

RELATÓRIO DE EXECUÇÃO DO OBJETO

P2.4 – POLÍTICAS PÚBLICAS INDÚSTRIA

Referência: INVESTMINAS/CT/25/2024

Este relatório compõe o Produto 2.4 – Políticas Públicas conforme previsto na Cláusula 6.^a do Contrato INVESTMINAS/CT/25/2024. O objeto foi executado em sua integridade durante o período de maio de 2025 agosto de 2025, incluindo revisões e ajustes até outubro de 2025

Rota para a descarbonização da economia de Minas Gerais através da promoção de investimentos privados

Políticas Públicas - Indústria



 INVEST
MINAS

 VVA/CARBON

Sumário

| | |
|---|----|
| ACRÔNIMOS..... | 5 |
| INTRODUÇÃO..... | 8 |
| CONTEXTUALIZAÇÃO | 9 |
| ANÁLISE DE BARREIRAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRIORIZADAS | 11 |
| Identificação de barreiras: visão geral | 12 |
| Barreiras tecnológicas | 14 |
| Barreiras políticas e regulatórias..... | 14 |
| Barreiras financeiras..... | 15 |
| Barreiras informacionais | 17 |
| Barreiras institucionais..... | 18 |
| Barreiras culturais e sociais | 18 |
| MAPEAMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EM VIGOR..... | 19 |
| Análise das políticas públicas..... | 26 |
| TECNOLOGIAS EM FOCO: CONFRONTANDO BARREIRAS E POLÍTICAS | 34 |
| Tecnologias incluídas na MACC | 34 |
| Tecnologias não incluídas na MACC..... | 48 |
| RECOMENDAÇÕES DE POLÍTICAS PÚBLICAS..... | 52 |
| PRIORIZAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES | 75 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 84 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 86 |
| ANEXO A - Mapeamento e classificação de barreiras..... | 88 |
| ANEXO B – Classificação de atores em níveis | 94 |
| ANEXO C – Mapeamento e classificação de políticas | 96 |



Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Distribuição das barreiras associadas às tecnologias – Indústria..... | 14 |
| Figura 2: Distribuição do número de políticas mapeadas por tipo de instrumento – Indústria | 26 |
| Figura 3: Distribuição do tipo de instrumento por âmbito da política – Indústria..... | 28 |
| Figura 4: Distribuição do tipo de instrumento e previsão de recursos – Indústria..... | 30 |
| Figura 5: Distribuição do número de políticas por subsetor – Indústria | 32 |
| Figura 6: Dispersão das recomendações de políticas públicas em relação à sua contribuição para a mitigação de emissões e à sua viabilidade em termos da mobilização de atores e financiamento | 82 |

Índice de quadros

| | |
|---|----|
| Quadro 1: Categorias de barreiras..... | 11 |
| Quadro 2: Levantamento de barreiras para as tecnologias analisadas na MACC..... | 12 |
| Quadro 3: Classificação das políticas mapeadas..... | 21 |
| Quadro 4: Recomendações de políticas públicas - Indústria..... | 54 |
| Quadro 5: Matriz de associação entre recomendações e tecnologias - Indústria..... | 79 |



ACRÔNIMOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AFOLU – Agropecuária, Floresta e Outros Usos da Terra

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASAP – *Action Selection and Prioritisation* (guia de seleção e priorização de ações)

BAU – *Business as Usual* (Cenário Tendencial)

BESS – *Battery Energy Storage Systems* (Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias)

BF-BOF – *Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace* (Alto-Forno – Forno Básico a Oxigênio)

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CAPEX – *Capital Expenditure* (despesas de capitais)

CCS – *Carbon Capture and Storage* (Captura e Armazenamento de Carbono)

CCUS – *Carbon Capture, Utilisation and Storage* (Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono)

CDRU – Combustível Derivado de Resíduos Urbano

CH₄ – Metano

CIMC – Comitê Intergovernamental de Mudança Climáticas

CIT – Centro de Inovação e Tecnologia

CO₂ – Dióxido de carbono

CO₂e – Dióxido de carbono equivalente

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

EAF – *Electric Arc Furnace* (Forno a Arco Elétrico)



FCC – *Fluid Catalytic Cracking* (Unidade de Craqueamento Catalítico Fluidizado)

GEE – Gases de Efeito Estufa

GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

HTGRs – *High-Temperature Gas-Cooled Reactors* (Reatores de Gás de Alta Temperatura)

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

IEA – *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

MACC – *Marginal Abatement Cost Curve* (Curva de Custo Marginal de Abatimento)

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

OPEX – *Operational Expenditure* (Despesas Operacionais)

PATEN – Programa de Aceleração da Transição Energética

PD&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

PDMG – Plano de Descarbonização de Minas Gerais

PESB-MG – Plano Estadual de Saneamento Básico

PHBC – Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono

PLAC-MG – Plano de Ação Climática de Minas Gerais

PNDV – Programa Nacional de Diesel Verde

PNIIGB – Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

SAF – *Sustainable Aviation Fuel* (Combustível Sustentável De Aviação)



SBCE – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa

SBCH2 – Sistema Brasileiro de Certificação do Hidrogênio

SECTES – Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior

SEDE – Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

SEE-MG – Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais

SEMAD – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

TEC – *Technology Executive Committee* (Comitê Executivo de Tecnologia)

UGH – Unidade de Geração de Hidrogênio

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

VPL – Valor Presente Líquido

WRI – *World Resources Institute* (Instituto de Recursos Mundiais)



INTRODUÇÃO

Este documento tem como objetivo propor melhorias nas políticas públicas voltadas às tecnologias identificadas no setor de indústria, visando contribuir para a descarbonização do estado de Minas Gerais. Para atender a esse propósito, o conteúdo está organizado em sete seções:

Seção 1: traz uma breve contextualização do projeto Rota;

Seção 2: desenvolve uma análise das principais barreiras e das possíveis soluções para a implementação das tecnologias identificadas, fundamentada em pesquisa bibliográfica abrangendo artigos científicos, normas e relatórios setoriais, bem como nos resultados obtidos na rodada de consulta com atores relevantes e nos debates realizados nos Grupos de Trabalho setoriais do projeto;

Seção 3: apresenta o mapeamento das principais políticas públicas vigentes para o setor de indústria voltadas à transição climática e para a atração de investimentos de baixo carbono no estado de Minas Gerais;

Seção 4: analisa, para as tecnologias de redução de emissões, a relação entre as barreiras identificadas, as possíveis soluções mapeadas e as políticas públicas existentes associadas a cada uma dessas tecnologias;

Seção 5: detalha um conjunto estruturado de recomendações de políticas públicas, com o objetivo de acelerar a transição energética e industrial no estado;

Seção 6: visa estruturar um conjunto ordenado de recomendações, estabelecendo um *roadmap* que indique quais programas, ações, formulações e articulações devem ser priorizados para fortalecer o ambiente institucional, atrair capital e viabilizar tanto a execução de investimentos quanto a adoção das tecnologias definidas como prioritárias;

Seção 7: destaca os principais resultados deste produto e como eles se conectam com as próximas fases da construção do *roadmap* do Rota.



CONTEXTUALIZAÇÃO

O projeto Rota busca definir um *roadmap*, ou roteiro estratégico, a ser seguido para que os investimentos privados necessários para descarbonizar a economia de Minas Gerais possam ser identificados e viabilizados. O *roadmap* se desdobra em quatro macrossetores: Agropecuária, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU), Energia, Indústria e Transporte. Suas etapas incluem:

- elaboração de diagnósticos setoriais;
- construção de cenários de descarbonização;
- mapeamento e priorização das principais soluções tecnológicas, por meio da construção da Curva de Custo Marginal de Abatimento (MACC, na sigla em inglês¹);
- identificação de necessidades e oportunidades de investimento;
- construção de propostas de implementação ou revisão de políticas públicas.

A primeira etapa constituiu a elaboração de diagnóstico dos quatro setores do projeto, trazendo uma contextualização das emissões do setor, um *benchmarking* de tecnologias incluídas em planos de descarbonização de estados brasileiros, incluindo o de Minas Gerais, além da identificação de potenciais soluções e barreiras para a redução de emissões em cada setor, a partir das tecnologias identificadas.

Na etapa seguinte, o *roadmap* avançou para a análise de cenários de descarbonização, avaliando as projeções de emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos quatro setores considerados. Foi adotado um cenário *Business as Usual* (BAU), que pressupõe a ausência de novas tecnologias e um crescimento econômico projetado (Cenário Base). Em seguida, os resultados foram comparados com diferentes cenários de neutralidade climática modelados pela literatura especializada, permitindo medir o esforço necessário para alinhar o estado a uma trajetória *Net Zero* (Cenários *Net Zero*). Além disso, esses cenários serviram de subsídio para a construção da MACC, ou curva MAC, permitindo avaliar as tecnologias de baixo carbono em termos de seu potencial de redução de emissões e dos custos a elas associados, o que, por sua vez, permite estimar a contribuição dessas tecnologias para o atingimento das metas de descarbonização (parte 1 dessa etapa do projeto). Assim, a elaboração da MACC permitiu a construção do Cenário Rota, que representa os esforços necessários, em termos de tecnologias de mitigação, para deslocar a curva de emissões do Cenário Base até o atingimento das metas apresentadas nos Cenários *Net Zero*.

¹ Curva MAC é uma ferramenta que permite o ranqueamento das iniciativas de descarbonização em termos de custo-efetividade.



Além disso, na fase final dessa etapa, está sendo estruturado um portfólio de investimentos estratégicos voltado à implementação do *roadmap* de descarbonização dos setores contemplados pelo projeto. Essa iniciativa inclui o mapeamento do panorama atual de investimentos, a avaliação da aderência às curvas MAC, a consolidação de custos e a identificação da demanda por investimentos. O objetivo é estabelecer uma base técnica e financeira sólida para direcionar recursos a tecnologias de baixo carbono em Minas Gerais.

