa X. Logo, foram entrevistados dois profissionais ligados à produção: um analista ambiental e especialista em planejamento e controle mineral (descrito na entrevista como “Entrevistado A”) e outro analista em laboratório (descrito na entrevista como “Entrevistado B”). Para fins de pesquisa, os participantes foram mantidos em sigilo, tendo a liberdade de não expor dados e informações sensíveis ou que possuam moderado grau de sigilo empresarial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados da pesquisa, consolidando os dados da revisão sistemática da literatura acerca do tema e os correlacionando com os dados colhidos nas entrevistas realizadas.

4.1. Panorama atual da literatura sobre Economia Circular e Setor cimenteiro

A partir da revisão sistemática da literatura realizada, foi possível estabelecer um panorama geral acerca das publicações mais recentes que relacionam a Economia Circular e o cimento. Acerca da data de publicação dos artigos, nota-se que o tema vem ganhando notoriedade ao longo do tempo, onde em 2022 houve mais pesquisas publicadas do que os três anos anteriores somados.

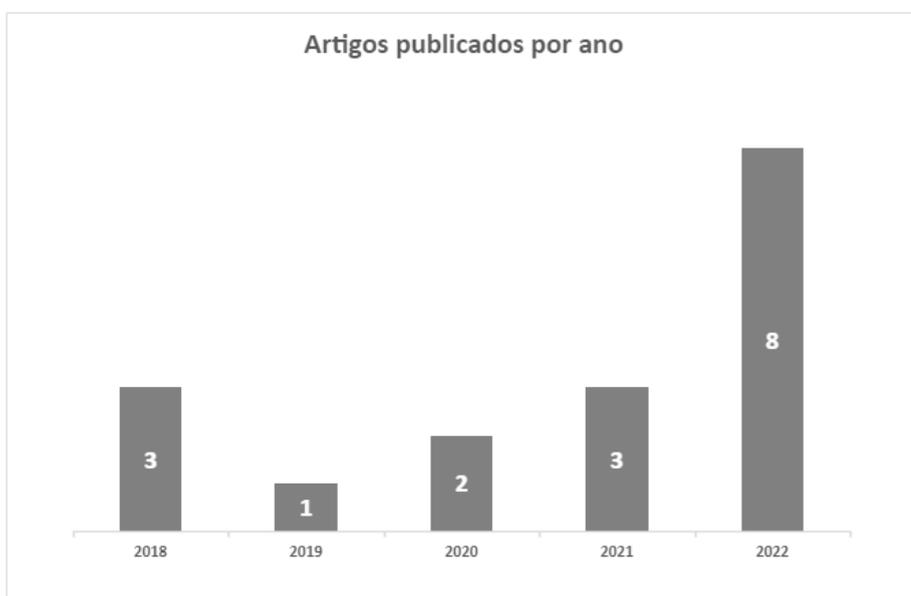


FIGURA 10 – Quantidade de artigos publicados por ano
Fonte: autoria própria

Acerca dos países que possuem mais publicações, destacam-se Índia, Nigéria e Suíça, com duas publicações cada. Já Argentina, Áustria, Bélgica, Catar, Egito, Estados Unidos, Itália, Malásia, Portugal, Reino Unido e Romênia contribuem com apenas uma publicação cada.

