

9 INDÚSTRIA



Disclaimer: As opiniões expressas no texto são tão e somente as opiniões dos autores e não expressam, direta ou indiretamente, as opiniões ou posições de suas instituições ou do MMA, PNUMA, IPEA ou FGV, ou demais organizações que participam do GEO BRASIL 2025.

Para citar este documento utilize:

MMA, PNUMA, FGV e IPEA (2025). GEO BRASIL 2025: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro: FGV e Brasília: MMA. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/f266d8d3-fcba-4ff8-b7c0-6bc4167f56b6> ou

<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>

QUALIDADE AMBIENTAL NA INDÚSTRIA BRASILEIRA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA UMA TRANSIÇÃO JUSTA E CIRCULAR

Autores: Raphael de Jesus Campos de Andrade e Mônica Cavalcanti Sá de Abreu
Universidade Federal do Ceará
Laboratório de Estudos em Competitividade e Sustentabilidade – LECoS

Sumário Executivo

Os principais desafios da transição, como a dependência de práticas produtivas lineares, os altos índices de emissões setoriais e as desigualdades regionais limitam a capacidade de adaptação da indústria nacional. Foi utilizada a metodologia DPSIR (Driving Forces, Pressures, State, Impact, Response), que organiza a análise em Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas, para mapear esses desafios e propor soluções. Os modelos industriais vigentes geram externalidades ambientais significativas, como degradação de ecossistemas, contaminação de recursos hídricos e emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que ampliam vulnerabilidades sociais e econômicas. Embora presentes desde os anos 2000, esses impactos ganharam maior visibilidade e intensidade a partir da década de 2010, quando se tornaram mais evidentes em função da combinação entre expansão de cadeias extrativas, pressões internacionais por descarbonização e episódios críticos como os desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019).

A convivência entre práticas ambientalmente inovadoras e padrões produtivos ainda fortemente lineares evidencia grandes desigualdades setoriais e regionais, que urge a necessidade de ação estratégica

integrada entre governo, setor produtivo e sociedade civil. Essa ambivalência se manifesta inicialmente na configuração territorial do parque produtivo. A concentração geográfica da indústria nas regiões Sudeste e Sul, com polos especializados embora gerem economias de escala, aprofundam desigualdades regionais e criam vulnerabilidades sistêmicas.

A defasagem tecnológica constitui um desafio estrutural. Aproximadamente 68% das indústrias de transformação ainda operam com tecnologias convencionais, enquanto, apenas 23% incorporaram elementos da Indústria 4.0 em seus processos produtivos. Essa disparidade tecnológica se reflete na digitalização desigual, ou seja, 45% das grandes empresas possuem sistemas integrados de gestão, comparado a apenas 12% das pequenas e médias empresas. A automação industrial, presente em 34% dos estabelecimentos, concentra-se principalmente nos setores automotivo, siderúrgico e petroquímico, deixando amplos segmentos da indústria com baixo nível de modernização. Há também baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento.

A indústria nacional também começa a enfrentar pressões crescentes por parte de novos regimes regulatórios internacionais. O Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM, na sigla em inglês), da

Introdução

A consolidação da gestão ambiental industrial no Brasil não ocorreu de forma súbita, mas foi resultado de um processo histórico marcado por crescente conscientização social, pressões internacionais e conflitos decorrentes da expansão industrial nas décadas de 1970 e 1980. Nesse contexto, a construção de um arcabouço legal se tornou a resposta institucional necessária para equilibrar crescimento econômico e preservação ambiental. Apresentar a evolução das principais leis e regulações permite compreender como se estruturaram as bases jurídicas e institucionais que moldaram a atuação da indústria brasileira frente aos desafios da sustentabilidade. Assim, o que se segue organiza uma linha do tempo normativa que destaca os marcos mais relevantes desse processo.

A institucionalização da gestão ambiental industrial brasileira teve seu marco inicial com a promulgação da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) em 31 de agosto de 1981 (Lei nº 6.938/81). Esta lei estabeleceu o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e instrumentos cruciais como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA). A Constituição Federal de 1988, promulgada em 5 de outubro, fortaleceu este alicerce ao consagrar em seu artigo 225, o direito ao “meio ambiente ecologicamente equilibrado como bem de uso comum do povo” (Brasil, 1988). Este avanço constitucional impulsionou a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em fevereiro de 1989, que unificou a gestão ambiental federal e sistematizou o licenciamento industrial. A década de 1990 consolidou os fundamentos

regulatórios com a regulamentação da PNMA pelo Decreto nº 99.274, em 6 de junho de 1990, e culminou com a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605) em 12 de fevereiro de 1998, que introduziu a responsabilização penal por danos ambientais industriais (Brasil, 1997).

O início dos anos 2000 marcou uma fase de institucionalização e primeiros acordos setoriais, com a criação da Agência Nacional de Águas (ANA) em 2000, estabelecendo a regulação do uso industrial de recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água na indústria (Brasil, 2000). O primeiro acordo setorial de logística reversa foi implementado em 2002 para embalagens de agrotóxicos, servindo como modelo para acordos posteriores. A Lei de Gestão de Florestas Públicas (11.284/2006) regulamentou a exploração florestal para a indústria através de concessões florestais sustentáveis, enquanto a Lei de Saneamento Básico de 2007 estabeleceu a regulação de efluentes industriais e sua integração com sistemas municipais de tratamento. A Política Nacional sobre Mudança do Clima Lei nº 12.187, promulgada em 2009, constituiu a primeira lei climática nacional, estabelecendo metas de redução de emissões industriais. A promulgação da Lei nº 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), consolidou os princípios da responsabilidade compartilhada, logística reversa e hierarquia na gestão de resíduos (Brasil, 2010). Esta política representou uma inflexão decisiva na abordagem da sustentabilidade industrial, estabelecendo as bases legais para a economia circular no país, conforme apresentado na figura 9.1. O Código Florestal de 2012 (Lei nº 12727) complementou este arcabouço, regulamentando o uso florestal pela indústria e estabelecendo mecanismos de compensação ambiental e reserva legal.

Figura 9.1 - Evolução da qualidade ambiental na indústria e seus marcos regulatórios na linha do tempo

EVOLUÇÃO DAS POLÍTICAS E COMPROMISSOS



Fonte: Brasil, 2024.

Paralelamente, a década de 2010 foi marcada por eventos que transformaram profundamente a percepção sobre a responsabilidade ambiental industrial. O rompimento da barragem de Fundão da Samarco em Mariana/Minas Gerais, em 2015, constituiu o maior desastre ambiental industrial do país, resultando na criação da Fundação Renova com recursos de R\$ 38 bilhões para reparações (Fundação Renova, 2023). Esse desastre oferece uma oportunidade única de aplicação do modelo DPSIR para examinar como forças motrizes, pressões, estados, impactos e respostas se articulam em contextos de colapso socioecológico. Em 2019, ocorreu o desastre de Brumadinho, com o rompimento da barragem Córrego do Feijão da Vale, causando 270 mortes e estabelecendo a necessidade de um novo marco regulatório de segurança de barragens. O desastre de Maceió, causado pela mineração inadequada de sal-gema pela Braskem por mais de 40 anos, emergiu como outro caso emblemático dos riscos da atividade industrial irresponsável. Desde 2019, cerca de 60.000 pessoas foram forçadas a abandonar suas comunidades devido ao afundamento do solo e rachaduras em mais de 14.000 imóveis em cinco bairros da capital alagoana (Jurema, 2024). Os passivos da empresa relacionados ao desastre alcançaram R\$ 34 bilhões, evidenciando os custos sociais e econômicos da negligência ambiental corporativa (Valor Internacional, 2025). Estes desastres catalisaram mudanças regulatórias significativas e intensificaram o debate sobre a responsabilidade corporativa, contribuindo para uma maior consciência sobre a necessidade de práticas industriais verdadeiramente sustentáveis.

A década de 2020 trouxe novos marcos regulatórios que sinalizam uma aceleração da transição sustentável. O Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) estabeleceu a universalização do tratamento de esgoto até 2033, impactando significativamente a gestão de efluentes industriais. O Marco Temporal dos Resíduos Sólidos e regulamentado por diversos decretos, como o Decreto nº 11.043/2022, que instituiu o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) determinou o fim dos lixões até 2024, aumentando a pressão para destinação adequada de resíduos industriais. A Estratégia Nacional de Economia Circular, estabelecida pelo Decreto 11.044 de 2023, constituiu o primeiro plano nacional de economia circular, definindo metas setoriais de circularidade. O Plano Nacional de Economia Circular, em consulta pública em 2024, estabelece metas quantitativas por setor e cronograma de implementação até 2050. Este contexto de transformação e contradições torna fundamental uma análise sistemática da sustentabilidade industrial brasileira que considere tanto os avanços conquistados quanto os desafios persistentes. A justiça ambiental é outro ponto central na institucionalização da política ambiental brasileira. Populações indígenas, quilombolas e periféricas são desproporcionalmente expostas aos riscos ambientais, como no caso da contaminação por óleo em mais de 3.000 km do litoral nordestino em 2019, ou pelo mercúrio nos peixes da Amazônia, afetando segurança alimentar e modos de vida (Fundação Oswaldo Cruz, 2020) e demandam políticas públicas inclusivas.

Nesse contexto, as próximas seções aprofundarão o exame do setor industrial brasileiro a partir de três eixos principais. Em primeiro lugar, será apresentado o Modelo

DPSIR Aplicado ao Contexto Industrial Brasileiro, destacando como forças motrizes, pressões, estados, impactos e respostas se manifestam em diferentes cadeias produtivas. Em seguida, serão discutidos os Desafios e Oportunidades que emergem desse cenário, evidenciando tanto os entraves históricos quanto as possibilidades estratégicas de uma transição justa, circular e de baixo carbono. Por fim, nas Considerações Finais, será feita uma síntese crítica dos achados, ressaltando as implicações para a política pública, a governança ambiental e o futuro da indústria nacional.

Modelo DPSIR Aplicado ao Contexto Industrial Brasileiro

O modelo DPSIR (Driving Forces, Pressures, State, Impact, Response), desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) organiza a análise de problemas ambientais complexos em cinco dimensões interligadas, permitindo compreender as relações causais entre atividades humanas e seus efeitos

ambientais e socioeconômicos (GEO, <https://www.unep.org/geo/>). As Forças Motrizes englobam fatores institucionais e socioeconômicos que moldam essas atividades; as Pressões se referem aos efeitos diretos sobre o meio ambiente; o Estado diz respeito às condições atuais dos sistemas naturais e sociais; os Impactos tratam das consequências sobre ecossistemas, economia e bem-estar humano; e as Respostas compreendem as ações coletivas voltadas à mitigação dos problemas diagnosticados.

A seguir, cada dimensão do modelo DPSIR é examinada no contexto da sustentabilidade industrial brasileira e seus desafios e oportunidades na transição para um modelo circular e de baixo carbono. A figura 9.2 sumariza as principais questões que serão tratadas ao longo desse capítulo. Essa representação busca evidenciar as relações causais entre os elementos do sistema produtivo e suas consequências ambientais e sociais, oferecendo uma base estruturada para a compreensão da complexidade da transição rumo à economia circular e à descarbonização. Ao sistematizar as dimensões centrais do modelo DPSIR no contexto brasileiro, este mapa também estabelece o referencial conceitual que orienta a análise do caso do rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG, apresentado nos quadros como um exemplo dessas dinâmicas em um contexto de colapso socioambiental.

Figura 9.2– Modelo DPSIR aplicado à indústria brasileira


Fonte: elaborado pelos autores.

2.1 Forças motrizes da transformação industrial brasileira

A trajetória da indústria brasileira combina fatores históricos e conjunturais que atuam em diferentes escalas. Um dos mais relevantes é a desindustrialização das últimas quatro décadas, refletida na queda da participação da indústria de transformação no PIB de 33% para 15% e no emprego industrial de 27% para 14% (Confederação Nacional da Indústria, 2024). Intensificada pela abertura comercial dos anos 1990, a valorização cambial e a dependência de commodities, essa dinâmica enfraqueceu a capacidade nacional de agregar valor e inovar, comprometendo a competitividade frente a países como China e Coreia do Sul, que mantiveram políticas industriais ativas, forte investimento em inovação e coordenação estratégica entre Estado e setor produtivo (Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2022). Outro fator estruturante é a heterogeneidade do parque industrial. Pequenas e médias empresas, que representam 99% dos estabelecimentos e cerca de 47% do PIB industrial, enfrentam grandes obstáculos para adotar práticas sustentáveis, ao contrário das grandes corporações, que possuem maior

capacidade de investimento (Confederação Nacional da Indústria, 2024).