Por fim, a etapa aqui desenvolvida concentra-se na elaboração de um documento técnico que propõe o aprimoramento de políticas públicas voltadas aos setores do projeto Rota. A proposta visa facilitar e incentivar a implementação das soluções tecnológicas identificadas nas fases anteriores, por meio da construção de um ambiente normativo e regulatório mais favorável à atração de investimentos privados essenciais para o alcance das metas de descarbonização do estado.



**INVEST
MINAS**

WVCARBON

ANÁLISE DE BARREIRAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRIORIZADAS

Este capítulo foi elaborado com base na metodologia de análise de barreiras do *Framework* do Comitê Executivo de Tecnologia da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC/TEC), utilizada para identificar e superar obstáculos à implementação de tecnologias climáticas (UNEP, 2024). Trata-se de uma metodologia padronizada internacionalmente, aplicável a diferentes tecnologias e setores. Ela permite compreender quais barreiras podem afetar a adoção e a ampla difusão das tecnologias climáticas, além de possibilitar a identificação de medidas para a superação dos entraves identificados. Adicionalmente, a metodologia permite o planejamento por etapas, facilitando a captação de recursos internacionais, como os disponibilizados pelo Fundo Verde para o Clima, para o alinhamento entre o desenho de políticas públicas e as necessidades tecnológicas identificadas.

Para a identificação de barreiras, a metodologia adota uma estrutura analítica que as classifica em categorias típicas, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1: Categorias de barreiras

| Categoria | Exemplos de Barreiras |
|--------------------------|---|
| Políticas e regulatórias | Falta de regulamentação, ausência de metas setoriais, ausência de incentivos, normativos desatualizados. |
| Institucionais | Falta de capacidades nos órgãos públicos ou empresas, sobreposição de competências, desarticulação governamental. |
| Financeiras | Custo elevado de capital, ausência de crédito acessível, risco percebido alto, baixa demanda ou rentabilidade. |
| Tecnológicas | Inadequação ao contexto local, ausência de infraestrutura de suporte, falta de escala, cadeias desestruturadas. |



| | |
|---------------------|---|
| Informacionais | Falta de dados sobre desempenho, desconhecimento por parte dos agentes, baixa disseminação de informações existentes. |
| Culturais e sociais | Resistência à mudança, percepção negativa de risco, inércia geracional, hábitos, valores morais conservadores. |

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a metodologia de referência, a identificação das principais barreiras associadas a cada tecnologia foi realizada a partir da revisão de literatura especializada, da pesquisa de estudos setoriais e da consulta a especialistas, tendo como objetivo principal o mapeamento dos possíveis obstáculos para a implementação das tecnologias avaliadas. Em seguida, realizou-se uma rodada de consulta com atores relevantes, a partir de reuniões com os Grupos de Trabalho setoriais do projeto, para complementar esse levantamento com a identificação de outras barreiras existentes, de acordo com a perspectiva desses atores. A discussão sobre barreiras é apresentada neste capítulo, ao passo que, nos capítulos posteriores, aborda-se a identificação de políticas e programas vigentes, de modo a dimensionar as possibilidades de construção de medidas habilitadoras que poderiam solucionar ou, ao menos, mitigar as barreiras identificadas. Tal como as barreiras, as políticas e ações habilitadoras também foram objeto de consulta realizada junto aos Grupos de Trabalho, bem como de pesquisa e revisão de literatura.

Identificação de barreiras: visão geral

O processo de identificação e análise de barreiras abrangeu todas as tecnologias contempladas na curva MACC, bem como algumas tecnologias não incluídas na curva. O Quadro 2 apresenta um panorama das tecnologias consideradas no mapeamento de barreiras. Em sequência, é apresentado um panorama geral das barreiras identificadas para a indústria, seguido pelo detalhamento das barreiras agrupadas por categoria. O compilado contendo todas as barreiras identificadas por tecnologia é apresentado no ANEXO A - Mapeamento e classificação de barreiras.

Quadro 2: Levantamento de barreiras para as tecnologias analisadas na MACC

| Nome no setor | Indústria |
|-------------------------------|--|
| Tecnologias incluídas na MACC | |
| Cimento | Adições ao clínquer |
| Cimento/Ferro-gusa e Aço | Captura e armazenamento de carbono (CCS) |
| Ferro-gusa e Aço | BF-BOF a carvão vegetal |



| | |
|--------------------------------------|--|
| | Forno a arco elétrico (EAF) |
| | Redução direta a hidrogênio (RD-H ₂) |
| | Redução direta a gás natural (RD-GN) |
| Iniciativas abrangentes ² | Substituição de combustíveis |
| | Eficiência energética |
| Tecnologias não incluídas na MACC | |
| Ferro-gusa e Aço | Fusão redutora para produção de aço |
| | Redução do minério de ferro por eletrólise |
| Outras | Uso de energia solar térmica para produção de calor em processos industriais |
| | Uso de reatores nucleares para produção de calor em processos industriais |
| | Uso de hidrogênio para produção de calor em processos industriais |

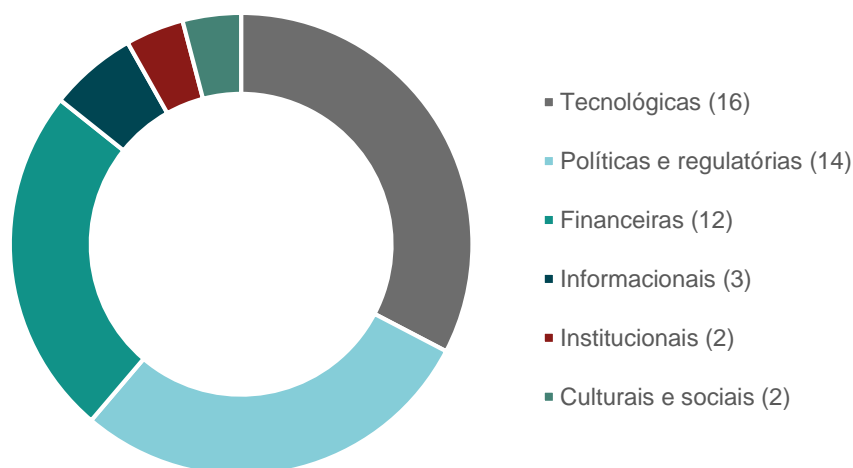
Fonte: Elaboração própria.

No setor industrial, as barreiras tecnológicas, políticas e regulatórias e financeiras figuram entre as mais relevantes nas categorias analisadas, seguidas pelas barreiras institucionais, informacionais e culturais e sociais, como observado na Figura 1. O baixo número de barreiras informacionais, institucionais, e culturais e sociais sugere que as tecnologias analisadas são relativamente difundidas entre os agentes do setor, o que tende a minimizar resistências à adesão dos atores privados.

² Nessa categoria foram incluídas as tecnologias que estão de forma transversal em todos os segmentos industriais analisados (cimento, ferro e aço, ferroligas, mineração, química e outras indústrias).



Figura 1: Distribuição das barreiras associadas às tecnologias – Indústria



Fonte: Elaboração própria

Barreiras tecnológicas

As barreiras tecnológicas envolvem limitações na oferta de aditivos substitutos ao clínquer, como escória de alto-forno e cinzas volantes, para a produção de cimento, além da necessidade de adaptação dos processos produtivos e outras restrições inerentes às tecnologias analisadas. Além disso, no setor de cimento, os combustíveis alternativos utilizados apresentam baixo poder calorífico, alta umidade e presença de substâncias que dificultam a queima, o que configura barreiras ao aumento da eficiência energética.

No caso do armazenamento de carbono, por se tratar de uma tecnologia ainda em fase de desenvolvimento, não há infraestrutura adequada de transporte e estocagem, como dutos e reservatórios geológicos apropriados. Além disso, são apontados riscos técnicos relacionados à integridade desses reservatórios e à sua operação em longo prazo.

O uso de biomassa, por sua vez, exige modificações estruturais nos altos-fornos e ajustes nos processos produtivos, devido à variabilidade nas características químicas, propriedades físicas e teor de umidade do material. De forma semelhante, a adoção do carvão vegetal é limitada pela restrição de oferta para uso em larga escala, o que depende da disponibilidade de áreas destinadas ao plantio de florestas.

Barreiras políticas e regulatórias

As principais lacunas regulatórias identificadas no setor industrial dizem respeito à ausência de normas específicas, restrições e políticas públicas voltadas a determinadas tecnologias. Por exemplo, no contexto do aumento do uso de combustíveis alternativos de baixa emissão



(como lenha e biometano) em indústrias, nota-se a ausência de uma regulação clara e adequada para garantir a origem e a rastreabilidade da biomassa (BNDES, 2024a).

Além disso, a ausência de normas específicas no Brasil para o setor de coprocessamento e blendagem de resíduos gera insegurança e limitações no uso de combustíveis alternativos, como carvão vegetal e outras biomassas, na produção de cimento. Por outro lado, a existência de regulamentação também pode se apresentar como uma barreira, como no caso da limitação do uso de filer de calcário como substituto do clínquer (adição que possui o maior potencial de mitigação) a no máximo 10%, fixada pela NBR 16697/2018 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Ainda não existem normas de licenciamento e mecanismos de incentivo econômico-financeiro específicos voltados à CCS. Em relação ao hidrogênio verde, destaca-se a percepção de baixa urgência para sua adoção, atribuída, em parte, à ampla disponibilidade de outras fontes de energia renovável no Brasil.

No caso da produção de aço pela rota do forno a arco elétrico, um dos principais obstáculos é a alta demanda de energia necessária para o processo. A esse desafio soma-se a exigência de que essa energia seja proveniente de fontes limpas, o que implica, entre outros fatores, a superação de entraves relacionados ao licenciamento de pequenas centrais hidrelétricas voltadas à autoprodução no setor industrial.