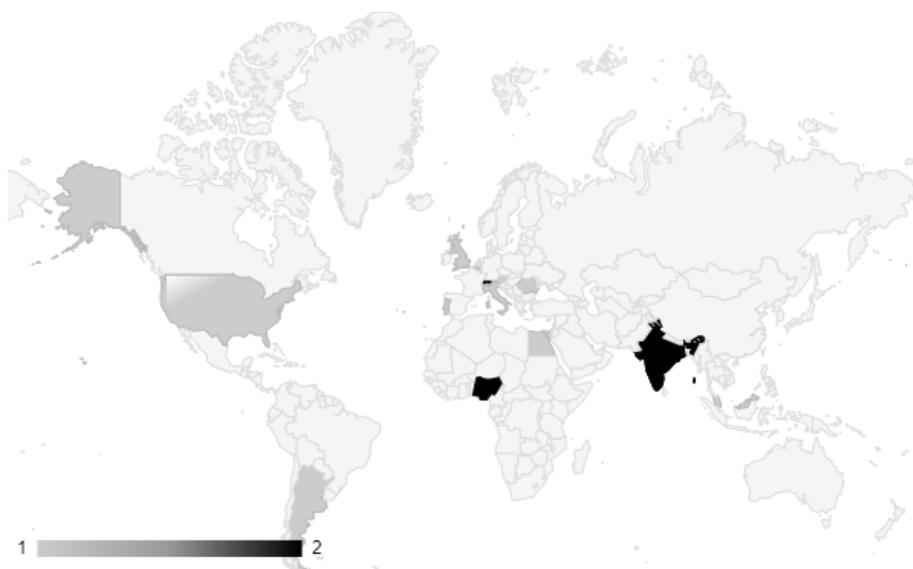


FIGURA 11 – Publicações por país de origem
Fonte: autoria própria

4.2. Relações e práticas existentes e potenciais entre o setor cimenteiro e a Economia Circular

Após a leitura aprofundada dos artigos selecionados, notou-se que a motivação por trás da pesquisa está ligada ao fato da produção de cimento ser uma atividade altamente responsável pela emissão antropogênica de CO² na atmosfera, sendo responsável por, aproximadamente, 5% a 7% desta (CHEN et al, 2010). Dessa forma, a abordagem da economia circular se torna importante e urgente para essa indústria. Os autores pesquisados adentram principalmente no tocante a utilização de resíduos na fabricação de concreto, em detrimento do cimento, bem como fontes de energia ou substitutos parciais ou integrais de materiais primas do clínquer, utilização de fontes renováveis de combustível e materiais complementares na fabricação do cimento e aprimoramento e manutenção de maquinário com o

intuito de reduzir as perdas energéticas no processo produtivo. De todo modo, cada uma dessas oportunidades apresenta riscos e barreiras em sua execução.

Resíduos sólidos urbanos, como plástico, papel, madeira e resíduos orgânicos - dentre eles bagaço, casca de coco, algodão, palma e fibras de cânhamo (KILANI et al, 2022) - podem ser tratados e transformados em combustíveis capazes de substituir o coque de petróleo, que é comumente utilizado como combustível para os fornos das fábricas de cimento e que apresentou aumento de 98% em seu preço em 2021 (ABCP, 2022). Logo, a utilização de combustíveis derivados de resíduos pode ser uma alternativa viável e sustentável para a indústria cimenteira, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a gestão adequada de resíduos sólidos, sem perda de eficiência no processo e impactos negativos na qualidade do produto final (SHEHATA, 2022). Entretanto, para que o resultado da utilização desses seja benéfica, deve-se atentar à variação na composição química desses materiais, na presença de contaminantes, bem como a disponibilidade desses recursos e a aceitação do mercado para com esses produtos finais (JOSEPH et al., 2018). Outra fonte de combustível alternativa é o lodo de esgoto, que possibilita a redução de custos e a dependência de combustíveis fósseis, contribuindo para a gestão sustentável de resíduos e, conseqüentemente, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, essa alternativa ainda deve ser melhor avaliada, visto que o lodo de esgoto possui metais pesados em sua composição, podendo prejudicar a qualidade do ar e do solo (VOICU et al., 2022).

Em relação ao clínquer, o principal componente do cimento - e principal responsável pela emissão de CO², pode-se ter como alternativa sustentável a substituição parcial deste por outros materiais que possuem propriedades aglomerantes, como cinzas volantes (resíduos da fumaça das fábricas captadas em filtros eletrostáticos), sílica ativa, metacaulium, escória granulada de alto forno e resíduos de mineração - definidos como Materiais Cimentícios Suplementares (GUPTA e CHAUDHARY, 2022). Muitos materiais cimentícios suplementares são subprodutos industriais da própria indústria cimenteira, de modo que as indústrias podem se fazer valer de seus próprios resíduos, sem depender de terceiros. Outra alternativa de substituição parcial ou por inteiro do clínquer é a polpa de papel residual de indústrias ligadas à celulose, direcionando esses resíduos a uma nova utilidade, prolongando seu tempo de vida útil. É comprovado que a adição de polpa

de papel pode melhorar a resistência mecânica e a durabilidade do cimento, além de reduzir a porosidade do material, melhorando sua impermeabilidade e resistência a agentes agressivos. De todo modo, testes laboratoriais e de campo são imprescindíveis para atestar a qualidade e conformidade do produto final (VILARINHO et al., 2022).

Essas alternativas ao clínquer permitem uma redução no consumo de energia e, conseqüentemente, na emissão de CO² envolvido no processo. Além disso, a indústria diversifica as fontes de matérias-primas, reduzindo a dependências de recursos naturais limitados, como o calcário (GUPTA e CHAUDHARY, 2022). Entretanto, esses materiais podem impactar as propriedades do cimento produzido, no que tange resistência e durabilidade, devendo ser utilizados com cautela e apenas prosseguirem para distribuição após a realização de testes de laboratório e ensaios em campo (ZAJAC, 2022). Outro ponto a se observar são as regulamentações e quadros legais de cada país para a produção utilizando os materiais cimentícios suplementares, devendo as indústrias se adequarem aos padrões exigidos (GUPTA e CHAUDHARY, 2022).

Como alternativa ao calcário e outras matérias-primas na produção de cimento, os agregados reciclados advindos de resíduos de concreto podem ser utilizados, trazendo uma redução de até 52% da emissão de CO² ao produzir o clínquer, uma vez que esses agregados apresentam uma reatividade maior do que o calcário e podem contribuir para a formação de fases desejáveis do clínquer. Entretanto, essa ainda é uma prática emergente e que são necessários mais estudos para avaliar a viabilidade técnica e econômica dessa prática em larga escala, apesar de que qualquer quantidade de agregado reciclado é capaz de economizar energia nos fornos (ZACCARDI et al, 2022).