A perda de complexidade produtiva é evidente através de indicadores de redução histórica: a participação de produtos de alta tecnologia nas exportações industriais brasileiras caiu de 12% em 2000 para apenas 9% em 2024, enquanto países como México ampliaram sua participação de 15% para 19% no mesmo período (Folha de S. Paulo, 2024), conforme apresentado na figura 9.3. O Índice de Complexidade Econômica do Brasil declinou da 56ª posição em 2000 para a 71ª em 2022, refletindo a simplificação da estrutura produtiva nacional (Observatory Of Economic Complexity, 2024). O investimento nacional em pesquisa e desenvolvimento permanece limitado — 1,2% do PIB, ante média de 2% na OCDE (Folha de S. Paulo, 2024) —, constituindo um fator diretamente relacionado à perda de complexidade produtiva. A redução dos investimentos empresariais em P&D, que caíram de 0,6% do PIB em 2015 para 0,4% em 2023, compromete o desenvolvimento de soluções tecnológicas adaptadas ao contexto local e limita a capacidade de inovação necessária para a transição sustentável (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024).

Figura 9.3 – Complexidade tecnológica e investimento em P&D


Fonte: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024.

O envelhecimento populacional brasileiro constitui uma força motriz negativa para a produtividade industrial. A população em idade ativa (15-64 anos) atingiu seu pico em 2022 e iniciará declínio a partir de 2025, enquanto a população acima de 65 anos crescerá de 10,9% em 2024 para 25,5% em 2060 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023), conforme dados apresentados na figura 9.4. Essa transição demográfica reduz a oferta de mão de obra industrial e eleva os custos previdenciários e de saúde, pressionando a competitividade setorial. A idade média dos trabalhadores industriais aumentou de 35 anos em 2010 para 39 anos em 2023, com tendência de envelhecimento mais acentuada em setores tradicionais como têxtil e metalurgia (Relação Anual de Informações Sociais, 2023). Simultaneamente, a redução da população jovem limita a renovação de competências técnicas e a adaptação a novas tecnologias, criando desafios adicionais para a modernização produtiva.

A urbanização acelerada e a expansão da classe média intensificaram os desafios ambientais através do aumento descontrolado da geração de resíduos.

Em 2023, o Brasil gerou cerca de 80 milhões

de toneladas de resíduos sólidos urbanos — 1,047 kg por pessoa por dia (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024) —, volume que cresce mais rapidamente que a capacidade de tratamento adequado. Apesar do avanço da consciência ambiental, ainda predomina o modelo linear de produção e consumo, caracterizado pelo desperdício de recursos, obsolescência programada e baixas taxas de reutilização, configurando um padrão insustentável de desenvolvimento urbano-industrial. A precariedade do setor informal de reciclagem evidencia as limitações estruturais do modelo de gestão de resíduos brasileiro. Embora os catadores de recicláveis sejam responsáveis por cerca de dois terços do material reciclado no país, com mais de 281 mil trabalhadores reconhecidos e cerca de 3 mil cooperativas ativas, essa economia circular de base social opera com baixa institucionalização, ausência de proteção social adequada e condições de trabalho frequentemente insalubres (Bouvier & Dias, 2021; Brasil, 2024). A dependência excessiva do trabalho informal para viabilizar a reciclagem nacional revela a fragilidade dos sistemas formais de gestão de resíduos e a insuficiência de políticas públicas estruturantes.

Figura 9.4 – Transição demográfica industrial



Fonte: IBGE, 2023.

A fragmentação das cadeias globais de valor, acelerada por conflitos comerciais, pandemia e tensões geopolíticas, representa uma oportunidade estratégica para o fortalecimento do mercado doméstico brasileiro (McKinsey Global Institute, 2024). Essa reconfiguração mundial favorece estratégias de "near shoring" e "friend shoring" que privilegiam fornecedores regionais e países com estabilidade institucional (World Trade Organization, 2023). Para capturar esses investimentos, o Brasil necessita se orientar por inovação sustentável, posicionando-se competitivamente em setores emergentes como mineração de terras raras, produção de hidrogênio verde e manufatura de componentes para energias renováveis. A combinação entre recursos naturais abundantes, matriz energética limpa e capacidade industrial instalada confere ao país vantagens comparativas significativas nessa nova configuração produtiva global. A crescente demanda global por minerais estratégicos para a transição energética — como lítio, nióbio e terras raras — abre oportunidades para agregar valor com inovação e sustentabilidade, desde que seja superada a lógica extrativista e se invista em etapas de refino, tecnologia de materiais e produção de componentes avançados (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2023).

O Brasil possui potencial significativo para desenvolver cadeias produtivas completas desses minerais críticos, transitando da

exportação de matérias-primas brutas para a oferta de produtos industrializados de alto valor agregado, posicionando-se como fornecedor estratégico de tecnologias limpas para o mercado global. A matriz elétrica brasileira, majoritariamente renovável (88,2% em 2024, segundo o Ministério de Minas e Energia, 2025), oferece uma base favorável à descarbonização. Apesar das restrições em P&D, o país conta com centros de excelência e iniciativas colaborativas, como incubadoras, parcerias público-privadas e programas de fomento à inovação verde (Financiadora de Estudos e Projetos, 2024).

Quadro 9.1 - Forças motrizes do colapso: a gênese do desastre do rompimento da barragem de Fundão

Lógica econômica e financeira

O rompimento da barragem de Fundão em 5 de novembro de 2015 não foi um evento aleatório, mas o desfecho previsível de um arranjo sistêmico forjado por forças motrizes econômicas, institucionais e culturais. Na base desse sistema estava a lógica extrativista da Samarco, sustentada pelas corporações Vale e BHP Billiton, que priorizavam a maximização da produção em detrimento da segurança operacional (Abreu & Andrade, 2019). A pressão por resultados financeiros de curto prazo criou incentivos perversos que subordinam considerações de segurança aos imperativos de rentabilidade. A Samarco operava sob lógica voltada à maximização de valor para os acionistas, optando por expandir a produção em detrimento de investimentos em segurança.

Quadro 9.1 - Forças motrizes do colapso: a gênese do desastre do rompimento da barragem de Fundão

Essa dinâmica foi intensificada pelo boom das commodities dos anos 2000, que ampliou a pressão por produtividade e postergou investimentos estruturais.

Falhas regulatórias e institucionais

Falhas estruturais na fiscalização, baixa articulação federativa e assimetrias técnicas entre órgãos públicos e agentes privados favoreceram a captura regulatória e a diluição de responsabilidades (Abreu & Andrade, 2022). A dependência estrutural da mineração, como pilar do modelo exportador de commodities, limitou a capacidade estatal de exercer controle efetivo. A fragmentação da governança ambiental acentuou esse quadro. A sobreposição de competências e a ausência de protocolos claros de coordenação resultaram em lacunas de fiscalização. O licenciamento ambiental tornou-se procedimento burocrático voltado mais à aprovação de projetos do que à avaliação rigorosa de riscos, sem mecanismos efetivos de participação social.

Dimensões socioculturais

Do ponto de vista sociocultural, a tecnocracia mineradora se impôs como regime de verdade, subordinando saberes locais e marginalizando as comunidades atingidas. Essas forças motrizes, caracterizadas por dependências históricas, assimetrias estruturais e ciclos de negação institucional incapazes de aprender com seus próprios alertas, criaram um ambiente propício à crise que se abateu sobre a bacia do Rio Doce.

Fonte: elaborado pelos autores.

2.2. Pressões exercidas pelo modelo industrial nos sistemas socioecológicos

Num contexto marcado pela predominância da economia linear caracterizada pela lógica “extrair-produzir-descartar”, as pressões derivadas do modelo industrial brasileiro refletem as forças motrizes previamente analisadas e se manifestam de forma interligada nos planos climático, hídrico, atmosférico, territorial, sanitário, cultural, socioeconômico e institucional. No plano climático, a indústria respondeu por cerca de 22% das emissões brutas de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil em 2023, totalizando 511,3 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, com maior contribuição dos setores de energia e processos industriais (Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2024). Essas emissões não apenas agravam a crise climática, como comprometem a qualidade do ar por meio da liberação de material particulado e de dióxidos de enxofre (SO_x) e nitrogênio (NO_x), afetando a saúde pública e os ecossistemas (Agência Brasil, 2024). Regiões como Cubatão, apesar de melhorias desde os anos 1980, ainda demandam atenção (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2024). As pressões hídricas são igualmente significativas. Setores como papel

e celulose, petróleo, química e siderurgia consomem grandes volumes de água em regiões frequentemente afetadas por escassez hídrica, além de lançarem efluentes contaminantes em corpos d'água. Na mineração, a biodiversidade, por sua vez, é gravemente afetada em áreas sensíveis, como o Quadrilátero Ferrífero, com perda de habitats e modos de vida locais (Instituto Pristino, 2024). Eventos como os rompimentos de barragens de Fundão em Mariana/MG (2015) e Brumadinho/MG (2019) resultaram respectivamente em 50 e 9 milhões de metros cúbicos de rejeitos, causando danos ambientais e sociais profundos (Ministério Público Federal, 2016). O colapso em Maceió/AL por extração de sal-gema afetou mais de 60 mil pessoas e provocou passivos estimados em R\$34 bilhões (Jurema, 2024). A mineração ilegal de ouro na Amazônia resultou no despejo de mais de 2,3 mil toneladas de mercúrio desde 1994, com impactos tóxicos sobre o ar, a água e a saúde de comunidades locais (Fundação Oswaldo Cruz, 2018).

Ademais, a intensificação dos riscos climáticos tem levado o parque industrial brasileiro a adotar práticas que, em si mesmas, configuram novas pressões sobre o

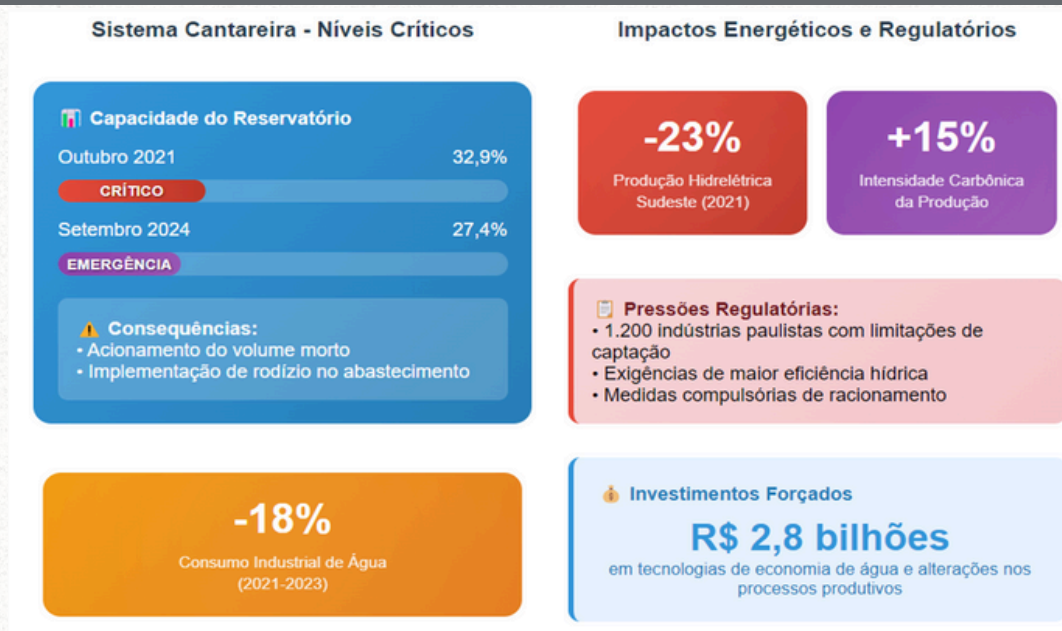
meio ambiente. No Rio Grande do Sul, por exemplo, o gerenciamento emergencial das operações industriais diante da elevação do risco de inundações em 2023 e 2024 resultou em descargas extraordinárias de efluentes, movimentação acelerada de estoques e maior uso de áreas de contenção temporária, ampliando o potencial de contaminação de solos e águas. Processos de transporte e armazenagem, diante das interrupções de rodovias, ferrovias e do Porto de Rio Grande, também se tornaram mais intensivos em consumo energético e emissões, constituindo pressões logísticas adicionais. Paralelamente, a adaptação regulatória requerida às empresas — como revisões de licenciamento e investimentos em planos de contingência — implicou aumento no volume de monitoramento, relatórios e readequações operacionais, o que representa pressões administrativas e institucionais permanentes sobre a indústria gaúcha (Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024).

No Sudeste, a redução da disponibilidade hídrica entre 2021 e 2024 intensificou pressões relacionadas ao uso industrial da água. A necessidade de garantir a continuidade produtiva levou empresas a ampliar a captação subterrânea, adotar tecnologias de reuso e recorrer a fontes alternativas de abastecimento, resultando em pressões adicionais sobre aquíferos e sistemas municipais de distribuição. Entre

2021 e 2023, o consumo industrial foi reconfigurado por meio de racionamentos compulsórios e de investimentos em eficiência hídrica, que, embora tenham reduzido a demanda líquida, também intensificaram processos de tratamento e recirculação, com maior consumo energético associado (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2024). Essas pressões hídricas são sintetizadas na Figura 9.5, que ilustra a intensificação das demandas industriais sobre os recursos de abastecimento em contextos de escassez.