Barreiras financeiras

As barreiras financeiras enfrentadas pela indústria envolvem o alto custo associado às tecnologias, como no caso da indústria do cimento, onde o aumento das adições ao cimento e a redução da razão clínquer/cimento apresenta alto custo, uma vez que a adoção dessa tecnologia requer investimentos significativos na adaptação dos processos produtivos, conforme apontado pelo diagnóstico setorial (P2.1). A mesma barreira também foi identificada para o uso de resíduos industriais como combustíveis, como no coprocessamento para a produção de cimento, especialmente nos custos associados à logística e transporte, decorrentes da falta de integração entre as indústrias, o que dificulta a identificação e o aproveitamento dos materiais disponíveis para esse fim.

A captura de carbono na produção de cimento e na siderurgia enfrenta custos operacionais e de investimento elevados. O diagnóstico setorial (P2.1) ressalta que as características territoriais do Brasil agravam esse cenário, uma vez que os custos com transporte e armazenamento do CO₂ capturado tendem a ser altos, especialmente considerando o baixo valor agregado do cimento. Visto que a CCS ainda se encontra em fase de desenvolvimento e, portanto, apresenta baixa maturidade tecnológica, os riscos percebidos na sua



implementação em larga escala são elevados, influenciando negativamente a viabilidade econômica da tecnologia.

De forma semelhante, a eletrificação da siderurgia demanda um volume elevado de investimentos, inclusive em fontes renováveis de eletricidade, o que representa um desafio em regiões industriais com infraestrutura limitada. Quando comparado a outras regiões do mundo, como o Oriente Médio, o custo do gás natural no Brasil é significativamente mais alto, o que compromete a viabilidade da tecnologia de redução direta a gás natural (RD-GN) (BNDES, 2024b). Da mesma forma, os custos associados à infraestrutura necessária e à produção de hidrogênio verde continuam elevados em relação aos combustíveis fósseis (OLIVEIRA, 2022).

Para apoiar o entendimento das barreiras financeiras existentes, foi realizada uma análise técnica baseada nos resultados obtidos no produto P2.3 (Necessidades e oportunidade de investimento – parte 1) para a Curva de Custo Marginal de Abatimento (MACC), a qual permite comparar tecnologias segundo seu custo por tonelada de CO₂e evitada³.

As tecnologias com maiores barreiras financeiras são:

- substituição de combustíveis em outras indústrias⁴: VPL negativo de R\$ 13,20 bilhões e custo marginal de R\$ 320,75/tCO₂e;
- captura e armazenamento de carbono na produção de cimento: VPL negativo de R\$ 6,15 bilhões e custo marginal de R\$ 1.430,89/tCO₂e;
- substituição de combustíveis na mineração: VPL negativo de R\$ 3,31 bilhões e custo marginal de R\$ 426,01/tCO₂e;

A substituição de combustíveis, nos dois casos acima, refere-se ao aumento do uso de combustíveis alternativos de baixa emissão, tais como a eletricidade, a biomassa e o biometano.

³ No contexto da MACC, o custo marginal de abatimento de uma tecnologia é obtido a partir do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), que representa a soma dos fluxos de caixa futuros, positivos e negativos, trazidos a valor presente por meio de uma taxa de desconto anual. Para tecnologias que apresentam VPL negativo e, consequentemente, custo marginal de abatimento positivo, os custos superam os benefícios econômicos ao longo do tempo e, mesmo na hipótese de redução significativa das emissões, elas apresentam maiores barreiras financeiras. Por outro lado, soluções tecnológicas com VPL positivo e custo marginal de abatimento negativo possuem potencial de gerar algum ganho financeiro para seus implementadores, seja por meio de redução de custo, seja por geração de receita adicional.

⁴ Outras indústrias se referem às indústrias não enquadradas nos grupos ferro-gusa e aço, ferroligas, cimento, mineração e química.



Já as tecnologias de melhor relação custo-benefício, ou seja, que combinam custo marginal negativo e VPL positivo são as seguintes:

- eficiência energética na indústria química: VPL de R\$ 0,78 bilhões e custo marginal negativo de R\$ 1.206,61/tCO_{2e};
- eficiência energética na mineração: VPL de R\$ 0,39 bilhões e custo marginal negativo de R\$ 154,08/tCO_{2e};
- eficiência energética na produção de cimento: VPL de R\$ 0,63 bilhões e custo marginal negativo de R\$ 128,13/tCO_{2e}.

Entre os entraves financeiros, destaca-se o alto custo de implementação de tecnologias como a substituição de combustíveis fósseis por biometano ou carvão vegetal, que exigem investimentos significativos na aquisição de equipamentos, na infraestrutura de transporte e na adaptação de processos industriais, conforme evidenciado acima pelo VPL negativo e alto custo marginal estimado para essas tecnologias. Os custos associados à troca e adaptação de equipamentos, somados aos elevados custos logísticos com coleta, transporte e armazenamento de grandes volumes de biomassa, representam barreiras importantes para sua utilização (DE OLIVEIRA, 2024).

Mesmo nas tecnologias que apresentam elevado custo-benefício, como as medidas de eficiência energética, observa-se que os elevados investimentos iniciais necessários para a substituição de equipamentos por alternativas mais modernas e mais eficientes também são um entrave à sua ampla adoção. Esse custo é ainda mais expressivo em plantas industriais antigas, que demandam ampla modernização, muitas vezes inviável do ponto de vista econômico sem um aumento significativo da produção. Nesse contexto, o diagnóstico setorial (P2.1) aponta para a elevação desses custos devido à necessidade de importação de equipamentos, encarecidos por tarifas e pela variação cambial muitas vezes desfavorável, além da dificuldade no acesso a crédito.

O diagnóstico setorial (P2.1) também ressalta que instituições como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), por exemplo, disponibilizam linhas voltadas à eficiência energética, com foco na eficiência elétrica, o que por si só não traz uma redução significativa de emissões, devido ao perfil da matriz elétrica brasileira.

Barreiras informacionais

No grupo das barreiras informacionais se destacam a falta de informação sobre os riscos e benefícios da captura e armazenamento de carbono, alimentada por desconfiças em relação à segurança e eficiência da prática.



Barreiras institucionais

No campo institucional, há a percepção de que o funcionamento, as necessidades e as capacidades do setor industrial não são suficientemente compreendidas ou disseminadas entre os agentes públicos. Esse aspecto é particularmente relevante no caso das tecnologias de eficiência energética, em que se destaca a escassez de profissionais qualificados para pesquisa, avaliação de processos e desenvolvimento de soluções voltadas à melhoria do consumo de energia.

Barreiras culturais e sociais

As barreiras culturais e sociais identificadas para a indústria estão associadas às tecnologias não incluídas na MACC, especificamente, a fusão redutora para produção de aço e redução do minério de ferro por eletrólise. As barreiras se referem ao ceticismo e à resistência identificados na cadeia produtiva, que são decorrentes da percepção de que essas tecnologias ainda apresentam elevado grau de incerteza técnica e econômica, custos superiores e riscos que podem comprometer a competitividade (CNI, 2024).



MAPEAMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EM VIGOR

Este capítulo apresenta o mapeamento das principais políticas públicas vigentes para o setor de indústria, em Minas Gerais, voltadas à transição climática e para a atração de investimentos de baixo carbono. Após a identificação das principais barreiras à implementação das tecnologias contempladas nos cenários de descarbonização e na MACC, compreende-se que a superação desses desafios está fortemente condicionada à capacidade de articulação e cooperação entre os diversos atores envolvidos, tanto do setor público quanto do setor privado.

As condições para uma ação conjunta e coordenada entre os diversos agentes resultam de múltiplos fatores, entre os quais se destaca o arcabouço regulatório e os instrumentos de políticas públicas. Esses elementos são fundamentais para estruturar e organizar um ambiente favorável à realização dos investimentos necessários ao cumprimento das trajetórias previstas nos cenários de descarbonização do estado.

Para os fins deste estudo, as políticas públicas mapeadas são compreendidas como instrumentos que organizam os arranjos institucionais de implementação das tecnologias, orientando e condicionando as interações entre os atores (PIRES; GOMIDE, 2014). Segundo essa abordagem, a capacidade de implementação não é um recurso fixo ou estático. Ao contrário, ela é moldada pelos mecanismos que regulam os arranjos institucionais, ou seja, pelas “regras do jogo” materializadas por regulações, dispositivos normativos e políticas de incentivo, entre outros mecanismos. A depender da configuração desses instrumentos, certas capacidades podem ser ativadas, enquanto outras podem ser desmobilizadas (PIRES; GOMIDE, 2021).

Por exemplo, em um arranjo envolvendo fundos estaduais que financiam projetos de descarbonização e municípios responsáveis por sua implementação, os instrumentos adotados influenciam diretamente a forma como os atores se posicionam e mobilizam recursos estratégicos, o que, por sua vez, resulta em diferentes padrões de desempenho. Nesse contexto, políticas de repasse que estabelecem critérios excessivamente rigorosos de elegibilidade e monitoramento, embora desejáveis do ponto de vista da conformidade no uso de recursos públicos, podem gerar efeitos adversos. Entre eles, destaca-se a não execução dos recursos disponíveis, decorrente da dificuldade das administrações públicas subnacionais em atender a todas as exigências normativas. Esse cenário é comum em investimentos de grande porte tanto no Brasil (GOMIDE; PEREIRA, 2018) quanto em outros países da América Latina (FRANK; MARTÍNEZ-VÁSQUEZ, 2016).



Portanto, dispor de uma visão panorâmica dos principais elementos que compõem o ambiente institucional é um dos primeiros passos para compreender as lacunas que dificultam o enfrentamento das barreiras identificadas no capítulo anterior.

O levantamento foi estruturado a partir de uma abordagem multidimensional para o setor de indústria. Para cada política identificada, foram analisados os seguintes eixos:

- caracterização da política;
- caracterização do instrumento;
- aspectos econômico-financeiros;
- aspectos temáticos e tecnológicos relacionados à redução de emissões de GEE.