Exemplos de materiais de alto grau pozolânico utilizados na fabricação de cimentos e argamassas são os resíduos da indústria açucareira, principalmente a palha da cana-de-açúcar e as cinzas de sua casca. Esses materiais podem ser adicionados na produção aprimorando a resistência mecânica, a durabilidade e a impermeabilidade dos materiais finais. Além disso, esses materiais são fontes renováveis na natureza, diferentemente da cal, da água e de outros materiais utilizados na produção de cimento. Logo, a valorização dos resíduos da indústria açucareira contribui para a redução do desperdício e a utilização mais eficiente dos

recursos. Através da recuperação e reutilização desses resíduos, é possível fechar o ciclo de produção, minimizando o impacto ambiental e promovendo a sustentabilidade, melhorando as propriedades do produto final (GOPINATH et al., 2018).

Miller et al. (2022) sugerem que haja melhorias na eficiência energética, principalmente nos fornos utilizados, com o intuito de maximizar a transferência de calor e reduzir os custos energéticos que essas perdas ocasionam. Além dos fornos, a instalação de sistemas de recuperação de calor nos processos de produção de cimento permite aproveitar o calor residual gerado durante a produção e utilizá-lo para aquecer água ou gerar eletricidade, reduzindo a necessidade de energia adicional. Por fim, a otimização dos moinhos de clínquer também beneficia a economia energética no processo produtivo, podendo ser alcançada por meio de moinhos de rolos verticais ou moinhos de bolas de alta pressão, que minimizam as perdas no processo. Ajustes na granulometria do clínquer e o controle preciso dos parâmetros de moagem também corroboram para esse objetivo, onde é necessário ajustar velocidade do moinho, carga de bolas, temperatura, controle e classificação de partículas e monitoramento de outros parâmetros envolvidos no processo.

Após a leitura aprofundada dos artigos é notável a preocupação técnica intrínseca a esse assunto, onde os artigos abordam terminologias técnicas acerca de dureza, protocolos de produção, performance de produtos e afins. Além disso, conforme citado, há uma preocupação legal e política com o assunto. Entretanto, não foi averiguado na literatura artigos sobre o gerenciamento dessas potenciais alternativas, bem como seus impactos enquanto negócio. Além de serem alternativas sustentáveis, interessantes à empresa, também podem trazer ganhos em termos de rentabilidade, onde há potencial de redução de custos de produção e serem divulgados com o intuito de trazer uma imagem positiva à marca.

Tabela 3 - Relações entre Economia Circular e o setor cimenteiro

Possibilidades de interface da Economia circular no setor cimenteiro	Meio utilizado para realização dessa interface	Interface com a Economia Circular	Autores
Utilização de resíduos como combustíveis fósseis	Resíduos orgânicos (bagaço, casca de coco, algodão, palma e fibras de cânhamo)	Maximização de vida útil de materiais; Mudança para energia e materiais renováveis	KILANI et al., 2022;
	Resíduos sólidos urbanos (papel, plástico, madeira e têxteis)	Maximização de vida útil de materiais	SHEHATA, 2022; JOSEPH et al., 2018;
	Lodo de esgoto		VOICU, 2022
Substituição parcial do clínquer	Materiais cimentícios suplementares (Cinzas volantes, sílica ativa, metacaulium, escória granulada de alto forno e resíduos de mineração) residuais da própria indústria cimenteira	Minimização de perdas sistêmicas; Otimização de rendimento de recursos; Remanufatura de componentes	GUPTA e CHAUDHARY, 2022; ZAJAC et al., 2022
	Polpa de papel residual	Recuperação, retenção e restauração da saúde dos ecossistemas	VILARINHO et al., 2022
Substituição do calcário	Agregados advindos de resíduos de concreto	Minimização de perdas sistêmicas; Otimização de rendimento de recursos	ZACCARDI et al., 2022
Adição de resíduos na produção	Palha de cana de açúcar	Mudança para energia e materiais renováveis	GOPINATH et al., 2018

Melhorias na eficiência energética	Maximizar a transferência de calor nos fornos	Aumentar o desempenho/eficiência da produção; Remover resíduos na produção e na cadeia de suprimentos	MILLER et al., 2022
	Instalação de sistemas de recuperação de calor		

4.3. Processo produtivo de uma indústria cimenteira do DF

O principal produto produzido pela Empresa X é o Cimento Portland, material obtido pela pulverização do clínquer, material produzido por meio da calcinação de materiais calcários (calcário propriamente dito, conchas de origem marinha, entre outros), materiais argilosos (argila propriamente dita, xistos, ardósia e escórias de alto forno) e outros materiais corretivos (BAUER, 2008). A presença dessas matérias-primas de forma abundante próxima à unidade fabril é essencial, visto que o custo de transporte desta poderia inviabilizar a operação, vide o exemplo a Usina Rodovalho, primeira fábrica de cimento do Brasil, a qual, dentre outros fatores, teve a distância entre unidade fabril e matéria-prima como razão a sua derrocada (SANTOS, 2011). Desse modo a Empresa X se localiza na Fercal, região administrativa do Distrito Federal abundante em minérios naturais. De acordo com o entrevistado A, ainda existem empresas que compram de terceiros o clínquer (inclusive da Empresa X) e trabalham apenas com a moagem desse material, realizando a produção e a expedição do cimento final.