As limitações da matriz hidrelétrica em 2021 levaram à intensificação de pressões energéticas. A dependência crescente de termelétricas elevou a intensidade carbônica da produção industrial em cerca de 15%, reforçando pressões emissoras no setor (Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2024). Ao mesmo tempo, indústrias foram submetidas a restrições formais de captação, que estimularam investimentos em tecnologias de economia de água e alterações em processos produtivos. Essas adaptações, além de representar custos de cerca de R\$ 2,8 bilhões em setores estratégicos, implicaram mudanças tecnológicas que, por si mesmas, constituem novas pressões ambientais, especialmente na fase de transição (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2023).

Figura 9.5 – Crise hídrica e energética (2021-2024)



Fonte: ANA, 2024; FIESP, 2023; ONS, 2024; SABESP, 2024.

O modelo industrial linear também impõe pressões territoriais e sanitárias. A disposição de rejeitos minerais ocupa vastas áreas, implicando riscos ambientais contínuos (Agência Nacional de Mineração, 2023). No âmbito dos resíduos sólidos urbanos, 41,5% são destinados a lixões ou vazadouros, o que intensifica a contaminação e provoca emissões de metano (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). A taxa global de reciclagem permanece baixa (8,3%), embora certos materiais, como papel (66,9%) e alumínio (100%), sejam exceções (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024; Instituto Prístino, 2024). Além disso, pressões culturais e mercadológicas envolvendo a obsolescência programada, o consumo de descartáveis e o modelo de fast fashion (i.e., moda rápida) geram resíduos de difícil reaproveitamento e sobrecarregam a gestão de resíduos sólidos urbanos. Por outro lado, transformações culturais e demográficas têm impulsionado mudanças estruturais nesse cenário. A difusão da economia do compartilhamento e o protagonismo ambiental das novas gerações estimulam novos padrões de consumo e modelos produtivos baseados em serviços, uso eficiente de recursos e bem-estar socioambiental (World Economic Forum, 2022). A coleta informal de recicláveis, embora precária, responde por dois terços da reciclagem nacional (Movimento Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, 2023), revelando um paradoxo entre a exclusão social e a funcionalidade ambiental que exige políticas inclusivas.

Na perspectiva institucional, a pressão internacional por ação climática, estimulada pelo Acordo de Paris e pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) — especialmente os ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) — se traduz em exigências crescentes sobre o setor industrial brasileiro, pressionando-o a reduzir emissões, adequar cadeias produtivas e internalizar padrões globais de sustentabilidade (Organização das Nações Unidas, 2023). Nesse mesmo sentido, o Mecanismo de Ajuste de Carbono na

Fronteira (Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM), instituído pela União Europeia, representa uma pressão comercial direta sobre a indústria brasileira ao impor tarifas proporcionais à intensidade carbônica dos produtos exportados, criando condicionantes adicionais de competitividade e forçando a incorporação de critérios ambientais em estratégias de inserção internacional (Comissão Europeia, 2023).

Quadro 9.2 - Pressões sistêmicas que antecederam o rompimento da barragem de Fundão

Operação

A barragem de Fundão operava próxima ao limite autorizado, com complexidade geotécnica crescente não acompanhada por atualizações metodológicas. Alertas como trincas e escorregamentos foram minimizados por decisões corporativas que optaram por manter a produção e postergar a adoção de medidas estruturais. A pressão produtiva intensificou-se entre 2008 e 2014, quando a Samarco expandiu sua produção de 16,5 para 30,5 milhões de toneladas anuais. Essa aceleração não foi acompanhada por investimentos em segurança, gerando descompasso entre capacidade produtiva e gestão segura de rejeitos industriais.

Institucional

A fiscalização era episódica, com escassez de pessoal, formação técnica defasada e ausência de protocolos de emergência articulados. Como apontam Gomes et al. (2017), a inércia e a falta de comunicação entre agências refletiam a prioridade dada à exploração minerária em detrimento da proteção ambiental. A ausência de um marco regulatório específico para barragens de rejeitos deixava a regulação dependente de normas genéricas, enquanto a coordenação federativa era deficiente.

Comunicação

A circulação de informações entre técnicos, órgãos reguladores e comunidades era limitada e descoordenada, dificultando diagnósticos compartilhados. A Samarco controlava o fluxo de informações, restringindo o acesso de agentes públicos e

Quadro 9.2 - Pressões sistêmicas que antecederam o rompimento da barragem de Fundão

da sociedade a dados essenciais. Essas pressões, somadas, corroeram os mecanismos de contenção e aprendizado institucional, estreitando as margens de manobra e dificultando respostas eficazes. O desastre resultou da convivência prolongada com um arranjo frágil, permissivo e fragmentado, que colapsou sob o peso de suas próprias contradições.

Fonte: elaborado pelos autores.

Desafios para a mudança do Estado da indústria brasileira

A convivência entre práticas ambientalmente inovadoras e padrões produtivos ainda fortemente lineares evidencia a necessidade de ação estratégica integrada entre governo, setor produtivo e sociedade civil. Essa ambivalência se manifesta inicialmente na configuração territorial do parque produtivo. A concentração geográfica da indústria nas regiões Sudeste e Sul, com polos especializados — como mineração (MG e PA), petroquímica (BA) e papel e celulose (Centro-Sul) — embora gerem economias de escala, aprofundam desigualdades regionais e criam vulnerabilidades sistêmicas (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023). Paralelamente, a defasagem tecnológica constitui um desafio estrutural. Aproximadamente 68% das indústrias de transformação ainda operam com tecnologias convencionais, enquanto, apenas 23% incorporaram elementos da Indústria 4.0 em seus processos produtivos (Confederação Nacional da Indústria, 2024). Essa disparidade tecnológica se reflete na digitalização desigual, ou seja, 45% das grandes empresas possuem sistemas integrados de gestão, comparado a apenas 12% das pequenas e médias empresas (Confederação Nacional da Indústria, 2024). A automação industrial, presente em 34% dos estabelecimentos, concentra-se principalmente nos setores automotivo, siderúrgico e petroquímico, deixando amplos segmentos da indústria com baixo nível de modernização (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2024).

A defasagem tecnológica reflete diretamente na subutilização da capacidade produtiva. A indústria brasileira opera com taxa de utilização de 76%, evidenciando desperdício de recursos e limitações estruturais do setor. As disparidades setoriais são consideráveis, enquanto, a indústria alimentícia mantém 82% de utilização, a metalurgia 69%, e a

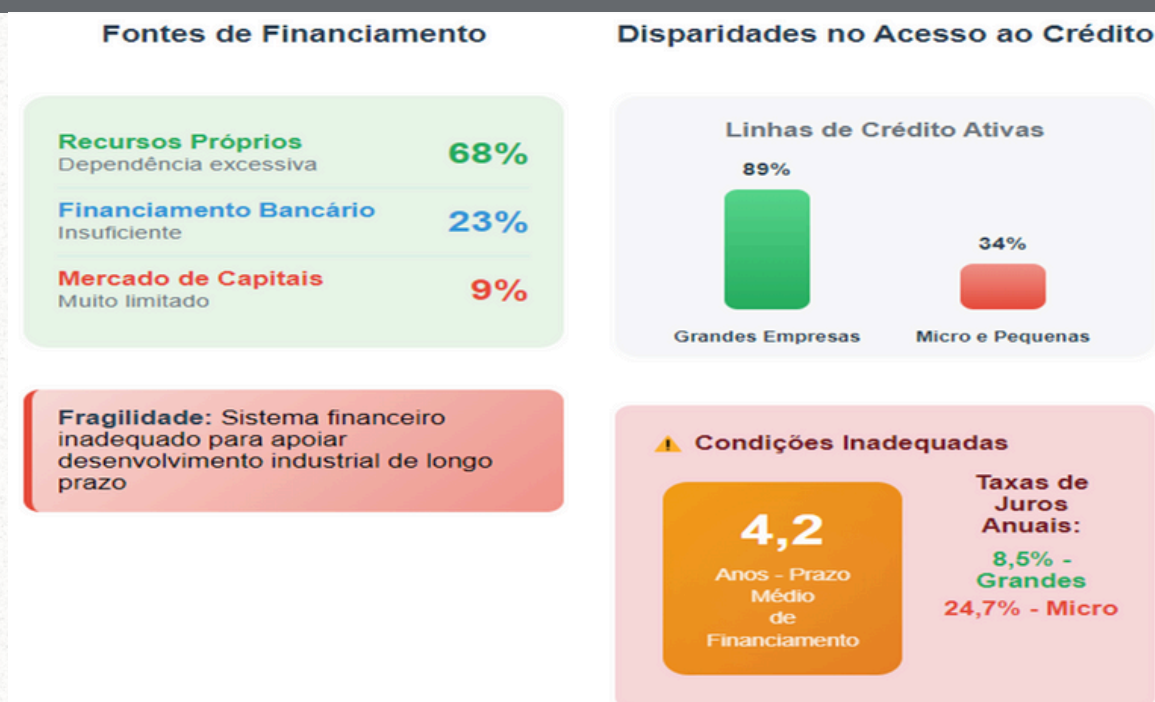
têxtil com 71% (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024). Essa subutilização reflete tanto a retração da demanda interna quanto a perda de competitividade externa em diversos segmentos industriais. Paralelamente, o perfil de qualificação da força de trabalho industrial apresenta limitações que comprometem a modernização produtiva: 38% dos trabalhadores possuem ensino médio completo, 28% limitam-se ao ensino fundamental, 22% alcançaram o ensino superior e apenas 12% possuem pós-graduação (Relação Anual de Informações Sociais, 2023). O envelhecimento da força de trabalho, com idade média de 39 anos e tendência crescente em setores tradicionais como têxtil e calçadista, pode comprometer a renovação de competências necessárias para a transição tecnológica. A participação feminina na indústria, restrita a 32% e concentrada principalmente nos setores de alimentos, têxtil e farmacêutico, indica a persistência de barreiras estruturais que limitam o aproveitamento do potencial humano disponível.

As limitações estruturais se estendem ao sistema de financiamento industrial. A dependência excessiva de recursos próprios (68% dos investimentos) revela as fragilidades do sistema financeiro em apoiar o desenvolvimento industrial, onde o financiamento bancário (23%) e o mercado de capitais (9%) permanecem insuficientes (Banco Central do Brasil, 2024). O acesso ao crédito apresenta disparidades significativas, onde 89% das grandes empresas possuem linhas de crédito ativas, e apenas 34% das micro e pequenas empresas têm acesso regular ao sistema financeiro (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, 2024). Agravando esse cenário, o prazo médio de financiamento industrial de 4,2 anos mostra-se inadequado para investimentos de longo prazo, enquanto, as taxas elevadas — variando entre 8,5%

(grandes empresas) e 24,7% (microempreendimentos) ao ano — dificultam significativamente a modernização produtiva

(Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2024), conforme apresentado na figura 9.6.

Figura 9.6 – Financiamento e acesso ao crédito



Fonte: BCB, 2024; BNDES, 2024; SEBRAE, 2024.

No plano externo, a indústria nacional também começa a enfrentar pressões crescentes por parte de novos regimes regulatórios internacionais. O Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM, na sigla em inglês), da União Europeia, prevê a aplicação de tarifas sobre importações com base na intensidade de carbono dos produtos. Isso obriga países exportadores a comprovar suas emissões e, se necessário, pagar pela diferença em relação aos padrões europeus (Comissão Europeia, 2023). A medida afeta diretamente setores como siderurgia, cimento, alumínio e fertilizantes, exigindo maior rastreabilidade e transparência nas cadeias produtivas brasileiras. Em contrapartida em 2024, a matriz energética da indústria brasileira atingiu 64,4% de participação de fontes renováveis (Confederação Nacional da Indústria, 2024), o que confere vantagens competitivas significativas a segmentos de alta intensidade energética. O setor de alumínio, por exemplo, apresenta uma pegada de carbono aproximadamente 60% inferior à média global e elevadas taxas de

reciclagem: 97% para latas e 56% no consumo doméstico (Associação Brasileira do Alumínio, 2024). No setor de cimento, a intensidade de emissões é 11% menor do que a média mundial (564 kg CO₂/t frente a 634 kg/t), resultado do uso de adições minerais e combustíveis alternativos (Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina, 2021). A cadeia de papel e celulose opera com autossuficiência energética baseada em biomassa, mantendo 9 milhões de hectares de florestas plantadas e 5,9 milhões de hectares preservadas. No total, essas áreas são responsáveis pelo armazenamento de mais de 4 bilhões de toneladas de CO₂, configurando um importante ativo ambiental na agenda climática nacional (Indústria Brasileira de Árvores, 2024).

Com efeito, a inserção limitada da indústria brasileira em cadeias globais de valor evidencia sua posição periférica no comércio internacional: apenas 23% das empresas industriais participam diretamente de cadeias globais como fornecedoras, 34% atuam como subfornecedoras e 43% operam exclusivamente no mercado doméstico

(Confederação Nacional da Indústria, 2024). A dependência de importações é considerável, com o conteúdo importado representando 13,2% do valor agregado da produção industrial, concentrado principalmente em componentes eletrônicos (67%), produtos químicos finos (45%) e equipamentos de precisão (38%), revelando deficiências na capacidade nacional de produzir insumos estratégicos (Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2024).