O mapeamento teve como ponto de partida as referências utilizadas nos diagnósticos setoriais desenvolvidos no âmbito do diagnóstico setorial (P2.1). A partir dessas referências iniciais, foi conduzida uma busca ativa por documentos normativos, planos, programas, diretrizes e políticas públicas disponíveis em fontes como sites institucionais de órgãos governamentais federais e estaduais, centros de pesquisa e outras plataformas relevantes. Esse processo foi facilitado pela recorrência de referências cruzadas nos próprios documentos analisados, o que permitiu ampliar o escopo das políticas mapeadas. Ainda que o esforço de levantamento tenha buscado representar de forma abrangente o conjunto de normas e instrumentos com potencial de influenciar direta ou indiretamente a implementação das tecnologias previstas nos cenários de descarbonização, a alta complexidade e diversidade de cadeias produtivas e tecnologias envolvidas torna inviável, no escopo deste estudo, uma identificação exaustiva das políticas existentes, bem como uma análise aprofundada e detalhada de cada uma delas.

O objetivo, portanto, é oferecer um panorama geral que sirva de base para a formulação de diretrizes e recomendações estratégicas voltadas à implementação do *roadmap* proposto pelo projeto Rota. Nesse sentido, a identificação de grandes tendências e padrões mais claramente observáveis nas políticas públicas analisadas constitui um subsídio relevante para orientar a atuação dos atores estatais na construção de um ambiente institucional mais habilitador, tanto para a atração de capital quanto para a execução dos projetos financiados.

Com o intuito de organizar a análise em meio ao elevado número de políticas identificadas, foi proposta uma classificação tipológica com base nas categorias e critérios definidos no Quadro 3.



Quadro 3: Classificação das políticas mapeadas

| Classificação | Categorias | Descrição |
|---------------------|---------------------------|---|
| Âmbito da Política | Federal | Políticas elaboradas pelos poderes Executivo e Legislativo da União, com abrangência e aplicação em todo o território nacional. |
| | Estadual | Políticas elaboradas pelos poderes Executivo e Legislativo do estado de Minas Gerais, com abrangência e aplicação em todo o território estadual. |
| | Municipal | Políticas planejadas e executadas pelos poderes Executivo e Legislativo de municípios do estado de Minas Gerais, direcionadas a atender as necessidades locais. |
| Tipo de instrumento | Políticas Estruturantes | Políticas que estão associadas ao estabelecimento de bases para outras políticas, organizando e fortalecendo instituições e capacidades. |
| | Políticas Regulatórias | Políticas por meio das quais o Estado estabelece regras para o funcionamento das atividades produzidas externamente a ele. |
| | Políticas Distributivas | Políticas que envolvem a distribuição de recursos não finitos, destinados a grupos específicos. Possuem natureza pouco conflitante. |
| | Políticas Redistributivas | Políticas que envolvem a distribuição de recursos finitos, de natureza intrinsecamente |



| | | |
|---------------------------------------|--|---|
| | | conflitante, visto que os ganhos de um grupo representam perdas para outros grupos. |
| Etapa ou Ciclo | Formulação | Etapa de definição de objetivos, diretrizes e estratégias, incluindo a elaboração de planos, programas e instrumentos normativos. |
| | Implementação | Etapa de execução das atividades planejadas, incluindo a mobilização de recursos e acompanhamento de resultados alcançados. |
| Abrangência da Política na tecnologia | Diretamente | A política define metas, ações, regula ou financia programas que promovem a adoção ou uso da tecnologia |
| | Indiretamente | A política cria ambiente ou condições favoráveis à tecnologia, sem incentivá-la diretamente. |
| Alinhamento Orçamentário | Há previsão de recursos | Política, programa ou ação tem recursos previstos e alocados no PPA (Plano Plurianual) ou LOA (Lei Orçamentária Anual) |
| | Não há previsão de recursos | Não existe previsão no PPA ou LOA de recursos orçamentários específicos para a execução das atividades planejadas. |
| | Não envolve aplicação direta de recursos | Política, programa ou ação não demanda recursos orçamentários para serem executadas. |
| Instrumento Econômico-Financeiro | Política Fiscal | Trata de incentivos fiscais, subsídios, isenções e outras formas de incentivo que envolvam a arrecadação de tributos. |



| | | |
|--|-----------------------|---|
| | Política Orçamentária | Trata da alocação direta de recursos públicos para execução das atividades previstas. |
|--|-----------------------|---|

Fonte: Elaboração própria.

As políticas mapeadas neste estudo foram classificadas em seis grupos, cada um acompanhado de suas respectivas categorias. Essas classificações são detalhadas a seguir:

Classificação 1: essa classificação refere-se ao âmbito da política, refletindo a esfera de atuação e as competências definidas pela Constituição Federal de 1988. No nível federal, foram agrupadas as políticas que estabelecem ou definem planos, programas e estratégias de abrangência nacional, com aplicação dispersa no território brasileiro. No nível estadual, foram incluídas as políticas cuja aplicação é restrita ao estado de Minas Gerais e que foram desenhadas por seus próprios órgãos governamentais.

Algumas das políticas listadas nessa categoria foram estabelecidas primeiramente em âmbito estadual, antes da criação de políticas correspondentes pela União. É o caso da Política Estadual de Resíduos Sólidos, criada pela Lei Estadual nº 18.031, de 13 de janeiro de 2009, cuja versão nacional foi estabelecida pela Lei Federal nº 12.308, de 02 de agosto de 2010. Nesse sentido, é importante destacar que as versões estaduais de leis e políticas públicas não podem contrariar o disposto na legislação federal correspondente, sendo permitida apenas a ampliação de seu escopo ou o estabelecimento de restrições adicionais. Por fim, algumas políticas mapeadas desenvolvem-se no âmbito municipal e foram incluídas neste levantamento devido ao seu potencial de replicabilidade, tanto por outros municípios de Minas Gerais quanto como referência para a eventual formulação de uma política estadual equivalente.

Classificação 2: essa classificação adotada diz respeito ao tipo do instrumento empregado, seguindo a classificações usuais da área de políticas públicas (LOWI, 1972; MARQUES; FARIA, 2013). As políticas então foram agrupadas nas seguintes categorias, com as devidas adaptações para este estudo:

- políticas estruturantes;
- políticas regulatórias;
- políticas distributivas;
- políticas redistributivas.

As políticas estruturantes, conceitualmente próximas das políticas constitutivas, estão associadas à criação e transformação das regras mais gerais do jogo político. São responsáveis por organizar competências, atribuições e diretrizes amplas que conferem



autoridade e sustentação a políticas mais específicas. Essas políticas se caracterizam por seu potencial de influenciar, de forma estrutural e de longo prazo, a dinâmica de distribuição de recursos. Entre seus efeitos, destaca-se a capacidade de redefinir critérios de elegibilidade e acesso a outras políticas públicas.

A segunda tipologia contempla as políticas regulatórias, introduzidas pelo poder público com o objetivo de estabelecer normas, padrões ou regras para o funcionamento de atividades conduzidas por terceiros, ou ainda para criar incentivos e induzir determinados comportamentos.

Já as políticas distributivas, por sua vez, envolvem a mobilização de recursos considerados não finitos ou ilimitados em direção a grupos específicos. Nesse tipo de política, os resultados tendem a configurar jogos de soma positiva, em que os ganhos de um grupo não implicam perdas para outros.

Por fim, as políticas redistributivas referem-se à alocação de recursos escassos, transferidos de um grupo para outro, caracterizando jogos de soma zero. Nesse caso, os ganhos obtidos pelos beneficiários representam, necessariamente, perdas para outros atores. Essa característica confere às políticas redistributivas um potencial de conflito mais elevado quando comparadas às distributivas (MARQUES; FARIA, 2013).

Classificação 3: essa classificação refere-se à análise da etapa ou ciclo em que se encontra cada política pública mapeada. Em termos gerais, o ciclo de políticas públicas é tradicionalmente dividido em cinco fases:

- identificação do problema ou formação da agenda;
- formulação da política;
- tomada de decisão;
- implementação;
- avaliação.

Neste estudo, adotou-se uma abordagem simplificada, com a utilização de apenas duas categorias: formulação e implementação. Essa escolha baseia-se na percepção de que nem sempre é possível enquadrar uma política pública de forma exclusiva em uma única etapa do ciclo. Diversos autores, como HOWLETT (2013) e MARQUES; FARIA (2013), destacam que o ciclo de políticas públicas funciona como um modelo analítico simplificado, útil para fins de compreensão e organização do processo, embora não represente com precisão a complexidade e a interconexão que marcam as diferentes fases da política na realidade.

Dessa forma, as etapas de formação de agenda e formulação foram agrupadas em uma única categoria, de modo a abranger tanto políticas em fase de discussão interna em órgãos públicos, como ministérios, secretarias e agências, quanto aquelas já formalizadas como



projetos de lei e em tramitação nas casas legislativas. Do mesmo modo, as etapas de implementação, monitoramento e avaliação foram reunidas, considerando-se que, uma vez em execução, as políticas públicas costumam passar por processos contínuos de acompanhamento, o que dificulta a distinção clara entre essas fases.

A etapa de formulação diz respeito ao processo político-administrativo de criação de soluções para problemas públicos. Essa fase não está restrita a um único ator, sendo comum a atuação simultânea de múltiplos agentes na construção de propostas que convergem para resultados comuns. Em alguns casos, inclusive, a formulação pode ocorrer mesmo sem uma definição precisa do problema a ser enfrentado. A implementação, por sua vez, corresponde à etapa em que esforços, conhecimentos e recursos são mobilizados para colocar a política pública em prática e alcançar seus objetivos (HOWLETT, 2013).

Classificação 4: essa classificação refere-se à abrangência da política e teve como objetivo identificar se a intervenção da política pública nas tecnologias avaliadas é central ou secundária. Para isso, foram adotadas duas categorias: direta, quando a política busca regular, incentivar, financiar ou estabelecer mecanismos voltados especificamente à implementação de determinada tecnologia; e indireta, quando a tecnologia é abordada de forma mais genérica ou tangencial, beneficiando-se pontualmente de condições favoráveis criadas por políticas mais amplas ou de incentivos cruzados.