Por estar geograficamente privilegiada, a Empresa X trabalha desde a extração da matéria-prima até a expedição do cimento. A primeira etapa é a extração de rochas calcárias. As minas são caracterizadas quimicamente, onde por meio de análises laboratoriais são definidos quais locais podem ter os materiais explorados. De acordo com o entrevistado B, a Empresa X “[...] trabalha com calcário e com argila. Os demais componentes a gente compra de fora, que seriam minério de ferro e gesso”. As pedras de argila e calcário são extraídas através de detonação, havendo logo após o carregamento e transporte por meio de correias dos materiais colhidos até as próximas etapas do processo, de acordo com o entrevistado A.

Extraída a matéria-prima, essa passa pelo processo de britagem, que busca quebrar as rochas em pedaços menores. O produto dessa diminuição (calcário + argila) passa pela pré-homogeneização, para que sejam realizadas análises químicas desses agregados extraídos, com o intuito de identificar presenças indesejadas para a produção de cimento. De acordo com o entrevistado B:

“Como a gente trabalha quimicamente com o cimento, talvez a gente pegue uma lavra de rocha que tenha em sua composição o magnésio, por exemplo. O magnésio é ruim para o concreto, que é futuramente o produto que vai ser utilizado”

Realizado o equilíbrio químico para que se tenha um material de boa qualidade, é feita a homogeneização, que nada mais é do que a mistura entre os agregados envolvidos na produção, com o intuito de ter um material, de fato, homogêneo. Esse agregado homogeneizado sai por uma pilha, é analisado por equipamentos específicos que detectam a composição química do material e, conforme esse equipamento vai quantificando quimicamente esse material, pessoas no comando central de operação fazem a dosagem do material para a produção de cimento.

Esse produto é moído juntamente aos minérios de ferro no moinho de bolas, resultando numa farinha bastante fina, chamado de “cimento cru”. Essa farinha vai até o um forno ser aquecida a 1.450°C, iniciando a transformação química dos componentes ali presentes. Resfriada essa lava, resulta-se o clínquer, que é a base do cimento, num formato esférico. Essas esferas são moídas novamente, tornando-se uma farinha.

Feito o clínquer, dá-se início ao processo de produção de cimento de fato, com o clínquer, gesso e outras adições, a depender do tipo de cimento a ser fabricado. De acordo com o entrevistado A,

“São produzidos o cimento CPV, o CPIV e o CII-Z-32. O CPIV e o CII-Z-32 possuem adição de pozolana, uma argila calcinada que a gente traz de fora in natura, faz as análises

químicas dela e depois calcina. Calcinar é passar pelo processo de forno para ela ser adicionada nesse processo de moagem”

A utilização e a dosagem dessa pozolana irão diferenciar o produto final em termos de resistência e características físicas e mecânicas do concreto. Já o Cimento CPV pode ser constituído apenas de Clínquer e gesso ou possuir adição de filler (material carbonático), a depender do contexto e da disponibilidade. Destaca o entrevistado B:

Hoje, um ponto importante, é que o filler, um material carbonático que a gente chama ele de material carbonático, é derivado, é como se fosse um subproduto do nosso processo de britagem. Então a gente vende ali os agregados, né, só que esse agregado no processo de britagem vai gerando um resíduo, que é um pó muito fino, o filler. Esse pó muito fino volta para o processo como adição na produção de cimento.

A recuperação do filler enquanto resíduo e a sua utilização no processo produtivo do cimento são exemplos de práticas de Economia Circular na indústria cimenteira, onde essa busca remover ou recuperar resíduos em determinados processos, onde os recuperados serão reintegrados para uma nova produção.

Feita a mistura dos materiais conforme o produto desejado, o cimento já está pronto para ser expedido, seja em saco (por meio da coleta diretamente na fábrica ou por meio da venda em centros de distribuição), seja em granel (por meio de caminhões potes ou “big bag”, que são sacos grandes com capacidade de 1 tonelada).