Mesmo com infraestrutura e capacidade industrial disponíveis, o país ainda carece de sistemas robustos de monitoramento para viabilizar a transição para uma economia circular. A escassez de dados sobre geração, tratamento e destinação de resíduos limita diagnósticos confiáveis e a formulação de políticas públicas eficazes. O SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa, coordenado pelo Observatório do Clima, oferece estimativas detalhadas por setor e unidade federativa, mas com defasagem temporal de até dois anos (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, 2024). O SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, enfrenta lacunas de cobertura e inconsistências nos dados reportados por estados e municípios (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). Além disso, faltam inventários específicos de resíduos industriais e indicadores padronizados de circularidade.

A crescente demanda global por hidrogênio verde representa uma oportunidade transformadora para a indústria brasileira (Agência Internacional de Energia, 2024). Com potencial eólico e solar entre os maiores do mundo, o país pode se tornar um dos principais produtores globais de hidrogênio verde, atendendo tanto o mercado doméstico quanto a crescente demanda internacional, especialmente europeia e asiática (Empresa de Pesquisa Energética, 2024). Em síntese, a indústria brasileira reúne condições estruturais promissoras — como matriz energética limpa e experiências bem-sucedidas —, mas enfrenta lacunas em inovação, governança, financiamento,

informação e formação de recursos humanos. Superá-las exige uma ação coordenada entre governo, setor privado e sociedade civil, com compromisso com a justiça socioambiental e o desenvolvimento local sustentável.

Quadro 9.3 - Estado do sistema: colapso sistêmico da Bacia do Rio Doce

Rompimento da Barragem de Fundão

O rompimento instaurou um novo estado para o sistema socioecológico da bacia do Rio Doce, marcado por degradação ambiental estrutural, ruptura de modos de vida e desorganização institucional. A onda de rejeitos da barragem de Fundão percorreu cerca de 663 km até o oceano Atlântico, devastando cursos d'água, matas ciliares e comunidades ribeirinhas. A magnitude do evento transformou profundamente as condições ambientais, sociais e econômicas de uma região habitada por mais de 3 milhões de pessoas (FERNANDES et al., 2016). A biodiversidade foi severamente afetada, com impactos sobre espécies endêmicas e comprometimento de corredores ecológicos. A lama soterrou habitats aquáticos e terrestres, alterando de forma permanente a estrutura dos ecossistemas. Estudos posteriores indicaram extinção local de espécies de peixes e redução significativa da biodiversidade aquática em trechos extensos do rio. A qualidade da água deteriorou-se de modo persistente, com presença de metais pesados que inviabilizaram usos múltiplos e atividades tradicionais como pesca e agricultura.

Colapso Socioambiental

Concentrações elevadas de ferro, manganês e alumínio comprometeram o abastecimento humano, a irrigação e a dessedentação animal. Comunidades locais perderam casas, vínculos territoriais e meios de subsistência, passando a depender de auxílios emergenciais. O distrito de Bento Rodrigues, com cerca de 600 habitantes, foi completamente destruído, exigindo o deslocamento permanente da população. A pesca, central à cultura e economia locais, tornou-se inviável. Para os povos indígenas Guarani e Tupinikim, o impacto extrapolou a materialidade: o Rio Doce, entidade sagrada,

Quadro 9.3 - Estado do sistema: colapso sistêmico da Bacia do Rio Doce

foi profanado. Como documentam Abreu e Andrade (2024), houve violação ontológica de um elemento essencial da cosmologia e das práticas espirituais desses povos. A confiança pública na governança ambiental entrou em colapso. A Fundação Renova, criada pelo Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC), foi criticada por sua baixa representatividade e controle indireto das empresas. A ausência de dados de linha de base e os dissensos científicos dificultaram a avaliação dos danos e limitaram a resposta da ciência. Esse novo estado sistêmico configura um "presente prolongado": uma suspensão do futuro marcada por instabilidade crônica, desconfiança e injustiça ambiental permanente. As comunidades atingidas vivem em liminaridade, sem conseguir reconstruir suas vidas nem retornar à normalidade anterior ao desastre.

Fonte: BCB, 2024; BNDES, 2024; SEBRAE, 2024.

A Dimensão dos impactos do modelo industrial brasileiro

Os impactos da indústria brasileira — tanto os derivados do modelo linear quanto os resultantes da transição sustentável — configuraram-se, simultaneamente, como pressões externas e como efeitos internos de práticas produtivas tradicionais, manifestando-se de forma interdependente nas dimensões ambiental, econômica e social. Quando negativos, tais impactos contribuem para o agravamento da chamada tríplice crise planetária — mudança climática, perda de biodiversidade e poluição — reconhecida pelas Nações Unidas como uma emergência sistêmica global que se retroalimenta: o aquecimento global acelera a

extinção de espécies; a degradação dos ecossistemas compromete a regulação climática; e a poluição intensifica ambos os processos, ameaçando a estabilidade ecológica e o bem-estar humano (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2024). Por outro lado, os impactos positivos abrem espaços para soluções integradas, como a adoção de práticas de economia circular que permitem reduzir emissões, minimizar a extração de recursos naturais e conter a poluição. Nesse cenário, propõe-se compreender o setor industrial brasileiro como vítima e agente dessa crise, a fim de orientar sua transformação rumo à sustentabilidade, revelando os elementos que constituem os custos do modelo vigente e os benefícios da reestruturação para práticas circulares e de baixo carbono.

A emissão de GEE associada aos setores industriais de energia e processos produtivos representou, em 2023, aproximadamente 22% das emissões brutas do Brasil, totalizando cerca de 511 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2024), conforme apresentado na figura 9.7. Polos industriais continuam apresentando níveis elevados de material particulado e gases tóxicos, afetando a qualidade do ar, a saúde da população e os custos do Sistema Único de Saúde (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022). A baixa incorporação de critérios ambientais, como certificações, rastreabilidade e produção limpa, limita a competitividade da indústria brasileira nos mercados internacionais. A ausência de uma cultura voltada à sustentabilidade dificulta o acesso a financiamentos verdes, restringe a inserção em cadeias globais e reduz a resiliência frente a crises (Confederação Nacional da Indústria, 2024).

Figura 9.7 – Emissões industriais e impactos na saúde pública


Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2024; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022.

Entre 2013 e 2022, cerca de 745 mil postos de trabalho formais foram extintos, com impactos mais acentuados nas regiões Norte e Nordeste (Confederação Nacional da Indústria, 2024). Essa retração compromete a capacidade regional de inovação e a difusão de tecnologias sustentáveis, aprofundando desigualdades socioeconômicas e fragilizando as economias locais. A taxa de reciclagem urbana no Brasil segue baixa, em torno de 8,3%, refletindo perdas significativas de materiais reutilizáveis e energia (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). Esse índice evidencia a ineficiência estrutural do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, que prioriza a destinação em aterros sanitários — muitas vezes já sobrecarregados — em detrimento de estratégias de recuperação de valor, como a triagem, a compostagem e a reintegração produtiva de materiais recicláveis (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022; Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2023).

A ausência de infraestrutura adequada, aliada à falta de políticas consistentes de logística reversa e à

exclusão de catadores das cadeias formais, restringe a capacidade do país de transformar resíduos em recursos e consolidar uma economia verdadeiramente circular (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020; Instituto Prístino, 2023). Além disso, a baixa articulação entre municípios, setor privado e cooperativas de reciclagem limita a escala e a efetividade das ações, aprofundando desigualdades regionais na gestão de resíduos e desperdiçando oportunidades de geração de renda, inclusão social e mitigação ambiental (Movimento Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, 2022; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2021).

A expansão de atividades industriais sobre áreas naturais tem provocado a fragmentação de ecossistemas e a perda de biodiversidade. A degradação de áreas de vegetação nativa também acelera processos de erosão e escassez hídrica. No Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, a pressão exercida pela mineração sobre paisagens sensíveis compromete funções ecológicas fundamentais, como a regulação hídrica, a polinização e o controle de pragas (Instituto

Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2022). Também os vazamentos de petróleo, como o ocorrido em 2019 no litoral do Nordeste brasileiro, causaram danos duradouros à pesca artesanal e à maricultura, afetando cerca de 3.000 km de costa (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2020). A exposição prolongada

a poluentes industriais está relacionada ao aumento de doenças respiratórias, cardiovasculares, neurológicas e diversos tipos de câncer, sobretudo em populações vulneráveis (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022). Em Itaituba (PA), foram registrados efeitos neurológicos severos em crianças expostas ao mercúrio presente na água e nos peixes (Fundação Oswaldo Cruz, 2023).

Quadro 9.4 - Impactos interdependentes: a reação em cadeia da perversidade

Impactos ambientais e sociais

Revelaram uma estrutura de retroalimentação negativa, em que efeitos ambientais, sociais, econômicos e institucionais se interconectam, perpetuam e amplificam mutuamente. Essa dinâmica demonstra que desastres industriais não geram apenas danos pontuais, mas desencadeiam processos de degradação prolongados no tempo e no espaço, criando vulnerabilidades e aprofundando injustiças ambientais. No plano ambiental, houve perda significativa de biodiversidade, contaminação persistente do solo e da água, além da degradação de manguezais e zonas costeiras. A pluma de rejeitos que atingiu o oceano Atlântico alterou a qualidade da água em aproximadamente 100 km² ao redor da foz do Rio Doce. Sedimentos contaminados depositados no fundo marinho continuam a ser remobilizados pelas correntes oceânicas, mantendo a contaminação ativa anos após o evento.

Impactos econômicos

A estimativa de custos de reparação saltou de R\$ 20 bilhões em 2016 para R\$ 132 bilhões em 2024, refletindo a complexidade crescente da crise e a escalada de passivos não resolvidos. Economias locais colapsaram, e a substituição de formas autônomas de subsistência por mecanismos de assistência comprometeu a reprodução social nos territórios afetados. Populações vulneráveis — indígenas, pescadores e pequenos agricultores — sofreram desproporcionalmente. Além das perdas materiais, enfrentaram sofrimento simbólico, rupturas espirituais e desestruturação de redes de pertencimento. As mulheres, em especial, assumiram sobrecargas no cuidado das famílias, enquanto perdiam suas fontes tradicionais de renda. A própria governança da reparação se tornou produtora de impactos. A lentidão nos processos de indenização, a fragmentação dos canais de escuta e a ausência de participação efetiva geraram um sistema disfuncional e contestado.

Fonte: elaborado pelos autores.

Necessidade de respostas estratégicas para promover uma transição justa e circular

As respostas brasileiras às pressões e impactos do modelo industrial vêm se consolidando por meio de políticas públicas, inovações tecnológicas, iniciativas empresariais, instrumentos econômicos e ações da sociedade civil. Ainda que desiguais, essas respostas delineiam uma transição em curso para um modelo industrial mais sustentável, circular e de baixo carbono, sustentada por formas emergentes de governança multissetorial, articulação

interministerial e crescente mobilização de recursos e capacidades. A governança multinível é um componente fundamental para enfrentar os desafios complexos relacionados à sustentabilidade industrial, ao articular diferentes esferas de governo — federal, estadual e municipal — com setores sociais diversos, como empresas, academia e organizações da sociedade civil (Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2018). Esse arranjo federativo adquire contornos ainda mais relevantes em países continentais como o Brasil, onde a descentralização da política ambiental conferida pela Constituição

de 1988 atribui competência concorrente aos entes federados. Na prática, isso significa que União, estados e municípios compartilham responsabilidades de legislar, fiscalizar e executar ações de proteção ambiental, exigindo cooperação permanente para evitar sobreposição normativa, lacunas de regulação e desigualdades regionais.

Essa abordagem, estruturada nos princípios de democracia, cooperação e efetividade, parte do reconhecimento de que os problemas ambientais ultrapassam fronteiras administrativas e demandam respostas coordenadas em múltiplas escalas. Experiências como a da Região Metropolitana de São Paulo, que mantém sistemas avançados de monitoramento e licenciamento ambiental por meio da CETESB e do CONSEMA, demonstram a relevância da coordenação intergovernamental na gestão da qualidade do ar e dos recursos hídricos em contextos fortemente industrializados (Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo, 2023). O Rio Grande do Sul tem avançado em políticas de economia circular, como a Resolução CONSEMA nº 500/2023, que estabelece diretrizes para a logística reversa de embalagens com participação de fabricantes e catadores (Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande Do Sul, 2023). Em resposta às inundações de 2023 e 2024, que atingiram mais de 90% dos municípios, o Estado Gaúcho criou o Gabinete de Crise Climática (Decreto nº 57.609/2024) e lançou o Plano Rio Grande, focado na reconstrução e resiliência territorial. As medidas incluem revisão de planos diretores, redimensionamento da infraestrutura urbana, critérios climáticos em financiamentos e articulação com recursos federais e internacionais para habitação, mobilidade, saneamento e adaptação climática. Esses exemplos ilustram como políticas subnacionais — estaduais e metropolitanas — têm assumido protagonismo ao lidar com vulnerabilidades específicas de seus territórios, ao mesmo tempo em que pressionam a esfera federal por integração de agendas e recursos.