Classificação 5: essa classificação trata do alinhamento orçamentário das políticas públicas. Para essa análise, foram realizadas buscas nas principais peças orçamentárias: o Plano Plurianual (PPA) 2024-2027, no âmbito da União, e o Plano Plurianual de Ação Governamental (PPAG) 2024–2027 e a Lei Orçamentária Anual (LOA) de 2025, ambos do estado de Minas Gerais. Com base nesses documentos, definiram-se três categorias:

- há previsão de recursos: quando a política ou programa está formalmente incorporado nas peças orçamentárias, com recursos identificados para sua execução;
- não há previsão de recursos: quando não foram localizados programas, ações ou subações aderentes à política mapeada;
- não envolve aplicação direta de recursos: nos casos em que a execução das atividades previstas independe de alocação orçamentária específica.

Classificação 6: essa classificação busca identificar o instrumento econômico-financeiro associado à execução da política. A política fiscal, tradicionalmente definida como o campo de atuação governamental voltado à arrecadação de tributos e à execução de gastos públicos (GADELHA, 2017), foi aqui detalhada em duas categorias distintas:

- política fiscal: restrita às ações que envolvem incentivos fiscais, subsídios ou isenções tributárias;



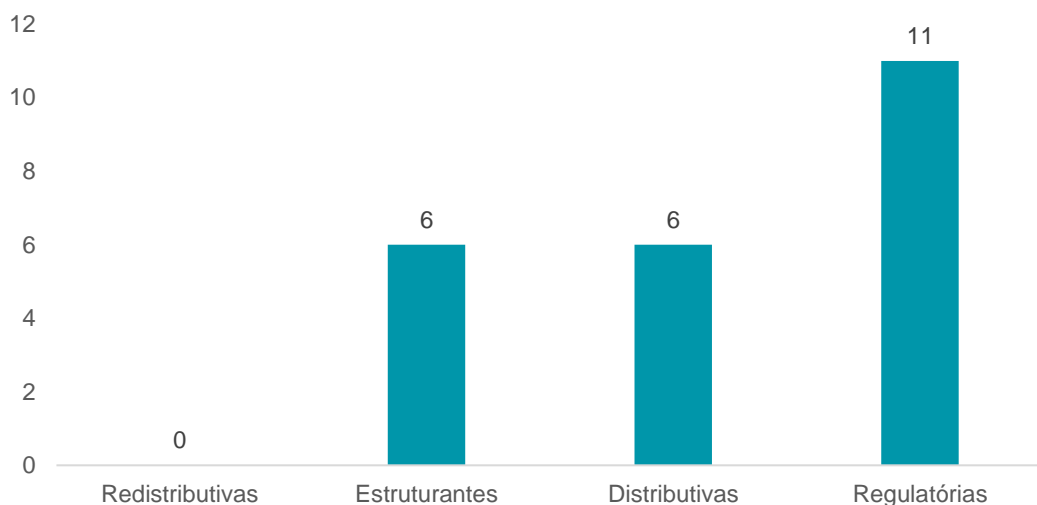
- política orçamentária: abrange os dispêndios públicos destinados à execução direta de políticas por meio da alocação de recursos orçamentários.

Com base nos critérios adotados para cada uma dessas classificações, foi possível sistematizar as informações sobre as políticas públicas mapeadas, permitindo um aprofundamento analítico e uma organização clara das iniciativas, conforme apresentado a seguir.

Análise das políticas públicas

A consolidação das políticas para o setor industrial resultou em um total de 23 iniciativas, que configuram um arranjo institucional predominantemente centrado em esforços regulatórios, mas que também conta com incentivos econômicos e fiscais e políticas estruturantes, como demonstrado na Figura 2.

Figura 2: Distribuição do número de políticas mapeadas por tipo de instrumento – Indústria



Fonte: Elaboração própria.

Entre as políticas mapeadas para o setor industrial, observa-se a predominância de instrumentos regulatórios, seguidos pelos distributivos e estruturantes. Não foram identificadas políticas redistributivas para o setor. Esse padrão indica uma atuação governamental voltada à criação de marcos legais e institucionais que estabeleçam regras claras para os agentes econômicos, em resposta à necessidade de orientar a transição para práticas industriais mais sustentáveis.

Um exemplo é a Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde (Lei Estadual nº 24.940/2024), que estrutura as bases legais e técnicas para a produção e uso do hidrogênio de baixo carbono, com o objetivo de diversificar e descarbonizar a matriz



energética estadual. Outro exemplo é a Resolução CONAMA nº 499/2020, que regulamenta o licenciamento do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Essa norma estabelece limites de emissão de poluentes e viabiliza o uso de resíduos urbanos e agropecuários como combustíveis alternativos, promovendo sua destinação ambientalmente adequada.

A predominância de instrumentos regulatórios no setor pode ser interpretada como reflexo de uma estratégia governamental voltada à normatização e ao controle direto das práticas produtivas com alto impacto ambiental. Esse tipo de instrumento tende a ser utilizado quando há necessidade de se estabelecer padrões mínimos de desempenho, como no caso da regulamentação do coprocessamento de resíduos ou da captura e armazenamento de carbono.

A relevância dos instrumentos distributivos e estruturantes no setor, que juntos representam um pouco mais da metade das políticas mapeadas, revela uma estratégia governamental que busca, simultaneamente, consolidar a base normativa e técnica para a transição energética e estimular mudanças imediatas no comportamento do setor produtivo, em uma tentativa de articular incentivos ao planejamento institucional.

Os instrumentos distributivos, por sua natureza, tendem a ser politicamente mais viáveis, pois oferecem benefícios tangíveis, tais como financiamentos, subsídios ou apoio técnico, sem impor custos diretos equivalentes. Um exemplo é o PATEN (Programa de Aceleração da Transição Energética), por meio da Lei Federal nº 15.103/2025, que utiliza créditos de pessoas jurídicas com a União⁵ como mecanismo de financiamento, conectando empresas e financiadores em torno de projetos sustentáveis.

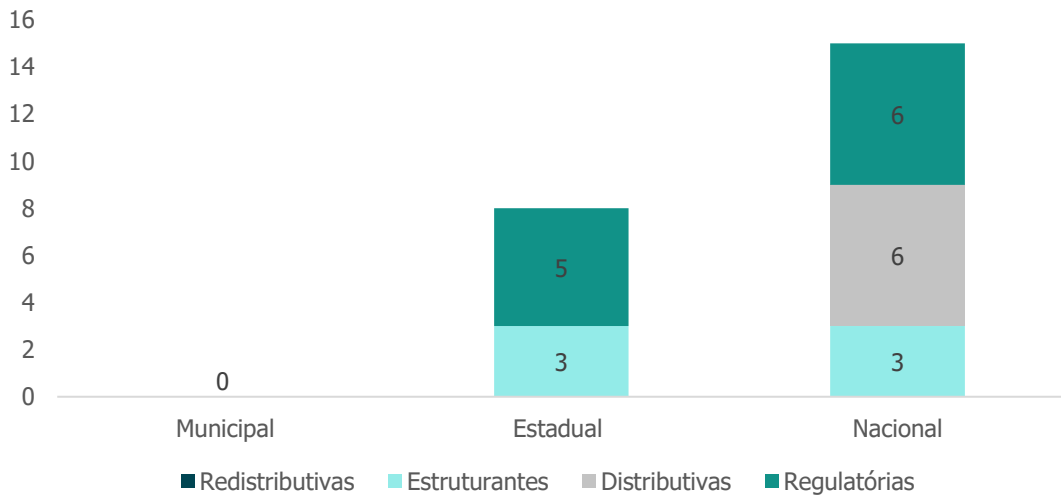
Já os instrumentos estruturantes refletem iniciativas voltadas à organização institucional e ao planejamento de longo prazo. Embora menos numerosos, esses instrumentos são essenciais para garantir a coerência, a previsibilidade e a continuidade das ações governamentais. No setor industrial, isso se traduz em estratégias de longo prazo que exigem coordenação intersetorial, produção de conhecimento técnico e integração com políticas econômicas e de inovação. A Resolução CNPE nº 3/2022, por exemplo, estabelece diretrizes estratégicas para o novo mercado de gás natural, promovendo a concorrência e a harmonização regulatória entre os entes federativos, uma etapa necessária para potencializar investimentos e ampliar o uso do gás como vetor de transição.

⁵ Créditos detidos por pessoas jurídicas de direito privado perante a União, conforme a Lei nº 15.103/2025, incluem precatórios, direitos creditórios e créditos tributários reconhecidos, que podem ser utilizados como ativos para integralização no Fundo Verde e conversão em garantias para financiamento de projetos sustentáveis.



Entre as políticas mapeadas para o setor industrial, há uma predominância de políticas nacionais em relação às estaduais. Não foram identificadas políticas municipais para o setor, conforme destacado na Figura 3.

Figura 3: Distribuição do tipo de instrumento por âmbito da política – Indústria



Fonte: Elaboração própria.

A diversidade na tipologia das políticas entre os níveis nacional e estadual reflete as diferentes capacidades institucionais e competências legais de cada esfera. No âmbito federal, observa-se um equilíbrio entre instrumentos de indução econômica e regulação normativa, o que pode ser atribuído à capacidade da União de mobilizar grandes volumes de recursos e estabelecer diretrizes com efeito vinculante em todo o território nacional. Essa combinação permite ao governo federal tanto atrair investimentos e fomentar inovação, quanto estabelecer regras estruturantes para setores estratégicos. Um exemplo dessa abordagem é a Lei nº 14.134/2021, regulamentada pelo Decreto nº 10.712/2021, que operacionaliza o mercado de gás natural no país, promovendo a abertura do setor à concorrência e garantindo segurança jurídica para novos agentes, condição essencial para a expansão da infraestrutura e a diversificação da matriz energética no país.

No campo dos instrumentos distributivos, destaca-se a Política Nova Indústria Brasil, que prevê R\$ 300 bilhões em investimentos até 2026. Essa política atua como catalisadora da modernização, digitalização e descarbonização da indústria nacional, ao oferecer uma combinação de financiamentos, recursos não reembolsáveis e participações acionárias. Espera-se, com isso, a elevação da competitividade industrial brasileira, com ganhos em produtividade e sustentabilidade.