4.4. Práticas sustentáveis de uma indústria cimenteira do DF

Dentre as práticas sustentáveis que vêm sendo adotadas pela Empresa X, percebe-se que a empresa investiu fortemente em coprocessamento. Esse investimento segue uma tendência internacional das indústrias cimenteiras em buscar fontes renováveis e resíduos como insumos na produção. De acordo com o entrevistado B,

“Hoje tem uma parte específica aqui dentro da *Empresa X*, que é o coprocessamento. Foi um investimento de altíssimo nível, de altíssimo valor agregado. Hoje o combustível principal dos fornos é o coque, um material fóssil derivado do petróleo. Ele não é um combustível renovável, ou seja, ele tem uma queima e não tem como a gente reaproveitar isso aí. O que acontece, antes ele era o combustível principal. Hoje a *Empresa X* trabalha com o combustível principal mais uma porcentagem de combustível alternativo. Esses combustíveis alternativos seriam a casca de arroz, seria madeira, que a gente chama de resíduos de biomassa. Já até reaproveitamos caroço de açaí para ajudar nessa queima. Tem a parte de biomassas, que é desses materiais orgânicos e tem a parte de resíduos que a gente trabalha também com o resíduo do pneu. Fazemos o tratamento para que esses possam ser utilizados como combustíveis alternativos.”

Conforme dito pelo entrevistado A, a expectativa é substituir até 40% do seu combustível por essas fontes alternativas. Esses materiais atualmente são adquiridos de outras indústrias, onde ao invés desses materiais serem despejados em aterros, dá-se uma finalidade com o intuito de maximizar seu tempo de vida útil, além de não prejudicar os solos em que eles seriam depositados, trazendo uma pegada ecológica e benefícios energéticos para a empresa, corroborando com a Economia Circular, onde a empresa busca fontes renováveis em detrimento aos combustíveis fósseis não renováveis. Já existem projetos para que essa captação de resíduos seja realizada pela própria empresa, onde essa disponibilizaria centros de coleta dos resíduos. De todo modo, por mais que haja a necessidade de realizar a compra desses materiais, ainda é mais vantajoso economicamente a utilização desses resíduos em relação ao coque de petróleo.

Em relação ao produto final, não há prejuízo em termos de qualidade. Desse modo, são feitas classificações e análises de resíduos propícios a serem utilizados como combustíveis alternativos, para que esses não interfiram no produto final, mas apenas sirvam como combustíveis alternativos, conforme relata o entrevistado B.

“Hoje existem estudos de limites de dosagens. Não posso falar esses limites de dosagem, mas existe esse limite. A parte química desse material na combustão interfere no produto, na química do

produto. Então são feitas essas classificações de resíduos e são feitas essas análises também, para que essa porcentagem não influencie na qualidade final do produto, mas sim só sirva como um combustível alternativo. Então é um ponto positivo, gerando uma economia de energia e poder estar ajudando na questão do meio ambiente.”

Com isso, a utilização de combustíveis alternativos é vista como um benefício ao meio ambiente, assim como traz economia de energia à Empresa X. Durante o ano de 2021, o preço do coque de petróleo subiu de US \$50,00 em 2019 para US \$180,00 em 2022. Além disso, o frete saltou de US\$18,00 para US\$35,00 (ABCP, 2022). Além disso, a utilização de materiais alternativos e a redução de combustíveis no processo produtivo são estratégias eficientes para a redução da emissão de CO² pelas fábricas de cimento (BENHELAL, 2013).

Ainda sobre a redução de emissão de CO², o entrevistado B conclui que “a indústria de cimento possui uma pressão muito grande sobre a emissão do CO². Essa é uma pegada mundial porque o concreto é o segundo material mais consumido do mundo”. Logo, a indústria cimenteira, responsável pelo insumo mais presente no concreto, também deve estar mobilizada no desafio de redução de emissão de CO². Estima-se que a indústria cimenteira seja responsável por cerca de 5% a 7% da emissão antropogênica de CO² (CHEN et al., 2010). De acordo com o entrevistado B,

[...] essa emissão está relacionada ao percentual de clínquer presente no cimento. Quanto maior a pureza, maior a presença de clínquer na formulação de cimento, mais emissão de CO² ele vai gerar. Como a gente reduz essa emissão? Realizando adições, estudos de adições. Exemplo, o CPIV. O CPIV é um cimento considerado ecológico, com uma pegada de emissão de carbono menor. A gente substituiu o clínquer por adição. A Empresa X trabalha com estudos de adições minerais para reduzir a emissão de CO². Atualmente utilizamos a pozolana e em alguns casos utilizamos a escória, que são os materiais mais utilizados pelas empresas como adição.

Para cada tonelada de clínquer produzido, emite-se aproximadamente 900kg de CO² na atmosfera (MOREIRA & REGO, 2020). Portanto, dada a pressão interna

por redução da emissão dos níveis de CO², há o esforço dos engenheiros químicos e do departamento de produção para que se encontre soluções viáveis de redução de CO² por meio da adição de minérios, pensando sempre na qualidade do produto final produzido.