Em Minas Gerais, os desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019) motivaram a intensificação da regulação sobre a

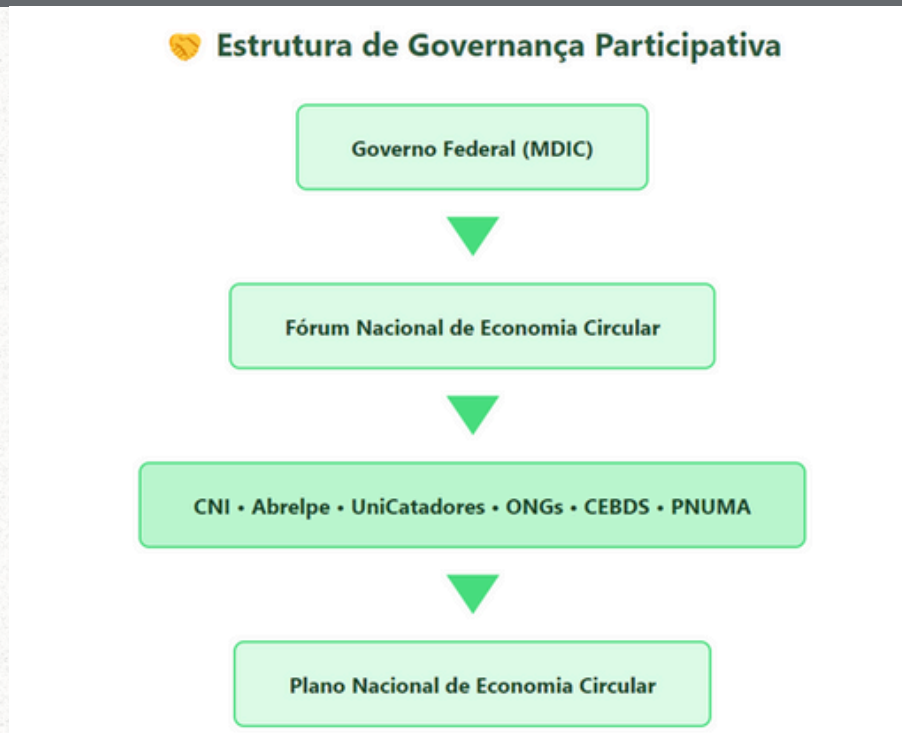
atividade minerária e o fortalecimento de instrumentos de justiça ambiental. A criação da Agência Nacional de Mineração (ANM) em 2017 e a reestruturação dos órgãos estaduais de fiscalização expressam medidas institucionais adotadas com esse fim. A promulgação da Lei nº 14.066/2020 introduziu novos critérios para o controle e a responsabilização de barragens, incluindo exigências mais rigorosas de segurança, transparência e participação social (BRASIL, 2020). Entre os desdobramentos técnicos, destacam-se a proibição de novos alteamentos a montante, o descomissionamento de estruturas existentes, a adoção de processos de mineração a seco e o uso de rejeitos como insumo na produção de concreto e outros materiais de construção. Nesse contexto, também se destaca o projeto-piloto do Serviço Geológico do Brasil (SGB), iniciado em 2023, voltado à recuperação de minerais críticos — como lítio, terras raras e nióbio — a partir do reaproveitamento de rejeitos. A iniciativa compreende o mapeamento de áreas com potencial mineral, o desenvolvimento de tecnologias de separação e parcerias com centros de pesquisa, com o objetivo de viabilizar sua aplicação em escala industrial (Serviço Geológico do Brasil, 2023). Aqui se observa um exemplo claro da governança multinível: a tragédia de alcance local desencadeou respostas normativas no nível federal e ações regulatórias reforçadas no nível estadual, em diálogo com pressões internacionais relacionadas à mineração sustentável.

Em âmbito municipal, o fortalecimento dos Sistemas Municipais de Meio Ambiente (SISMUMA) tem promovido políticas que articulam ordenamento urbano e sustentabilidade industrial. Municípios como Porto Alegre, Curitiba e Belo Horizonte avançaram na criação de distritos industriais sustentáveis, mecanismos locais de regulação e iniciativas voltadas à economia circular, como compras públicas verdes e simbiose industrial. A agenda das "cidades circulares" emerge como vetor promissor de integração entre inovação urbana e transição ecológica. Não obstante, a eficácia da governança multinível depende da existência de mecanismos estruturados de coordenação interjurisdicional, como os consórcios

intermunicipais e os comitês de bacias hidrográficas. Os consórcios têm viabilizado soluções regionais para a destinação de resíduos industriais e a logística reversa, como no caso da Grande São Paulo. Essa governança ampliada tem sido crucial para integrar os catadores de materiais recicláveis às políticas públicas, promovendo inclusão social e ampliando a circularidade dos sistemas produtivos (Movimento Nacional dos

Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, 2023). A institucionalização de conselhos tripartites, com representação de entes federativos, sociedade civil e setor produtivo, reforça a natureza deliberativa da governança multinível, criando canais formais de accountability (i.e. prestação de contas) e legitimidade. A figura 9.8 ilustra um arranjo multinível para promoção da economia circular.

Figura 9.8 - Arranjo multinível para promoção da economia circular



Fonte: Brasil, 2024.

A atuação dos mais de 281 mil catadores formalmente reconhecidos (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023), organizados em cooperativas e associações, representa um avanço nesse sentido, embora os acordos setoriais para embalagens, eletroeletrônicos e medicamentos permaneçam insuficientes diante do volume de resíduos. Além disso, apesar de iniciativas como o apoio à reconversão econômica de regiões dependentes de carvão mineral indicarem transformador, muitas comunidades continuam expostas a riscos ambientais sem retorno proporcional dos benefícios da industrialização (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). Os comitês de bacia representam um modelo inovador de gestão participativa da

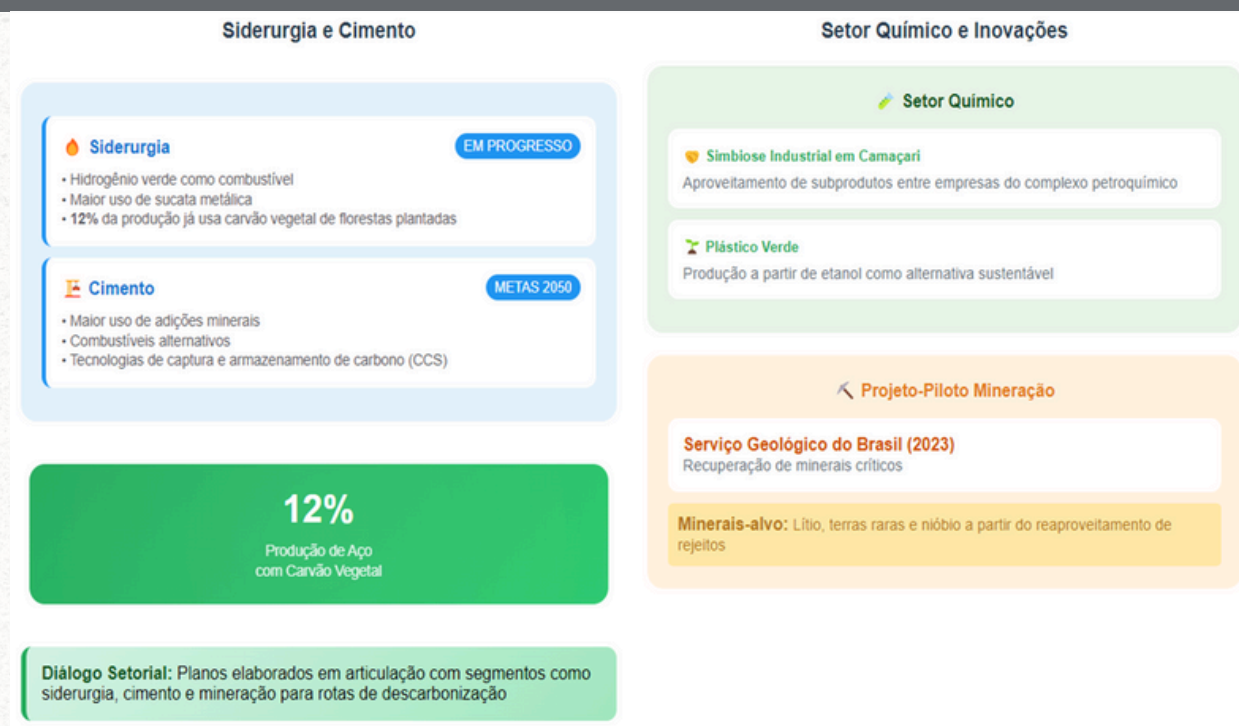
água, reunindo representantes do poder público, usuários e sociedade civil para decisões consensuais sobre alocação e proteção dos recursos hídricos. A cobrança pelo uso da água tem se mostrado eficaz ao internalizar externalidades e financiar medidas de recuperação ambiental (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023). Esse instrumento evidencia o potencial dos arranjos federativos cooperativos: embora instituído pela União, é operacionalizado por colegiados estaduais e municipais, demonstrando a natureza policêntrica da governança ambiental.

Planos setoriais para descarbonização também estão sendo elaborados em diálogo com segmentos como siderurgia, cimento e mineração, conforme apresentado na figura 9.9.

A indústria tem mobilizado inovações tecnológicas. Na siderurgia, avança a adoção de rotas com hidrogênio verde e maior uso de sucata. O uso de carvão vegetal de florestas plantadas já representa 12% da produção de aço (Instituto Aço Brasil, 2024). No setor cimenteiro, metas até 2050 incluem maior uso de adições minerais, combustíveis alternativos e tecnologias de captura e armazenamento de carbono (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2024). No setor químico, destacam-se a simbiose industrial em Camaçari e a produção de plástico verde a partir de etanol. No plano normativo, o Brasil tem adotado instrumentos de governança e financiamento voltados à

transição sustentável. A Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC), instituída pelo Decreto nº 12.082/2024 e coordenada pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (BRASIL, 2024), é o marco mais recente dessa agenda. A ENEC criou o Fórum Nacional de Economia Circular, reunindo ministérios, agências, empresas, cooperativas, sindicatos, academia e sociedade civil na elaboração do Plano Nacional de Economia Circular. Essa estratégia articula-se com o Plano de Transformação Ecológica (Ministério da Fazenda) e o Plano Clima (Ministério do Meio Ambiente), promovendo coerência política.

Figura 9.9 – Planos setoriais para descarbonização



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2024; Serviço Geológico do Brasil, 2023; Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2024.

A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) avança com acordos de logística reversa que envolvem fabricantes e varejistas na responsabilidade pós-consumo de embalagens, eletroeletrônicos e medicamentos (Ministério do Meio Ambiente, 2024). Tais mecanismos têm ampliado a capilaridade da coleta, fortalecido cooperativas e revelado o potencial das parcerias público-privadas na estruturação de

cadeias circulares. Em complemento, instrumentos econômicos vêm sendo desenvolvidos para fomentar a transição. O governo federal prepara a implementação de um mercado regulado de carbono, que estabelecerá limites de emissões e permitirá a comercialização de créditos. Paralelamente, o mercado voluntário de carbono continua em expansão. O BNDES lançou o Fimem Economia Circular, linha de crédito destinada a projetos empresariais com foco em

circularidade, e ampliou o Fundo Clima, voltado ao financiamento de infraestrutura resiliente e tecnologias de baixo carbono (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2024). A Finep criou o programa I.AM.Verde, voltado à descarbonização industrial por meio de chamadas públicas para inovação tecnológica em setores estratégicos (Financiadora de Estudos e Projetos, 2024). O setor empresarial adota metas cada vez mais ambiciosas, como neutralidade de carbono, redesign de embalagens, uso de reciclados e emissão de green bonds. Startups oferecem soluções em refil, rastreamento de resíduos e economia compartilhada, enquanto plataformas de reuso e revenda ganham força entre consumidores urbanos, sinalizando mudanças culturais em curso.

Embora a educação voltada à economia circular ainda avance de forma incipiente, observa-se uma movimentação institucional progressiva. Na qualificação profissional, o SENAI lidera a Jornada de Descarbonização, capacitando indústrias para medir emissões e implementar melhorias. Universidades e institutos federais têm criado cursos voltados à economia circular, gestão de resíduos e energias renováveis. A cooperação internacional também fortalece a transição brasileira, com financiamento do Fundo Amazônia (Noruega e Alemanha), transferência tecnológica e participação em iniciativas como Mission Innovation, Clean Energy Ministerial, G20, BRICS e OCDE, posicionando o Brasil como referência emergente no Sul Global. Eventos como o World Circular Economy Forum (WCEF), sediado em São Paulo em 2025, ampliam o alcance das boas práticas.