Já no nível estadual, a predominância de instrumentos regulatórios indica um esforço voltado à normatização de práticas locais, muitas vezes em articulação com diretrizes federais. O



programa Minas Recicla Energia exemplifica essa abordagem, pois trata-se de um projeto piloto que visa transformar resíduos da coleta seletiva em combustível alternativo para a indústria cimenteira. Ao mesmo tempo em que promove a valorização energética de resíduos, o programa busca gerar evidências técnicas para a criação de uma certificação nacional de Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU). Essa iniciativa está inserida na Política Estadual de Resíduos Sólidos (Decreto nº 45.181/2009), que estabelece diretrizes para a gestão integrada de resíduos em Minas Gerais, e se conecta com os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), evidenciando a interdependência entre os níveis de governo na construção de soluções sustentáveis.

Foram identificadas três políticas estruturantes para o estado de Minas Gerais. A primeira é o PDMG, que buscou fornecer as bases técnicas para subsidiar a elaboração do PLAC-MG, por meio de cenários e projeções setoriais de mitigação. A segunda é o PESB-MG (Plano Estadual de Saneamento Básico) que, embora não esteja diretamente relacionado ao tema de gestão de resíduos e seu aproveitamento energético na indústria, foi mapeado por seu potencial de, em futuras revisões, incorporar essa perspectiva, ampliando a sinergia entre as políticas de saneamento e o setor industrial. A terceira é o PLAC-MG, que prevê ações específicas de fomento à eficiência energética e à substituição de combustíveis na indústria e que pode ser compreendida como uma tentativa de mobilizar o setor produtivo por meio de incentivos econômicos, complementando os esforços regulatórios e estruturantes com instrumentos de indução direta.

O grau de maturidade das políticas pode ser avaliado a partir de uma combinação da etapa do ciclo em que cada iniciativa se encontra e a existência de previsão orçamentária explícita.

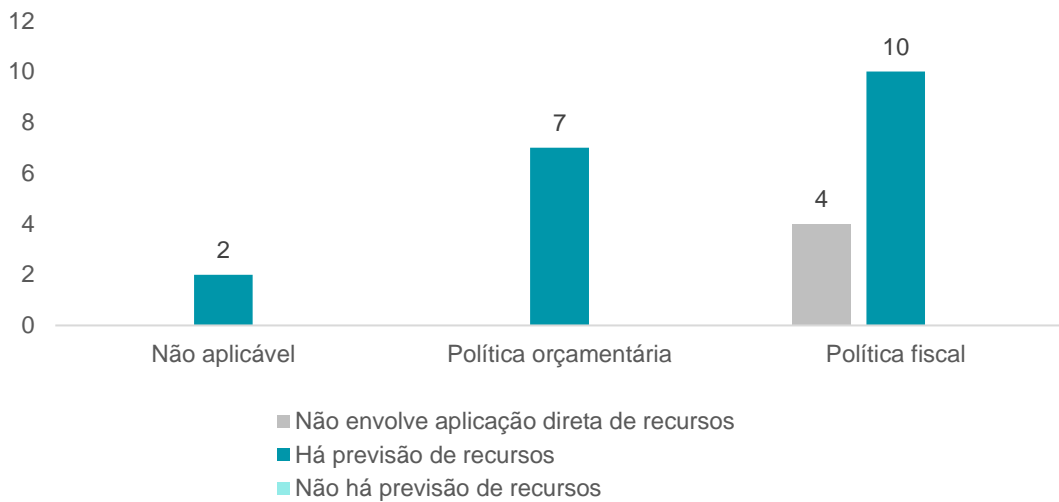
No que tange ao ciclo das políticas mapeadas, foram identificadas 22 iniciativas em implementação e uma cuja classificação não é aplicável. A política cuja classificação não é aplicável é o Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia, uma iniciativa nacional com vigência entre 2011 e 2020, que buscou incentivar a redução de emissões na siderurgia, promovendo o uso de biomassa em substituição ao carvão mineral.

Por ter sido concluída, sua classificação no ciclo atual não se aplica. Ainda assim, cabe destacar que sua inclusão se justifica pelo seu papel estratégico na institucionalização da agenda de descarbonização da indústria siderúrgica no Brasil, configurando-se como referência normativa e histórica para o desenvolvimento de instrumentos futuros.

Quanto ao alinhamento orçamentário, a maioria das políticas mapeadas possui previsão de recursos, distribuídos entre dotações orçamentárias diretas, fundos climáticos e linhas de crédito subsidiadas, conforme observado na Figura 4.



Figura 4: Distribuição do tipo de instrumento e previsão de recursos – Indústria



Fonte: Elaboração própria.

As políticas que não envolvem a aplicação direta de recursos são:

- Resolução CNPE nº 1/2023: estabelece o Grupo de Trabalho do Programa Gás para empregar a elaboração de estudos visando à promoção do melhor aproveitamento do gás natural produzido no Brasil;
- PDMG: fornece as bases técnicas para o PLAC-MG por meio de cenários setoriais de mitigação;
- Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia: iniciativa nacional com vigência entre 2011 e 2020, que buscou incentivar a redução de emissões na siderurgia;
- Resolução CONAMA nº 499/2020: dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.

Observa-se que esses instrumentos são, em sua maioria, de natureza estruturante ou regulatória, ou, ainda, já encerraram seu período de vigência. Por essa razão, não demandam alocação direta de recursos financeiros, considerando suas finalidades normativas, orientadoras ou de articulação institucional. Por sua vez, não foram mapeadas políticas sem previsão explícita de recursos.

No que se refere à classificação econômico-financeira, mais da metade das políticas são classificadas como políticas fiscais, enquanto seis se classificam como orçamentárias e duas não se enquadram nessa categorização, como o Decreto Estadual nº 45.181/2009, que regulamenta a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e a Resolução SEDE nº 32/2021, que propõe a revisão do Mercado Livre de Gás em Minas Gerais. Ambas não envolvem diretamente arrecadação, despesa pública ou planejamento orçamentário, o que justifica sua não aplicabilidade.



As políticas fiscais incluem instrumentos como o Programa Nova Indústria Brasil, o PATEN e a Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde, que mobilizam mecanismos de investimentos e incentivos governamentais para estimular o setor produtivo. A predominância desse tipo de política revela uma dependência significativa de instrumentos fiscais com algum grau de previsão orçamentária, o que pode ser interpretado como uma resposta do governo à necessidade de induzir comportamentos mais sustentáveis no setor privado por meio de estímulos econômicos.

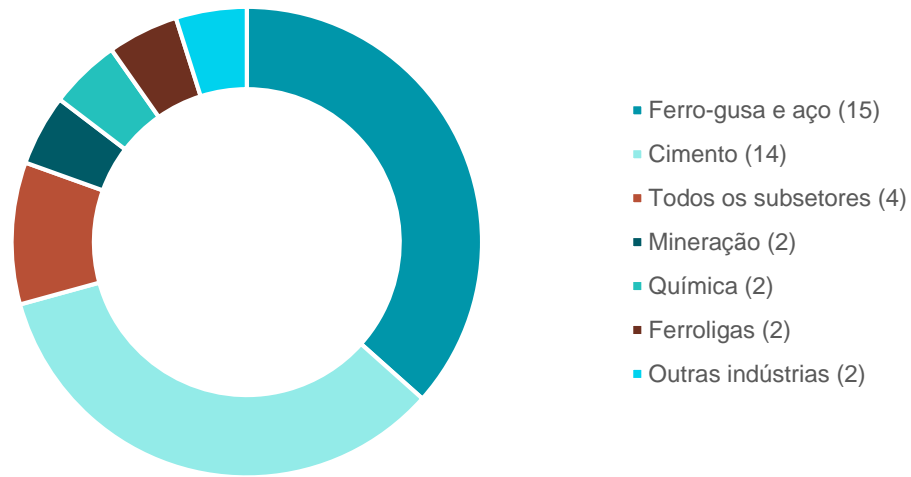
Embora eficazes para fomentar ações pontuais, políticas baseadas em incentivos fiscais e orçamentários estão sujeitas a limitações de continuidade e previsibilidade, especialmente em contextos de restrição fiscal. A limitação de fontes alternativas de financiamento e a baixa articulação com estratégias orçamentárias de longo prazo podem reduzir a sustentabilidade financeira das políticas públicas a longo prazo. Ainda assim, a combinação de instrumentos regulatórios, estruturantes e distributivos indica um esforço de construção institucional que, se bem coordenado, pode fortalecer a governança climática e energética no médio e longo prazo.

No que diz respeito às tecnologias de mitigação para o setor, ressalta-se que uma mesma política pode estar associada a mais de uma tecnologia. Das 23 políticas identificadas para o setor, seis são aplicáveis a mais de uma tecnologia. Levando isso em conta, apresenta-se na sequência o número de políticas por subsetor da indústria a que se aplicam as tecnologias, totalizando 41 ocorrências.

Destaca-se a predominância das políticas voltadas para os subsetores de Cimento e de Ferro-gusa e Aço. Para os demais subsetores, foram identificadas duas políticas em cada. Além disso, quatro políticas foram mapeadas com influência em todos os subsetores industriais trabalhados, como detalhado na Figura 5.



Figura 5: Distribuição do número de políticas por subsetor – Indústria



Fonte: Elaboração própria.

No subsetor de ferro-gusa e aço, destacam-se as políticas voltadas para as tecnologias de redução direta a gás natural e a hidrogênio, com quatro políticas cada. Esse padrão sugere uma estratégia de transição dual em que, de um lado, o uso do gás natural é utilizado como vetor de descarbonização mais imediato e, de outro, há o incentivo ao desenvolvimento de tecnologias emergentes, como o hidrogênio, com potencial de longo prazo para a neutralidade climática do setor.