Por fim, há atividades específicas voltadas para a preservação dos recursos hídricos utilizados na Empresa X. Conforme relatado pelo entrevistado A, “a questão da utilização eficiente da água se dá pelo uso em circuito fechado dos sistemas de resfriadores tanto dos fornos quanto das áreas de moagem. Ela resfria o equipamento e vai passar por um equipamento que vai fazer a retenção dessa temperatura, que se chamam torres alpinas. Ela é armazenada em uma caixa e volta novamente para o ciclo fechado, onde você vai ter uma perda muito pequena, apenas por meio da evaporação”. Essa estratégia de ciclo fechado conversa com a Economia Circular uma vez que recupera, retém e restaura esse recurso finito, utilizando-o com o mínimo de perda, prolongando sua vida útil. Além disso, a perda é mínima, ou seja, os processos de resfriamento são realizados com baixa presença de resíduos advindos desse. Ademais, de acordo com dados públicos, a Empresa X também reutiliza a água utilizada no processo produtivo na lavagem de seus veículos, lavagem de agregados produzidos e está constantemente analisando a qualidade desse recurso utilizado em suas operações.

4.5. Oportunidades e barreiras à implementação da Economia Circular

No que diz a respeito às oportunidades e barreiras à implementação da Economia Circular, os entrevistados destacaram a oportunidade de possuir uma boa imagem pelo mercado consumidor, a redução de energia e a adesão a uma tendência global, apesar de exigir custos elevados e haver morosidade na implementação por conta da burocracia envolvida. A Empresa X possui uma pressão interna relacionada à diminuição da emissão de CO², possuindo objetivos relacionados a sua produção e portfólio de produtos estabelecidos pelo grupo

empresarial a qual pertence. Desse modo, o desafio em reduzir a emissão de CO² é visto como possibilidade de melhoria contínua por meio da Economia Circular.

Além disso, há a demanda do mercado para produtos voltados à sustentabilidade e com pegada ecológica, sem perder a qualidade técnica e conformidade esperada do produto. Essa demanda converge com a estratégia de “Regenerar” e “Otimizar” da estrutura ReSOLVE, criada pela Ellen MacArthur Foundation, onde a empresa traz produtos que utilizam em sua composição energia e materiais renováveis, sem perder desempenho do produto. De acordo com o entrevistado B:

O cliente quer um cimento ecológico, mas o que ele mais quer é a resistência. É um investimento que não é barato, mas traz oportunidades tanto na parte de economia quanto na parte ecológica. Hoje a pegada ecológica está na imagem da empresa. Então isso é uma pressão interna que tem que ter, mas uma visão também externa. Hoje o cliente também analisa porque ele também passa por certificações, as construtoras passam por certificações e se elas tiverem no seu contexto de fornecedores empresas que tem essa vertente de reaproveitamento, também se torna um ponto positivo para elas, como um produto final delas também. A sociedade hoje está se baseando muito na diminuição do impacto ambiental, então tem um benefício muito grande da imagem da empresa em si nessa visão ecológica.

Visando estabelecer-se no cenário de empresas sustentáveis, já se pensa internamente em captar os resíduos urbanos de forma ativa, sem depender de intermediários para que os resíduos cheguem até a fábrica. Para isso, faria valer como oportunidade a sua localização, na Fercal, para que se estabelecesse parcerias com empresas próximas que forneceria esses resíduos delas próprias, bem como se prepararia para dar tratativas devidas a cada tipo de resíduo, com equipamentos e pessoal específicos para essa destinação. Desse modo, a Empresa X não ficaria à mercê da disponibilidade das empresas especializadas em tratar o material residual, podendo ter maior previsibilidade na quantidade de material que seria utilizado como fonte de combustível. Além disso, deixa de estar dependente de uma fonte de combustível fóssil não renovável e suas flutuações de preço que variam de acordo com o câmbio e com sua disponibilidade. Essa ação conversaria

com as estratégias “Regenerar”, “Compartilhar” e “Ciclar” da estrutura ReSOLVE, onde essa utilizaria como fonte de energia os resíduos recolhidos juntamente a esses parceiros, dando uma nova finalidade a materiais que provavelmente seriam descartados sem utilidade alguma.

Entretanto, para que essas ações sejam implementadas, há a necessidade de que sejam feitos altos investimentos, como foi feito para o coprocessamento. De acordo com o entrevistado B:

“Hoje para a gente ter essa questão do coprocessamento dentro da fábrica, foram investidos milhões e milhões para esse produto chegar e ser classificado. Então hoje, a parte ecológica, um dos pontos que a *Empresa X* teve que fazer para essa redução de emissão de CO² foi um investimento de tecnologias de produto, de coprocessamento e um investimento em estudos e pesquisas sobre adições minerais para compreender qual seria o impacto de resistência que se teria nos cimentos.”

Outra barreira é a burocracia ambiental para as liberações de realizações de ações internas na empresa. De acordo com o entrevistado A:

Acredito que a maior barreira seja a burocracia ambiental mesmo. Digamos que atualmente você tem uma liberação para fazer a substituição de 30% a 40% do material. Se você vai solicitar um aumento, tem que passar por uma gama de estudos, entrar numa parte burocrática num órgão que vai levar de 6 meses a 1 ano a depender da gravidade do assunto ou do tipo de resíduo que vai estar entrando. Então essa morosidade, até por não ter uma equipe técnica estruturada no órgão para analisar, termina prejudicando um pouco a questão do avanço dessa otimização das empresas

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esse estudo foi desenvolvido dada a urgência com que o mundo se encaminha para a finitude de seus recursos naturais, bem como a degradação de suas proteções naturais, como a camada de ozônio. Dentre os materiais que podem prejudicar a camada de ozônio está o CO², liberado na combustão de grandes indústrias, como a do cimento, que é responsável por aproximadamente 5% a 7% da emissão desse gás de forma antropogênica no globo. Logo, enxerga-se na Economia Circular uma saída viável e promissora para que essas emissões sejam reduzidas ao máximo, de modo que haja um caminho em que convergem a eficiência industrial e a preservação do meio ambiente e seus recursos. Desse modo, buscou-se como objetivo analisar as práticas da indústria do cimento a partir dos princípios da Economia Circular.