Barreiras como a fragmentação normativa, a assimetria de capacidades institucionais entre entes federativos, as limitações técnicas e orçamentárias em governos subnacionais, a dependência de tecnologias externas e a dificuldade de alinhamento entre políticas

setoriais e ambientais dificultam a universalização das práticas sustentáveis. O financiamento ainda é restrito e os sistemas de monitoramento carecem de abrangência, padronização e atualização. Ainda assim, as condições para o avanço são favoráveis. A articulação entre governo, empresas e sociedade civil se intensifica; os marcos regulatórios se expandem; os mercados sustentáveis crescem; e a transição justa começa a ganhar centralidade. A experiência brasileira demonstra que o fortalecimento institucional — com ênfase na cooperação federativa, transparência decisória e accountability — é viável e necessário, sendo determinante para a construção de uma governança ambiental efetiva, inclusiva e orientada à transformação sustentável da indústria. Mantidos os investimentos, a cooperação institucional e o engajamento social, o Brasil poderá consolidar um novo paradigma de desenvolvimento industrial regenerativo, justo e competitivo internacionalmente.

Nesse sentido, cabe enfatizar que as políticas subnacionais e os arranjos intergovernamentais ocupam papel decisivo na transição em curso. Estados e municípios, ao implementarem planos de descarbonização, fundos climáticos e consórcios para gestão de resíduos, ampliam a capilaridade das políticas nacionais e produzem inovações institucionais que retroalimentam o nível federal. Essa dinâmica evidencia a essência da governança multinível, na qual diretrizes federais encontram-se com iniciativas locais, ora em sinergia, ora em tensão, gerando um campo fértil de pactuação e aprendizagem interjurisdicional. A superação das assimetrias entre entes federativos exige mecanismos permanentes de coordenação e financiamento, capazes de garantir que a transição sustentável ocorra de maneira equitativa em todo o território, evitando que desigualdades regionais se aprofundem e fortalecendo a legitimidade de um pacto federativo orientado à sustentabilidade.

Quadro 9.5 - Respostas ao desastre: governança colaborativa, barreiras sistêmicas e redes sombrias de resistência

Respostas das empresas e do governo

A criação da Fundação Renova pelo TTAC, em março de 2016, buscou estruturar um arranjo multissetorial de reparação, mas enfrentou críticas por seu desenho assimétrico, baixa legitimidade e controle empresarial. O acordo foi firmado sem participação efetiva das comunidades atingidas e da sociedade civil, sendo apresentado como pacto técnico entre empresas e poder público. Diante dessas limitações, emergiram formas alternativas de enfrentamento.

Mecanismos de governança colaborativa

Destacam-se as "redes sombrias" articuladas por povos indígenas, como os Guarani e Tupinikim, que mobilizaram saberes ancestrais, lideranças comunitárias e práticas de resistência cultural (Abreu & Andrade, 2024). Essas redes passaram a disputar a legitimidade sobre os rumos da recuperação, atuando fora dos canais oficiais. Operando com estratégias diversificadas, essas redes engajaram-se na mobilização de lideranças, articulação com movimentos sociais, acionamento de instâncias internacionais de direitos humanos e formulação de narrativas alternativas. Demonstraram notável capacidade de auto-organização, construindo diagnósticos próprios e propondo soluções autônomas.

Participação social

A sociedade civil também desempenhou papel relevante. Ministérios Públicos, comitês populares, universidades e imprensa atuaram como instâncias de pressão e vigilância, promovendo revisões nos acordos e reivindicando a substituição da Fundação Renova. A experiência do rompimento da barragem de Fundão evidencia que a reparação de desastres industriais é um processo político, marcado por disputas sobre desenvolvimento, formas de conhecimento e poder. Construir respostas efetivas demanda reconhecimento dessas dimensões e criação de arranjos institucionais voltados à justiça, participação e transformação estrutural.

Fonte: elaborado pelos autores.

Desafios e Oportunidades

Alinhamento do modelo industrial Brasileiro aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

O alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 pode orientar a transição da indústria brasileira rumo a modelos mais sustentáveis. O ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) é particularmente central nesse processo, diante da necessidade brasileira de reverter a desindustrialização e fomentar cadeias produtivas sustentáveis. A Nova Indústria Brasil (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, 2024) se alinha à Meta 9.2 ao buscar elevar a participação da indústria no PIB com base em tecnologias limpas e

digitalização. No plano ambiental, a Meta 9.4, que visa modernizar a indústria e tornar seu uso de recursos mais eficiente, encontra expressão concreta no setor de cimento, cuja intensidade de carbono está abaixo da média global e cujo objetivo é dobrar o uso de combustíveis alternativos até 2050 (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2023).

O ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) orienta diretamente os esforços para uma economia circular. Setores como papel e celulose ilustram avanços na integração entre uso eficiente de recursos e conservação ambiental, em consonância com a Meta 12.2. No entanto, contrastes persistem evidenciando assimetrias na capacidade de implementação da logística reversa (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2023; Associação Brasileira do Alumínio, 2023). Por exemplo, a taxa de reciclagem de resíduos sólidos urbanos

permanece baixa (8,3%), enquanto, setores como o do alumínio alcançam patamares de 98,7% de reaproveitamento. O ODS 13 (Ação Climática) expõe o duplo papel da indústria como fonte de emissões de GEE e agente de soluções. Setores como siderurgia e indústria química têm investido em rotas tecnológicas de baixo carbono, como o uso de hidrogênio verde e a redução de N₂O (Associação Brasileira da Indústria Química, 2023). Setores vulneráveis, como o de papel e celulose, adotam estratégias de adaptação para lidar com eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e mudanças no regime hídrico.

Outros ODS relacionam-se de forma transversal à sustentabilidade industrial. O ODS 6 (Água Limpa e Saneamento) está refletido na difusão de tecnologias de reuso industrial e nos mecanismos de cobrança pelo uso da água, que incentivam práticas mais eficientes e sustentáveis (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023). O ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), por sua vez, articula-se à Meta 8.4, que propõe o desacoplamento entre crescimento econômico e degradação ambiental. O setor de reciclagem, que inclui mais de 281 mil catadores formalmente reconhecidos (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023), exemplifica a convergência entre inclusão social, geração de trabalho e circularidade produtiva. A conexão com o ODS 3 (Saúde e Bem-estar) se materializa no controle da poluição industrial. A reabilitação ambiental da cidade de Cubatão demonstra como ações industriais corretivas contribuem para a melhoria da saúde pública, especialmente em áreas densamente povoadas e sujeitas a emissões tóxicas (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2023). O ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) ganha destaque à medida que se intensificam as interações entre atividade industrial e planejamento urbano. Iniciativas como distritos industriais sustentáveis e de simbiose industrial têm o potencial de tornar as cidades mais resilientes e ambientalmente integradas (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, 2024).

A sustentabilidade industrial também se conecta ao ODS 15 (Vida Terrestre), especialmente na conservação da biodiversidade. Setores como papel e celulose têm mantido extensas áreas de preservação, contribuindo para a manutenção de ecossistemas (Indústria Brasileira de Árvores, 2024). No entanto, a mineração continua sendo uma atividade com forte potencial destrutivo, como demonstram os impactos duradouros dos desastres de Mariana e Brumadinho sobre habitats, espécies e serviços ecossistêmicos. Ainda que os ODS representem uma agenda integrada, suas metas podem gerar tensões entre si. Por exemplo, o estímulo à reindustrialização (ODS 9) pode entrar em conflito com os objetivos de redução de emissões (ODS 13); da mesma forma, a busca por competitividade (ODS 8) pode confrontar padrões ambientais mais rígidos. Esses dilemas reforçam a necessidade de políticas integradas e sensíveis às especificidades setoriais, capazes de explorar sinergias e minimizar contradições.

Avaliação de políticas e mecanismos institucionais eficazes

A eficácia das políticas voltadas à sustentabilidade industrial no Brasil depende de capacidade de gerar resultados ambientais mensuráveis, promover inclusão social, manter viabilidade econômica e articular-se com outras políticas públicas de forma coerente e sinérgica. A experiência nacional das últimas décadas revela que os mecanismos mais bem-sucedidos compartilham atributos como flexibilidade normativa, participação multissetorial, capacidade de adaptação e suporte institucional robusto. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de 2010, constitui um marco relevante, especialmente no avanço dos acordos setoriais de logística reversa. O programa de destinação de embalagens de agrotóxicos, com taxas superiores a 95% de coleta (Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias, 2023), exemplifica a eficácia da combinação entre obrigatoriedade legal, articulação público-privada e estrutura operacional. Entretanto, a persistência de quase 3 mil

lixões em operação revela fragilidades estruturais, sobretudo na esfera municipal, onde a escassez de recursos e capacidades limita a plena implementação da PNRS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2023).

A regulação das barragens de rejeitos evoluiu significativamente após os desastres de Mariana e Brumadinho. A proibição de barragens a montante e a exigência de monitoramento em tempo real por parte da Agência Nacional de Mineração (Agência Nacional de Mineração, 2023) demonstram uma resposta normativa eficaz, com efeitos tangíveis sobre a redução do número de estruturas em situações de emergência. No entanto, casos como o desastre de Maceió evidenciam que atividades minerárias continuam carecendo de regulação específica e preventiva, e demandam uma abordagem mais abrangente. Instrumentos econômicos têm se destacado como mecanismos eficazes. A cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas, como no caso da Bacia do Paraíba do Sul, tem promovido tanto o reuso e o tratamento de efluentes quanto o financiamento de ações de recuperação ambiental (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023). Ao internalizar externalidades e induzir práticas mais eficientes, esses instrumentos demonstram a potência transformadora de incentivos econômicos bem calibrados.

Iniciativas fiscais também têm produzido resultados positivos. No Rio Grande do Sul, créditos fiscais estimulam o uso de recicláveis na indústria (Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, 2023), enquanto, o Programa PADIS, em São Paulo, incentiva a inovação em tecnologias limpas no setor de semicondutores. Essas políticas tributárias, ao alinhar benefícios econômicos com práticas sustentáveis, criam ambientes favoráveis à competitividade verde. Certificações voluntárias, como FSC e PEFC no setor de papel e celulose, e compromissos setoriais como o Roadmap Tecnológico do Cimento 2050 (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2023) vêm elevando os padrões ambientais e fortalecendo a responsabilidade empresarial, possibilitando

atuar em mercados internacionais com exigências ambientais mais rigorosas. Nesse sentido, a escolha tecnológica combinada com metas claras e mecanismos de monitoramento contribui para mitigação dos impactos ambientais.

O financiamento público à inovação tem papel estratégico na transição industrial. Programas conduzidos por BNDES e Finep, como o I.AM.Verde, promovem tecnologias nacionais em áreas como hidrogênio verde e captura de carbono (Financiadora de Estudos e Projetos, 2023). Esses instrumentos são vitais para superar barreiras de entrada enfrentadas por pequenas e médias empresas, permitindo a incorporação de soluções sustentáveis em diferentes setores produtivos. Parcerias público-privadas também se mostram promissoras. A articulação entre o Serviço Geológico do Brasil (SGB) e o setor produtivo para reaproveitamento de rejeitos na mineração ilustra como a conjugação entre conhecimento científico e escala empresarial pode acelerar a inovação e sua difusão prática (Serviço Geológico do Brasil, 2023). A Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC), instituída em 2023, representa um passo relevante na integração de políticas industriais, ambientais e sociais. Estruturada em torno de quatro eixos — regulação, instrumentos econômicos, inovação e educação —, a ENEC pretende articular ações dispersas e impulsionar uma agenda comum. Sua efetividade dependerá da elaboração e execução rigorosa do Plano Nacional de Economia Circular, ainda em fase de formulação (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, 2023).

Estratégias para melhoria da qualidade ambiental no setor industrial

A melhoria da qualidade ambiental no setor industrial brasileiro exige uma abordagem sistêmica, articulando inovação tecnológica, transformação de modelos de negócio, fortalecimento institucional e mudança cultural. Experiências nacionais e internacionais demonstram que soluções eficazes combinam regulação inteligente, incentivos econômicos, investimento em

pesquisa e desenvolvimento, e engajamento multissetorial, todos sob a diretriz da transição justa — isto é, que articule simultaneamente metas ambientais, econômicas e sociais. A transição energética constitui um dos eixos centrais dessa transformação. Apesar da matriz elétrica brasileira apresentar uma das maiores proporções de fontes renováveis no mundo (83%), os processos industriais permanecem fortemente dependentes de combustíveis fósseis (Empresa de Pesquisa Energética, 2023). Estratégias como a eletrificação de processos e o desenvolvimento da cadeia de valor do hidrogênio verde — viabilizado pela ampla oferta de energias representam caminhos para descarbonizar setores intensivos em energia térmica, como siderurgia e química (Ministério de Minas e Energia, 2023).