Em cimento, observa-se uma concentração de nove políticas voltadas à substituição de combustíveis. Isso indica uma tentativa de reduzir as emissões do setor por meio da mudança da matriz energética, com destaque para o coprocessamento de resíduos como alternativa ao uso de combustíveis fósseis. Essa abordagem também contribui para a gestão de resíduos sólidos, gerando sinergias com políticas ambientais e de economia circular.

As iniciativas que se relacionam a todos os subsetores, por sua vez, incluem o PATEN, a Política Nova Indústria Brasil, o PLAC-MG e o Programa PotencializEE. Essas políticas atuam de forma integrada sobre o setor industrial como um todo, oferecendo instrumentos de fomento, planejamento e inovação tecnológica. Dentre essas, destaca-se o Programa PotencializEE, que, apesar de atuar especificamente no estado de São Paulo, conta com financiamento internacional e múltiplos doadores, revelando um esforço do governo em diversificar fontes de financiamento e integrar políticas locais a mecanismos globais de apoio à mitigação climática, o que poderia ser replicado no estado de Minas Gerais.

Foi possível observar que a maioria das políticas mapeadas para os segmentos industriais está diretamente relacionada a tecnologias específicas, sendo apenas oito associadas de forma indireta. Entre as indiretas, quatro se referem à substituição de combustíveis no setor



de cimento, como a Política Nacional de Saneamento Básico, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a Política Estadual de Resíduos Sólidos e o Plano Estadual de Saneamento Básico. Embora voltadas à regulação do setor de resíduos, essas políticas podem influenciar indiretamente o coprocessamento na indústria cimenteira, ao viabilizar o uso de resíduos como combustível alternativo.

Ainda entre as indiretas, a Lei Federal nº 14.134/2021 e a Resolução SEDE nº 32/2021 tratam da regulação do mercado de gás natural em nível federal e estadual, respectivamente. Ambas têm potencial de impactar o setor de siderurgia, ao ampliar a oferta e o acesso a fontes energéticas menos intensivas em carbono.

Como síntese geral, a partir das políticas mapeadas e das análises realizadas, observa-se que:

- o conjunto de políticas analisado revela um avanço importante na institucionalização da agenda de descarbonização industrial, com predominância de instrumentos regulatórios e distributivos. Essa configuração reflete, por um lado, o esforço do Estado em normatizar práticas produtivas e, por outro, em induzir comportamentos sustentáveis por meio de incentivos econômicos. A combinação desses instrumentos sugere uma atuação governamental orientada à viabilização prática da transição energética, com foco em tecnologias já disponíveis e alinhamento com estratégias de mitigação de curto e médio prazo;
- a baixa participação de políticas estruturantes, que geralmente envolvem mecanismos de governança, definição de metas e indicadores de desempenho, pode comprometer a capacidade de coordenação intersetorial e o monitoramento sistemático dos resultados. A ausência desses elementos dificulta a consolidação de uma trajetória de longo prazo, articulada e adaptável, essencial para garantir a efetividade e a continuidade das ações regulatórias e distributivas ao longo do tempo.



TECNOLOGIAS EM FOCO: CONFRONTANDO BARREIRAS E POLÍTICAS

O presente capítulo tem como objetivo analisar, para as tecnologias de redução de emissões, a relação entre as barreiras identificadas, as possíveis soluções mapeadas e as políticas públicas existentes associadas a cada uma dessas tecnologias. A análise tem como foco o mapeamento da capacidade de enfrentamento dessas barreiras por meio de instrumentos políticos já implementados ou em formulação. Dessa forma, busca-se ressaltar lacunas no endereçamento político, ou seja, barreiras que demandariam maiores esforços de formulação e implementação de políticas públicas.

A análise está estruturada por subseções correspondentes às respectivas tecnologias de redução de emissões, distinguindo aquelas listadas e não listadas na MACC.

Tecnologias incluídas na MACC

Cimento

Adições ao clínquer

Essa tecnologia consiste em aumentar o uso de adições e substitutos de clínquer e, com isso, reduzir as emissões associadas a esse processo produtivo. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 38,7 MtCO_{2e} (16% do total estimado para o setor industrial), com custo marginal de abatimento de 14,1 R\$/tCO_{2e} (0,3% de todas as tecnologias com custos positivos no setor industrial). Entretanto, sua viabilização ainda enfrenta barreiras de natureza institucional, tecnológica e político-regulatória, que precisam ser avaliadas e superadas para potencializar sua adoção.

Do ponto de vista institucional, observa-se uma limitação no conhecimento técnico por parte dos governos estaduais sobre o funcionamento da indústria cimenteira. Essa limitação pode restringir a capacidade de formulação de políticas públicas mais alinhadas às especificidades operacionais do setor, especialmente no que se refere à viabilidade técnica e econômica da substituição do clínquer. A ausência de canais estruturados de diálogo entre formuladores de políticas e representantes da indústria tende a resultar em instrumentos que não capturam integralmente a complexidade da cadeia produtiva.

As barreiras tecnológicas estão associadas à restrição na oferta de aditivos como escória de alto-forno e cinzas volantes, que são subprodutos de cadeias produtivas externas ao setor cimenteiro, como a siderurgia. Com a descarbonização progressiva dessas cadeias, há uma



tendência de redução na geração desses resíduos, o que pode comprometer sua disponibilidade como insumos para o cimento. Além disso, existem desafios técnicos relacionados à variabilidade de desempenho de certos aditivos, como os materiais pozolânicos, que podem afetar a qualidade do produto final. A dependência de resíduos industriais externos e a ausência de padronização técnica para novos aditivos tornam essa barreira complexa, exigindo soluções intersetoriais e investimentos em pesquisa aplicada.

No campo regulatório, destaca-se a limitação imposta pela norma ABNT NBR 16697, que restringe a adição de filer calcário ao cimento a no máximo 10%, apesar de seu elevado potencial de mitigação de emissões. Essa restrição normativa pode limitar o aproveitamento de materiais com alto potencial de substituição do clínquer, dificultando a incorporação de alternativas mais sustentáveis.

As políticas públicas que dialogam com essa tecnologia incluem o PDMG, que reconhece a importância da adoção de materiais inovadores na composição cimentícia. Esse plano subsidiou a elaboração do PLAC-MG, que estabelece como meta o aumento do uso de adições e substitutos de clínquer na produção de cimento. Embora essas políticas representem avanços importantes, ainda não detalham os mecanismos operacionais necessários para viabilizar suas metas, o que pode limitar sua efetividade no curto prazo.

Diante desse cenário, algumas estratégias podem ser propostas para enfrentamento das barreiras identificadas. Entre elas, destacam-se o incentivo à pesquisa sobre novos tipos de aditivos, a promoção de parcerias entre indústrias siderúrgicas e cimenteiras para o aproveitamento de escórias não tradicionais, e a criação de bancos de dados que facilitem o intercâmbio de informações sobre resíduos disponíveis. Embora essas soluções estejam em consonância com diretrizes já existentes, ainda demandam um arcabouço normativo e institucional mais robusto para sua plena implementação. A superação das barreiras requer, portanto, uma abordagem integrada, com políticas públicas que articulem os aspectos tecnológicos, regulatórios e institucionais da cadeia produtiva do cimento, criando condições mais favoráveis à inovação e à descarbonização do setor.

Cimento/Ferro-gusa e Aço

Captura e armazenamento de carbono (CCS)

A tecnologia de CCS, incluída tanto no segmento de ferro-gusa e aço quanto no de cimento, tem como objetivo ampliar o potencial técnico-econômico da aplicação de rotas de captura e armazenamento de carbono nos processos industriais. Essa tecnologia apresenta um potencial significativo para a descarbonização do setor, mas, por ser emergente, seu custo ainda representa uma barreira relevante à ampla adoção. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação de CCS no segmento de ferro-gusa e aço resultou em um potencial de mitigação de 10,4 MtCO₂e (4% do total estimado para o setor industrial), com custo marginal



de abatimento de 398,2 R\$/tCO₂e (8,1% de todas as tecnologias com custos positivos no setor industrial). Já a implementação no segmento de cimento resultou em um potencial de mitigação de 4,3 MtCO₂e (1,8% do total estimado para o setor industrial), com custo marginal de abatimento de 1.430,9 R\$/tCO₂e (29% de todas as tecnologias com custos positivos no setor industrial, maior custo dentre os segmentos).

Embora reconhecida como uma solução relevante para a descarbonização de processos industriais intensivos em emissões, sua implementação ainda enfrenta barreiras de natureza regulatória e tecnológica que limitam sua aplicação atualmente no Brasil.

No campo regulatório, observa-se uma lacuna de diretrizes claras para o licenciamento ambiental e para a elaboração dos planos de monitoramento da atividade, além de insegurança jurídica quanto à responsabilidade de longo prazo pelo CO₂ armazenado. Essas lacunas dificultam a criação de um ambiente seguro e previsível para o desenvolvimento da tecnologia no país, gerando incertezas que desestimulam investimentos privados.

Em relação às barreiras tecnológicas, destacam-se a escassez de projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados ao CCS, a ausência de conhecimento detalhado sobre os locais de armazenamento geológico no país, a carência de uma cadeia de fornecedores especializada e os riscos técnicos associados à integridade dos reservatórios e à operação de longo prazo. Como consequência, há baixa atratividade para projetos de CCS, mesmo em setores com alto potencial de aplicação.

Esses desafios estão associados à baixa maturidade da tecnologia no país e à ausência de infraestrutura científica e industrial dedicada ao tema, o que limita a geração de dados técnicos e a consolidação de competências locais. Como consequência, observa-se uma capacidade reduzida de planejamento e execução de projetos piloto, o que dificulta a evolução da tecnologia em escala. A interdependência entre o conhecimento geológico, a engenharia de processo e a estruturação da cadeia produtiva evidencia a necessidade de uma abordagem integrada, capaz de articular esforços em pesquisa, desenvolvimento e infraestrutura para viabilizar o avanço do CCS de forma coordenada e sustentável.