Explicada a história, os impactos e as ações das indústrias de cimento, fica bastante claro que essas simbolizam um grande potencial para reduzir significativamente as emissões de CO² na atmosfera. Logo, foram identificados artigos que relacionavam as indústrias cimenteiras, o cimento e o concreto com práticas de Economia Circular, que trouxessem alternativas planejadas, aplicadas e analisadas para que se compreendesse em que estado essas indústrias estão em relação ao tema da Economia Circular. Compreendido o atual momento da Economia Circular em indústrias cimenteiras e na produção de cimento e concreto, buscou-se compreender o processo produtivo, as práticas sustentáveis e as oportunidades e barreiras de implementação de práticas relacionadas à Economia Circular numa indústria de cimento no Distrito Federal.

Acerca dos quatro objetivos específicos estabelecidos para esse trabalho, pode-se afirmar que foram alcançados por meio de revisão sistemática da literatura existente acerca do tema Economia Circular e Indústrias de Cimento, bem como por meio de entrevistas semiestruturadas realizadas com especialistas da empresa Empresa X.

O processo produtivo de cimento é, como dito por um especialista entrevistado, “uma receita de bolo”, na qual há possibilidades de se aplicar melhorias que contribuam para a pegada ecológica sem prejudicar o produto final.

Há o interesse para que ocorram melhorias contínuas relacionadas a redução de emissão de CO² pelas fábricas, que reverbera como imagem positiva para a empresa perante o mercado, trazendo maior aceitação pelo público consumidor e, ocasionalmente, potencializando as receitas. No campo de custos, alternativas sustentáveis também são bem vistas dado que possuem o potencial de reduzirem os gastos da empresa com fontes de energia e a coloca num espaço que não dependa de fontes não renováveis e suas flutuações de preços. Entretanto, preparar-se para que essas oportunidades sejam aproveitadas ao máximo exige altos investimentos financeiros e de tempo para as fábricas, visto que exigem maquinário, pesquisas, pessoas e estratégias bastante específicas, bem como recaem sob burocracias para que sejam realizadas em conformidade com as normas vigentes de cada país.

Como limitação, enxerga-se que foi utilizada apenas uma empresa como objeto de estudo, onde as práticas e insumos podem variar conforme a localidade de cada indústria. Dado que no Brasil existem 91 fábricas dispostas em 80 municípios de 23 estados é possível que haja diferenças entre os resíduos encontrados e utilizados como fontes de energia para essa indústria. Outra limitação foi o não acesso a documentação publicada pela empresa para que fosse possível aprofundar ainda mais sobre cada prática e pudesse elucidar de forma visual os processos e práticas realizados.

Sugere-se que futuros trabalhos que busquem se aprofundar nesse tema realizem análises sobre os impactos financeiros de forma precisa dessas práticas sustentáveis, apresentando-as como alternativas lucrativas para as indústrias, bem como impactos mercadológicos na perspectiva de stakeholders envolvidos com essas indústrias.

REFERÊNCIA

ABCP, 2019. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 17/04/2023

ABCP, 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/industria-brasileira-faz-a-sua-parte-na-reducao-de-emissoes/>. Acesso em: 27/12/2022

ABCP, 2022. Disponível em: <https://abcp.org.br/inventario-de-gases-de-efeito-estufa-e-ferramenta-important-e-para-industria-reduzir-emissoes/>. Acesso em: 23/05/2023

ABCP, 2022. Disponível em: <https://abcp.org.br/o-encadeamento-da-industria-do-cimento-no-brasil-2/>. Acesso em: 23/05/2023

ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**, 2022

AL-HAMRANI, A., **Green Concrete for a Circular Economy: A Review on Sustainability, Durability, and Structural Properties**, *Materials*, Volume 14, 2021

AYUB, M. et al, **Promoting sustainable cleaner production paradigms in palm oil fuel ash as an eco-friendly cementitious material: A critical analysis**, *Journal of Cleaner Production*, Volume 295, 2021