A economia circular também emerge como alicerce dessa agenda. Modelos como simbiose industrial, exemplificados pelo Polo Petroquímico de Camaçari, e parques ecoindustriais com compartilhamento de energia, água e resíduos, demonstram viabilidade técnica e econômica, desde que apoiados por políticas públicas específicas e planejamento territorial integrado. Tecnologias de captura, uso e armazenamento de carbono (CCUS), como as aplicadas pela Petrobras no campo de Lula, tornam-se estratégicas para setores de difícil descarbonização, como cimento e aço (Petróleo Brasileiro S.A., 2023). Transformações nos modelos de negócio também têm papel decisivo. Estratégias de servitização e remuneração por desempenho ambiental, como o caso da WEG, que atrela pagamento à economia de energia gerada, sinalizam a emergência de novos paradigmas empresariais (WEG, 2023). Paralelamente, a digitalização industrial, baseada em sensores, inteligência artificial, big data e internet das coisas (IoT), oferece ganhos expressivos de sustentabilidade ao permitir a otimização do uso de insumos, energia e recursos hídricos.

A disseminação de sistemas de gestão ambiental integrados — ancorados em normas como a ISO 14001 e a ISO 50001 — tem se mostrado eficaz para promover

melhorias contínuas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023). Tais sistemas permitem a identificação de oportunidades, definição de metas mensuráveis e monitoramento sistemático, sobretudo quando integrados a sistemas de gestão da qualidade e segurança ocupacional, ampliando sinergias e reduzindo custos. A qualificação profissional é condição para viabilizar essa transição. Iniciativas como os cursos do SENAI voltados à eficiência energética e tecnologias limpas precisam ser expandidas e adaptadas às especificidades setoriais (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2023). Instituições como o IPT e o CETEM desempenham papel estratégico no desenvolvimento de tecnologias limpas, especialmente quando atuam em rede com universidades, empresas e ambientes de experimentação como os living labs industriais. Nesse contexto, recomenda-se que as políticas públicas priorizem programas de capacitação contínua para trabalhadores e gestores, integrando formação técnica com competências digitais e socioambientais. Além disso, é essencial ampliar linhas de crédito direcionadas à requalificação tecnológica de pequenas e médias indústrias, garantindo que a transição não se restrinja às grandes corporações.

Para reduzir a dependência tecnológica externa e ampliar a competitividade, é crucial desenvolver capacidades locais de inovação em tecnologias limpas. Parcerias entre universidades, institutos de pesquisa e empresas vêm gerando resultados promissores em áreas como biotecnologia industrial, novos materiais e processos de baixo carbono (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2024). Em termos regulatórios, mecanismos baseados em desempenho, ao invés de prescrição tecnológica, asseguram flexibilidade à inovação. A criação de sand boxes regulatórios — ambientes seguros para teste de novas soluções — pode ser uma via para reduzir barreiras normativas à inovação (Banco Central do Brasil, 2024). Instrumentos econômicos como green bonds, fundos garantidores, pagamento por serviços ambientais e mercados regulados de carbono por setor devem ser fortalecidos para mobilizar investimentos e alinhar incentivos. Entre as estratégias prioritárias para o setor

industrial estão: (i) acelerar a eletrificação e diversificação da matriz energética industrial, com políticas de subsídio à energia renovável; (ii) fomentar programas de P&D cooperativos que unam empresas e universidades em torno de tecnologias de baixo carbono; (iii) estabelecer metas setoriais e monitoramento de redução de emissões de GEE e de descarbonização de processos; e (iv) criar mecanismos de rastreabilidade para cadeias produtivas que são grandes emissoras de GEE e garantir a transparência na evidenciação do desempenho ambiental.

O monitoramento ambiental em tempo real, por meio de tecnologias digitais, permite respostas ágeis a riscos e aprimoramento contínuo do desempenho ambiental. A integração com plataformas públicas de transparência, como o SINIMA, e a inspiração em experiências internacionais como o Toxic Release Inventory (TRI) reforçam a accountability empresarial e a confiança social (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2024). A cooperação internacional contribui para a aceleração tecnológica e redução de custos de transição. Acordos com países como Alemanha, Dinamarca e Coreia do Sul fomentam transferência de tecnologia, enquanto programas como o de descarbonização industrial apoiado pelo Banco Mundial — que prevê R\$ 1,3 bilhão em investimentos — exemplificam o potencial da mobilização de recursos externos (Governo Federal, 2025).

O setor privado tem papel central nessa transição, por meio de compromissos voluntários e coalizões como o CEBDS, que promovem boas práticas e padronizações setoriais (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2024). Reconhecimentos como o Prêmio Nacional de Qualidade Ambiental ampliam incentivos reputacionais. A sociedade civil, por sua vez, exerce funções relevantes na geração de dados, no controle social e na atuação em conselhos deliberativos, com destaque para os comitês de bacia como modelo participativo consolidado. A promoção de cadeias de suprimento sustentáveis representa outra frente decisiva. Grandes

empresas podem induzir práticas ambientais ao longo de toda a cadeia produtiva, por meio de programas de qualificação, certificação e exigência de critérios ambientais em compras e contratos (Confederação Nacional da Indústria, 2024). Nesse ponto, uma recomendação relevante é o fortalecimento de instrumentos de compras públicas sustentáveis, capazes de criar mercados para produtos circulares e de baixo carbono. Além disso, é necessário reduzir a assimetria de informação entre empresas líderes e fornecedores de menor porte, por meio de plataformas digitais de compartilhamento de boas práticas e dados de desempenho ambiental.

Considerações Finais

A convergência entre transformação digital, inovação tecnológica, redes de cooperação e instrumentos econômicos permite estruturar uma nova arquitetura para a política industrial ambiental brasileira. O país reúne vantagens comparativas significativas — matriz energética limpa, biodiversidade, base industrial diversificada — que podem ser transformadas em vantagens competitivas, desde que orientadas por estratégias de longo prazo, capazes de posicionar o Brasil como referência global em sustentabilidade industrial. Avançar nessas frentes é fundamental para atender às demandas estratégicas de uma política industrial sustentável.

A indústria brasileira, marcada por legados de degradação e desastres ambientais, encontra-se diante do desafio histórico de reinventar seus modelos produtivos. Nesse sentido, esse capítulo realizou uma análise da trajetória regulatória e institucional do país, destacando avanços, tais como o da Política Nacional do Meio Ambiente, a PNRS e a Estratégia Nacional de Economia Circular, ao lado das limitações estruturais ainda persistentes. O uso do modelo DPSIR permitiu compreender com clareza as forças motrizes, as pressões, o estado, os impactos e as respostas que moldam a relação entre indústria, sociedade e meio ambiente.

Na dimensão das forças motrizes, o processo de desindustrialização, a perda de complexidade produtiva e o baixo investimento em P&D enfraquecem a competitividade e a capacidade de inovação. A mineração, ao lado da siderurgia, do cimento e de outros setores intensivos em recursos, continua a concentrar riscos ambientais e sociais críticos. Aliado a essas forças, o envelhecimento populacional e a urbanização acelerada criam pressões envolvendo a necessidade de aumentar a produtividade, de gerenciar adequadamente os resíduos sólidos industriais e reduzir o consumo de recursos naturais. Experiências internacionais, como o CBAM europeu, pressionam a indústria brasileira a reduzir a intensidade da pegada de carbono e aumentar a rastreabilidade das emissões de GEE.

Na dimensão de estado do modelo DPSIR, a economia linear persiste como paradigma predominante, com altas taxas de descarte, baixa reciclagem e dependência do trabalho informal. Catadores de materiais recicláveis sustentam dois terços da reciclagem nacional, mas ainda enfrentam exclusão, precarização e falta de reconhecimento institucional. A fragmentação das cadeias globais de valor abre, portanto, oportunidades estratégicas de reposicionamento para o Brasil, com foco em minerais críticos e energias renováveis. Como pontos fortes do estado em que a indústria brasileira opera, o país tem uma matriz elétrica majoritariamente limpa, o qual constitui uma vantagem competitiva em setores de alta intensidade energética.

Por outro lado, o rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG expôs a lógica extrativista, falhas regulatórias e dimensões socioculturais que antecederam o colapso da bacia hidrográfica do Rio Doce. Desastres de Brumadinho e Maceió reforçaram a percepção dos riscos estruturais de um modelo industrial baseado na negligência e na captura das falhas regulatórias. Os impactos desses desastres não se limitam à degradação ambiental, geram violações ontológicas, rupturas simbólicas e injustiça social prolongada. A tríplice crise planetária — clima, biodiversidade e poluição —

encontra no Brasil um laboratório vivo de seus dilemas mais agudos. Nesse contexto, a injustiça ambiental atinge de forma desproporcional povos indígenas, quilombolas, populações periféricas e trabalhadores informais. O processo de reparação de desastres revela que justiça ambiental é inseparável de democracia, participação e reconhecimento de saberes locais.

Na dimensão das respostas, a indústria nacional responde por 22% das emissões brutas de GEE. Eventos climáticos extremos, como as enchentes no Rio Grande do Sul e as secas em São Paulo, revelam vulnerabilidades e forçam adaptações produtivas. Planos setoriais de descarbonização precisam avançar no cumprimento de suas metas de redução de emissões de GEE. A ineficiência estrutural da gestão de resíduos sólidos industriais, os quais mantêm baixíssimos índices de circularidade, desperdiçam energia, recursos e oportunidades de inclusão social. A economia circular ganha, portanto, corpo com acordos de logística reversa, financiamento público e crescente engajamento de startups e consumidores urbanos.

O financiamento da modernização industrial continua restrito, caro e desigual, limitando a adoção de tecnologias limpas e inovadoras. A cooperação internacional, por meio de fundos climáticos, transferências tecnológicas e fóruns globais, pode posicionar o país como uma referência no Sul Global em termos de descarbonização de processos industriais. É fundamental, portanto, ampliar a educação profissional para o desenvolvimento de novas competências em direção a circularidade industrial. Consórcios intermunicipais, comitês de bacia hidrográficas e distritos industriais sustentáveis demonstram o potencial da cooperação entre diversos atores públicos e privados. O Brasil pode se tornar potência na geração de energia renovável, no entanto, precisa considerar os princípios da transição energética justa e a necessidade de garantir o desenvolvimento local sustentável.

A sociedade civil, universidades e movimentos sociais têm desempenhado papel central em pressionar por justiça e transparência na gestão ambiental. A

governança multinível surge como uma proposta para a cocriação de soluções. Quando os entes federais, estaduais e municipais, em conjunto com empresas e sociedade civil discutem seus desafios, o caminho da inovação e da integração de agendas é construído. O caminho da transição industrial exige superar

desigualdades regionais e setoriais, garantindo que benefícios ambientais sejam acompanhados por inclusão social. A convergência entre inovação tecnológica, governança colaborativa e engajamento comunitário define os caminhos possíveis para a construção de sistemas socioecológicos regenerativos.

Referências

Abreu, M. C. S. de, & Andrade, R. de J. C. de. (2019). Dealing with wicked problems in socio-ecological systems affected by industrial disasters: A framework for collaborative and adaptive governance. **Science of the Total Environment**, 694, 133700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133700>

Abreu, M. C. S. de, & Andrade, R. de J. C. de. (2022). Problematizing the wickedness of the Fundão dam rupture: Are cross-sector partnerships enough to bring about the Doce river basin recovery process? **Environmental Science & Policy**, 132, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.02.013>

Abreu, M. C. S. de, & Andrade, R. de J. C. de. (2024). Indigenous People Struggle for Damage Repair: Assessing Shadow Networks Resistance and Pursuit of Resilience in the Context of an Industrial Disaster. **Organization & Environment**. <https://doi.org/10.1177/10860266241248451>

Agência Brasil. (2024, abril 2). **Poluição do ar mata 7 milhões de pessoas por ano no mundo, diz OMS**. <https://agenciabrasil.ebc.com.br>

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (2024). **Indústria 4.0 no Brasil: diagnóstico e perspectivas**. ABDI.

Agência Internacional de Energia. (2024). **Global Hydrogen Review 2024**. IEA.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2023). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023**. ANA.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2024). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2024**. ANA.

Agência Nacional de Mineração. (2023). **Relatório de Segurança de Barragens de Mineração 2023**. ANM.

Associação Brasileira da Indústria Química. (2023). **Relatório de Sustentabilidade 2023**. ABIQUIM.

Associação Brasileira de Cimento Portland. (2023). **Roadmap Tecnológico do Cimento: descarbonização da indústria cimenteira brasileira**. ABCP.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2023). **Sistemas de gestão ambiental: panorama da implementação no Brasil**. ABNT.

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. (2023). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. ABREMA.

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. (2024). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. ABREMA.

Associação Brasileira do Alumínio. (2023). **Anuário Estatístico 2023**. ABAL.

Banco Central do Brasil. (2024). Relatório de Estabilidade Financeira: financiamento da indústria brasileira. BCB.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2023). **Minerais Estratégicos para a Transição Energética: oportunidades para o Brasil**. BNDES.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2024). Relatório Anual 2024: financiamento da transição sustentável. BNDES.