- BAUER, L.A., **Materiais de Construção**, Capítulo 1, 1994
- BENHELAL, E et al, **Global strategies and potentials to curb CO² emissions in cement industry**, 2013
- BONCIU, F. **The European economy: From a linear to a circular economy**, 2014
- BRASIL, **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**, 2020
- C MARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, **Banco de Dados CBIC**, Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>, Acesso em: 14/02/2023
- CHEN, C. et al, **Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation**, 2010
- CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA, **Mercado de cimento no Brasil**, 2019
- DUTTA B.; MAITY S., **Role of Blended Cement in Reducing Energy Consumption**, *Advances in cement research*, 2015
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Economia circular em cidades**, 2019
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à economia circular: o racional de negócio para acelerar a transição**, 2015
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil: uma exploratória inicial**. 2017
- FREITAS, S., NOBREGA, C. **Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira**, 2014
- GALVÃO, T., PEREIRA, M., **Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração**, 2014
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 Ed., São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**, 5 Ed., São Paulo: Atlas, 1999.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2022. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/resources/footprint-calculator/>. Acesso em: 27/12/2022

GOPINATH A., et al, **A circular framework for the valorisation of sugar industry wastes: Review on the industrial symbiosis between sugar, construction and energy industries**, Journal of Cleaner Production, Volume 203, 2018

GUPTA, S., **State of the art review on Supplementary Cementitious Materials in India – I: An overview of legal perspective, governing organizations, and development patterns**, Journal of Cleaner Production, Volume 261, 2020

HOOD, B., **Make recycled goods covetable**, 2016

JOSEPH, P., et al, **The Use of Municipal Solid Waste Incineration Ash in Various Building Materials: A Belgian Point of View**, Materials, Volume 11, 2018

KARSTENSEN, K. H., **Formation and Release of POPs in the Cement Industry**, 2006.

KILANI, A, FAPOHUNDA, C, ADELEKE, O, METIBOBA, C., **Evaluating the effects of agricultural wastes on concrete and composite mechanical properties: a review**, Res. Eng. Struct. Mater., 2022

KORHONEN, J. **Circular economy as an essentially contested concept**, 2018

LEWANDOWSKI. M. **Sustainability Designing the Business Models for Circular Economy-Towards the Conceptual Framework**, 2016

MARCONI, M. D. A., e LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 Ed., São Paulo: Atlas. 2003.

MARSH, A., **Circular Economy strategies for concrete: implementation and integration**, Journal of Cleaner Production, Volume 362, 2022

MARTIRENA, J.F.; SCRIVENER K.L., **Development and introduction of a low clinker, low carbon, ternary blend cement in Cuba. Advances in cement research**, 2015

MAURY, M., BLUMENSCHNEIN, R.. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**, 2012

MILLER, S. et al, **Achieving net zero greenhouse gas emissions in the cement industry via value chain mitigation strategies**, 2021

MOREIRA, C., REGO, J., **Efeito do teor de gipsita na resistência à compressão do cimento LC³**, 2020

MURRAY, C, et al, **Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study**, 2020

NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**, 2013

NODEHI, M., TAGHVAEE, V., **Sustainable concrete for circular economy: a review on use of waste glass**, 2021

NWANKWO, C., **High volume Portland cement replacement: A review**, **Construction and Building Materials**, Volume 260, 2020

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 11/02/2023

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), **Perspectivas da população Mundial**, 2022

ORSINI, F., MARRONE, P., **Approaches for a low-carbon production of building materials: A review**, *Journal of Cleaner Production*, Volume 241, 2019

PLANING, P. **Business Model Innovation in a Circular Economy Reasons for Non-Acceptance of Circular Business Models**, 2015.

QUINA M., et al, **Technologies for the management of MSW incineration ashes from gas cleaning: New perspectives on recovery of secondary raw materials and circular economy**, *Science of The Total Environment*, Volume 635, 2018

SANTOS, L., **A Indústria de cimento no Brasil: Origens, consolidação e internacionalização**, 2011

SHEHATA, N., et al, **Role of refuse-derived fuel in circular economy and sustainable development goals**, **Process Safety and Environmental Protection**, Volume 163, 2022

- SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3 Ed., Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001
- SNIC, 2023. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>. Acesso em: 31/01/2023
- SPANGERBERG J., et al, **Design for Sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption**, 2010
- STAHEL, W. R. **The circular economy**, 2016
- U.S. Geological Survey, **Mineral commodity summaries 2022: U.S. Geological Survey**, 2022
- VERGARA, S. **Projetos e relatórios de pesquisa em Administração**. 2 Ed., São Paulo: Atlas, 1998.
- VILARINHO, I., et al, **Review of recycling alternatives for paper pulp wastes**, 2022
- VOICU, G., et al, **Recovery of Sewage Sludge in the Cement Industry**, *Energies*, Volume 15, 2022
- WBCSD, World Business Council for Sustainable Development, **Cement Technology Roadmap**, 2009
- YIN, R., **Estudo de caso: planejamento e métodos**, 2 Ed., Porto Alegre: Bookman, 2001
- ZACCARDI, Y., et al, **Complete re-utilization of waste concretes–Valorisation pathways and research needs**, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 177, 2022
- ZAJAC, C., et al, **CO² Mineralization Methods in Cement and Concrete Industry**, *Energies*, Volume 15, 2022