- Bouvier, R., & Dias, S. M. (2021). Waste pickers in Brazil: diversity and challenges. WIEGO.
- Brasil. (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Senado Federal.
- Brasil. (1997). **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Diário Oficial da União.
- Brasil. (2000). **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Diário Oficial da União.
- Brasil. (2010). **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União.
- Brasil. (2020). **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Diário Oficial da União.
- Brasil. (2024). **Decreto nº 12.082, de 12 de junho de 2024**. Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular. Diário Oficial da União.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2024). **Inovação em tecnologias limpas: mapeamento das parcerias público-privadas no Brasil**. CGEE.
- Comissão Europeia. (2023). **Regulation (EU) 2023/956 establishing a carbon border adjustment mechanism**.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2023). **Cubatão: 40 anos de controle ambiental e recuperação da qualidade de vida**. CETESB.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2024). **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2024**. CETESB.
- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. (2024). **Boletim dos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo**. SABESP.
- Confederação Nacional da Indústria. (2024). **Sondagem Industrial: Indicadores CNI**. CNI.
- Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. (2024). **Relatório de Atividades 2024: liderança empresarial para a sustentabilidade**. CEBDS.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2023). **Balço Energético Nacional 2023: ano base 2022**. EPE.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2024). **Hidrogênio verde no Brasil: potencial e perspectivas**. EPE.
- Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina. (2021). **Roadmap Tecnológico do Cimento: descarbonização da indústria cimenteira brasileira**. FIESC.
- Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. (2023). **Relatório de Sustentabilidade Industrial 2023**. FIESP.
- Financiadora de Estudos e Projetos. (2023). **Programa I.AM.Verde: descarbonização industrial**. FINEP.
- Financiadora de Estudos e Projetos. (2024). **Programa de Apoio à Inovação Verde**. FINEP.
- Folha de S. Paulo. (2024, 15 de março). Brasil perde complexidade industrial e fica para trás na corrida tecnológica. **Mercado**, p. B1.
- Fundação Oswaldo Cruz. (2018). **Avaliação de contaminação humana por metais pesados: relatório da região amazônica**. FIOCRUZ.
- Fundação Oswaldo Cruz. (2020). **Impactos do derramamento de petróleo nas comunidades pesqueiras do Nordeste**. FIOCRUZ.
- Fundação Oswaldo Cruz. (2023). **Impactos neurológicos do mercúrio em crianças da Amazônia: estudo longitudinal 2020-2023**. FIOCRUZ.
- Fundação Renova. (2023). **Relatório Anual de Atividades 2023**.

Governo do Estado do Rio Grande do Sul. (2024). **Plano Rio Grande: reconstrução, adaptação e resiliência climática.**

Governo Federal. (2025). **Programa de Descarbonização Industrial: parceria com Banco Mundial.** Agência Gov.

Indústria Brasileira de Árvores. (2024). Relatório Anual 2024: sustentabilidade e conservação. IBÁ.
Instituto Aço Brasil. (2024). **Relatório de Sustentabilidade 2024.** IABr.

Instituto Brasileiro de Administração Municipal. (2018). **Governança multinível e sustentabilidade urbana.** IBAM.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2022.** IBGE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). **Projeções da População: Brasil e unidades da federação (2ª ed.).** IBGE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). **Pesquisa Industrial Mensal: produção física Brasil.** IBGE.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2020). **Relatório de Emergência Ambiental: derramamento de óleo no litoral nordestino.** IBAMA.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2024). **Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente: relatório de implementação 2024.** IBAMA.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2022). **Plano de Ação Nacional para a Conservação da Biodiversidade do Quadrilátero Ferrífero.** ICMBio.

Instituto de Energia e Meio Ambiente. (2024). **Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil: análise setorial 2024.** IEMA.

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. (2022). **Desindustrialização e Política Industrial no Brasil.** IEDI.

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. (2024). **Dependência externa da indústria brasileira: análise por setores estratégicos.** IEDI.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2020). **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos: relatório de pesquisa.** IPEA.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2022). **Poluição atmosférica e saúde pública no Brasil.** IPEA.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2023). **Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional.** IPEA.

Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias. (2023). **Relatório de Sustentabilidade 2023.** INPEV.

Instituto Prístino. (2023). **Panorama da Reciclagem no Brasil 2023.**

Instituto Prístino. (2024). **Panorama da Reciclagem no Brasil 2024.**

Jurema, R. (2024, março). Maceió: cinco anos de um desastre anunciado. **Revista Piauí**, 210, 42–48.

McKinsey Global Institute. (2024). **The future of global value chains: resilience and regionalization**. McKinsey & Company.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2024). **Indicadores Nacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação 2024**. MCTI.

Ministério de Minas e Energia. (2023). **Programa Nacional do Hidrogênio: estratégia e perspectivas**. MME.

Ministério de Minas e Energia. (2025). **Balanco Energético Nacional 2025: ano base 2024**. EPE.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2023). **Estratégia Nacional de Economia Circular: relatório de implementação**. MDIC.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2024). **Nova Indústria Brasil: política industrial para uma economia sustentável, digital e descarbonizada**. MDIC.

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2024). **Acordos setoriais de logística reversa: relatório de implementação 2024**. MMA.

Ministério Público Federal. (2016). **Ação Civil Pública: desastre de Mariana**. MPF.

Movimento Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis. (2022). **Panorama da Reciclagem Popular no Brasil**. MNCR.

Movimento Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis. (2023). **Relatório de Atividades 2023**. MNCR.

Observatory of Economic Complexity. (2024). **Economic Complexity Index: Brazil**. MIT. Recuperado em 20 de julho de 2025, de <https://oec.world/en/profile/country/bra>

Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2024). **Boletim Mensal de Geração Eólica e Solar**. ONS. **Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial**. (2024). Eco-Industrial Parks: achievements and key insights from the global eco-industrial parks programme. UNIDO.

Organização das Nações Unidas. (2023). **Relatório dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2023**. ONU.

Petróleo Brasileiro S.A. (2023). **Relatório de Sustentabilidade 2023: tecnologias de captura de carbono**. PETROBRAS.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2021). **Perspectivas do Meio Ambiente Mundial 2024**. PNUMA.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2024). **Estado do Planeta 2024: relatório sobre a tríplice crise planetária**. PNUMA.

Relação Anual de Informações Sociais. (2023). **Anuário Estatístico da RAIS 2023**. Ministério do Trabalho e Emprego.

Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo. (2023). **Relatório de Qualidade Ambiental 2023**. SIMA.

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. (2023). **Resolução CONSEMA nº 500/2023: diretrizes para logística reversa**. SEMAI-RS.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2024). **Acesso ao crédito pelas micro e pequenas empresas**. SEBRAE.

Serviço Geológico do Brasil. (2023). **Projeto Minerais Críticos: recuperação a partir de rejeitos**. SGB.

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. (2023). **Jornada de Descarbonização: capacitação para a indústria**. SENAI.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. (2024). **Roadmap para a Neutralidade de Carbono 2050**. SNIC.

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. (2024). Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil 1970-2022. **Observatório do Clima**.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2023). **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2023**. SNIS.

Valor International. (2025, 8 de janeiro). Braskem: passivos ambientais superam R\$ 34 bilhões. **Empresas**, p. A12.

WEG S.A. (2023). **Relatório Anual de Sustentabilidade 2023**.

World Economic Forum. (2022). **The Future of Jobs Report 2022**. WEF.

World Trade Organization. (2023). **Global Value Chain Development Report 2023: resilient and sustainable GVCs in turbulent times**. WTO.

INDÚSTRIA

Como tornar nossa indústria sustentável?



Caio Magri¹

¹Diretor-presidente do Instituto Ethos

Para o Brasil, a indústria é estratégica para a economia nacional e regional, para o desenvolvimento social e a conservação socioambiental. Ela é responsável por aproximadamente 20% do PIB, cerca de um terço da receita federal e cria mais de 8,7 milhões de empregos diretos e muitos milhões de empregos indiretos (CNI, 2024; IBGE, 2023). No entanto, sua contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) ainda é bastante modesta, particularmente no que diz respeito à luta contra as mudanças climáticas e às desigualdades sociais, econômicas, territoriais e regionais. Mudar a indústria não é apenas uma questão de descarbonizar a economia, mas também torná-la mais justa, inovadora e resiliente. Ela precisa de novas linhas de produção, com novos padrões, novo posicionamento. Precisa de políticas públicas, e de uma nova cultura corporativa que contribua com o desenvolvimento sustentável e o bem-estar coletivo.

1. Descarbonização e Transição Energética

Várias indústrias no Brasil, incluindo as dos setores de aço, cimento, químico e do alumínio, são responsáveis por mais de 25% das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) industriais do país (SEEG, 2023). O caminho para uma indústria de baixo carbono requer mais eficiência energética, mais eletrificação de processos, mais uso de hidrogênio verde e mais substituição de combustíveis fósseis por renováveis. Um mercado de carbono regulado, como o previsto pelo PL 412/2022, pode fornecer essa previsibilidade e fomentar a inovação. Além disso, a Nova Indústria Brasil ou a política de reindustrialização verde, de acordo com documentos oficiais, deve ter como prioridades os setores de alta capacidade de descarbonização e geração de empregos com garantia de direitos sociais e previdenciários (MDIC, 2024; OIT Brasil, 2024).

2. Economia Circular e Eficiência de Recursos

O modelo extrair-produzir-descartar não é apenas insustentável, mas cria disparidades territoriais exacerbadas em áreas afetadas pelo extrativismo. A economia circular sugere aliviar a pressão sobre os ecossistemas e gerar novas atividades em setores sensíveis.

O Brasil gera mais de 82 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos anualmente e tem uma taxa de reciclagem de 4% (ABRELPE, 2023). O setor industrial é capaz de impulsionar soluções com ecodesign, logística reversa, simbiose industrial e reciclagem de insumos, para reforçar cadeias locais gerando vantagens econômicas e ambientais.

3. Desigualdades e Inclusão Territorial

O Brasil figura em 5º lugar entre as nações mais desiguais do mundo enquanto estamos entre a 9ª e 10ª economia. Uma indústria sustentável também precisa combater as desigualdades. Atualmente, a produção industrial está concentrada nas regiões sul e sudeste do país, enquanto no norte e nordeste a indústria é responsável por menos de 15% do PIB regional (IPEA, 2023). Políticas industriais inclusivas podem fortalecer cadeias da socio bioeconomia, fontes de energia renovável e produtos da sociobiodiversidade, especialmente na Amazônia, semiárido e áreas desindustrializadas. Também é necessário avançar no trabalho decente e na inclusão de mulheres, negros, indígenas, pessoas com deficiência e a comunidade LGBTQIA+ (OIT, 2024). O Instituto Ethos destaca que a batalha contra as desigualdades é reforçada quando as empresas atuam em parceria com o governo e sociedade civil (Instituto Ethos, 2023). Isso significa ações afirmativas, liderança diversa e respeito pelo conhecimento local.

4. Inovação, IA Responsável, Ética e Digitalização

Maior digitalização da indústria — através da IoT, IA e blockchain — também levará a uma maior sustentabilidade por meio da otimização de processos e redução de resíduos. No entanto, apenas 23% das indústrias brasileiras empregam tecnologias digitais avançadas (CNI, 2024). Em particular, o acesso ampliado a pequenas e médias empresas é essencial para estimular a inovação aberta, parcerias universitárias e produção nacional de tecnologia. Com a IA ética, responsável e inclusiva, a transparência algorítmica, a proteção da privacidade e a luta contra os vieses discriminatórios são agora necessários. Uma governança inclusiva deve ajudar no envolvimento mútuo de vários grupos sociais e partes interessadas no desenvolvimento dessas tecnologias. Desta forma, a IA pode atuar como aliada no combate às desigualdades e no aumento da sustentabilidade e não no reforço das exclusões.

5. Governança, Transparência e Corresponsabilidade

A reindustrialização exige compromissos reais de ASG (ambiental, social e governança). As empresas devem usar inventários de emissões, relatórios auditáveis e públicos; e consultar comunidades e trabalhadores. O Estado, por sua vez, deve regular e estimular, fortalecer o controle ambiental, combater crimes financeiros e empresariais, bem como incentivar as boas práticas. A integração e transversalidade entre as políticas industriais, ambientais, científicas e regionais é fundamental para equilibrar os interesses públicos e privados na implementação da sustentabilidade.

Tornar a indústria no Brasil sustentável é uma questão desafiadora, mas também é uma oportunidade histórica para colocar o país em um polo de liderança socioambiental. A indústria emergente deve ser renovável, circular, inovadora, consciente e efetiva na justiça social e na promoção trabalho decente. A transformação está enraizada na redução

das desigualdades, na tecnologia responsável e inclusiva, na regulamentação e na ética, e une empresas, governos e sociedade civil em um novo pacto social

Referências

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2023.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. Pesquisa de Indústria Digital no Brasil. Brasília, 2024.

OIT Brasil – Organização Internacional do Trabalho. **Agenda de Trabalho Decente**. Brasília, 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas Nacionais Trimestrais. 2023.

Ethos – Instituto de Responsabilidade Empresarial e Social. Guia: Como as empresas podem combater as desigualdades no Brasil. 2023.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Desigualdades Regionais e Industrialização. 2023.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Nova Indústria Brasil**. Brasília, 2024.

SEEG – Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa. Análise Setorial – Indústria. Observatório do Clima, 2023.

Projeto de Lei nº 412/2022. Câmara dos Deputados.