A principal política mapeada que se relaciona a essa tecnologia é a Lei nº 14.993/2024, que estabelece um marco regulatório para a captura e o armazenamento geológico de carbono no Brasil. A lei apresenta definições, diretrizes, critérios e obrigações para os operadores de CCS, mas ainda sem definições sobre o licenciamento, as responsabilidades de longo prazo pelo CO₂ ou a elaboração do plano de monitoramento da atividade.

Outras políticas mapeadas incluem o PATEN, estabelecido pela Lei nº 15.103/2025, que promove a conexão entre financiadores e empresas por meio da utilização de créditos de pessoas jurídicas com a União como forma de financiamento, e o Plano de Descarbonização para o Estado de Minas Gerais, que reconhece o CCS como uma das principais medidas para



a redução de emissões no setor industrial. Esses instrumentos representam avanços institucionais relevantes ao reconhecerem o papel estratégico da tecnologia e ao proporem mecanismos de incentivo e financiamento.

No entanto, ainda há lacunas importantes, como a ausência de políticas específicas voltadas à estruturação da cadeia de fornecedores e à infraestrutura de transporte e armazenamento de CO₂. A falta de detalhamento sobre incentivos econômicos e mecanismos de financiamento também representa um obstáculo à viabilização da tecnologia em larga escala. Assim, embora haja avanços institucionais relevantes, o enfrentamento das barreiras identificadas ainda requer o fortalecimento e a operacionalização das políticas existentes, bem como a formulação de novas iniciativas que abordem os aspectos técnicos e econômicos de forma mais abrangente.

Algumas soluções propostas para essas barreiras são a regulamentação da Lei nº 14.993/2024, além do fomento a investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação específicos para essa tecnologia e da realização de parcerias internacionais e o mapeamento de áreas promissoras para a criação de hubs industriais que promovam a Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono (CCUS). Entretanto, é necessário destacar que a capacidade de ação do governo do estado de Minas Gerais é considerada baixa nesse contexto, dado que a superação dos entraves depende majoritariamente da atuação do governo federal e de articulações em nível nacional, limitando a autonomia do estado para implementar ações diretas e reforçando a importância de uma coordenação federativa eficaz.

Ferro-gusa e Aço

BF-BOF a carvão vegetal

A tecnologia BF-BOF a carvão vegetal, propõe o aumento da participação da rota *Blast Furnace–Blast Oven Furnace* (BF-BOF) com uso de carvão vegetal e biomassa na produção de aço. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 23,5 MtCO₂e (10% do total estimado para o setor industrial) e um custo marginal de abatimento de 243,4 R\$/tCO₂e (4,9% de todas as tecnologias com custos positivos no setor industrial). Apesar de já ser uma rota utilizada na produção de aço e do potencial significativo de redução de emissões, sua expansão ainda enfrenta barreiras relevantes de natureza tecnológica e financeira.

Do ponto de vista tecnológico, os principais desafios estão relacionados à variabilidade na qualidade da biomassa utilizada, como composição química, teor de umidade e propriedades físicas, que exige ajustes constantes nos processos produtivos para garantir a qualidade do aço produzido. Essa instabilidade compromete a eficiência e a consistência dos processos siderúrgicos, tornando a operação menos previsível e mais dependente de controle técnico refinado. Além disso, a adaptação dos altos-fornos convencionais para o uso de biomassa



demanda modificações estruturais significativas, o que representa um obstáculo adicional à adoção da tecnologia. Esses fatores decorrem, em grande parte, da origem não padronizada da biomassa e da concepção original dos equipamentos, voltados ao uso de carvão mineral. Como consequência, há um aumento da complexidade operacional e a necessidade de investimentos em engenharia e pesquisa aplicada.

Em relação à barreira financeira, os custos logísticos associados à coleta, ao transporte e ao armazenamento de grandes volumes de biomassa representam um desafio importante. O gerenciamento de grandes volumes de biomassa exige infraestrutura específica, ainda pouco desenvolvida em muitas regiões. Essa característica eleva os custos operacionais e compromete a competitividade da tecnologia frente às rotas convencionais. A superação dessa barreira demanda investimentos em infraestrutura logística e incentivos econômicos que viabilizem tanto o suprimento contínuo quanto a adaptação tecnológica necessária. Observa-se aqui a interdependência entre os desafios financeiros e tecnológicos, uma vez que a viabilidade da operação com biomassa depende da garantia de fornecimento eficiente e estável.

As políticas públicas mapeadas que abordam essa tecnologia são o Programa Siderurgia Sustentável, desenvolvido no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que incentiva o desenvolvimento de tecnologias voltadas à redução de emissões de gases de efeito estufa, incluindo a utilização de carvão vegetal na indústria de aço e ferroligas. Complementarmente, existe o Subprograma do Fundo Clima dedicado à sustentabilidade e eficiência do carvão vegetal, utilizado para financiar a modernização da produção de carvão vegetal com vistas à mitigação de emissões. Esses instrumentos representam avanços importantes ao reconhecer o papel da biomassa na transição energética da siderurgia, ainda que estejam mais concentrados na etapa de produção do insumo do que na sua aplicação industrial. Como consequência, há maior disponibilidade de recursos para pesquisa e desenvolvimento, mas ainda limitada em termos de abrangência logística e operacional.

Apesar dos avanços, ainda há espaço para o fortalecimento de políticas voltadas à logística da biomassa, que permanece como um dos principais gargalos para a expansão da tecnologia. A ausência de políticas específicas para esse aspecto representa uma lacuna relevante, que pode comprometer a viabilidade econômica da tecnologia caso não seja adequadamente endereçada.

Nesse contexto, o governo do estado de Minas Gerais possui potencial de atuação direta por meio de programas de fomento à inovação, como o Programa Compete Minas, promovido pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SEDE) em parceria com a FAPEMIG. Esse programa oferece financiamento à inovação, pesquisa e desenvolvimento tecnológico em diversos setores, podendo ser mobilizado para apoiar a superação das barreiras identificadas.



Para o componente financeiro, as soluções sugeridas incluem linhas de crédito e fomento à pesquisa para aumento da eficiência no uso de combustíveis alternativos, além de subsídios para aquisição de equipamentos logísticos e incentivo à criação de centros logísticos regionais. Essas medidas podem contribuir para reduzir os custos operacionais e ampliar a viabilidade econômica da tecnologia, desde que articuladas com estratégias de desenvolvimento tecnológico e padronização da biomassa.

Por fim, a construção de soluções integradas, que articulem incentivos à inovação com investimentos em infraestrutura logística, será fundamental para viabilizar a transição da siderurgia para rotas mais sustentáveis.

Forno a arco elétrico (EAF)

A tecnologia de aumento da produção de aço por meio da rota de EAF se baseia no uso de sucata como principal matéria prima e eletricidade como principal fonte de energia. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 23,5 MtCO₂e (9,6% do total estimado para o setor industrial), com um custo marginal de abatimento de 88,1 R\$/tCO₂e (1,8% de todas as tecnologias com custos positivos no setor industrial). Assim como a produção de aço via BF-BOF, a rota EAF também já é utilizada na produção de aço. Porém, sua adoção em larga escala também enfrenta barreiras relevantes – nesse caso, de natureza tecnológica, financeira e regulatória – que influenciam sua competitividade frente às rotas convencionais.

Do ponto de vista tecnológico, o EAF opera a partir do consumo de sucata e minério de ferro, sendo que a ausência de sucata metálica de alta qualidade em volumes suficientes, aliada à necessidade de minério de ferro com alto grau de pureza para reduzir o uso de carvão como agente redutor, representa um desafio relevante. Esses fatores afetam a eficiência operacional e a qualidade do produto final, limitando o desempenho da tecnologia em comparação com rotas mais consolidadas. A superação dessas barreiras requer ações voltadas à promoção da economia circular, como o fortalecimento de normas que favoreçam a reutilização e reciclagem de aço e a criação de bancos de dados sobre resíduos disponíveis, sua localização e características.

Em relação à barreira financeira, a viabilização da eletrificação da siderurgia por meio do EAF demanda grandes volumes de eletricidade renovável a custos competitivos, o que ainda representa um desafio no Brasil, especialmente em regiões industriais com infraestrutura limitada. Possíveis soluções para esse cenário incluem a adoção de tarifas diferenciadas para o uso de energia renovável, a revisão das regras de garantia física para usinas e a expansão da infraestrutura elétrica em polos industriais. Essas medidas visam reduzir o custo da energia elétrica e o fator de emissão associado, contribuindo para tornar a rota EAF mais viável economicamente.



Essa barreira financeira também se relaciona à barreira regulatória, dado que uma alternativa para viabilizar o fornecimento de energia renovável em larga escala seria a instalação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) dedicadas ao abastecimento das plantas com EAF. No entanto, observa-se que as burocracias relacionadas ao processo de licenciamento ambiental para PCHs no estado de Minas Gerais são um entrave, gerando incertezas que podem afetar a segurança para investimentos em infraestrutura energética. A melhoria do ambiente regulatório para PCHs, por meio de maior interação entre as entidades envolvidas, é uma ação que poderia contribuir para a expansão da eletrificação na indústria, desde que acompanhada de salvaguardas ambientais e planejamento territorial adequado.

As políticas públicas mapeadas que se relacionam a essa tecnologia incluem o PDMG, que reconhece a importância da substituição de rotas tradicionais por tecnologias de menor intensidade de carbono, como o EAF. Além disso, programas como o Minas Recicla Energia, que visa a valorização energética de resíduos sólidos urbanos na produção de cimento, e o Lixão Zero, voltado à erradicação de lixões e ao fortalecimento da economia circular, embora originalmente direcionados à indústria cimenteira, apresentam potencial de adaptação para o setor siderúrgico, promovendo a reutilização de materiais e o aproveitamento energético de resíduos.

Observa-se uma sinergia parcial entre as soluções propostas e as políticas públicas existentes, especialmente no que se refere à promoção da economia circular e à expansão da infraestrutura elétrica para geração renovável. No entanto, ainda persistem lacunas importantes, como a ausência de políticas específicas voltadas à qualificação da sucata metálica e à viabilização econômica da eletrificação da siderurgia. O fortalecimento dessas políticas, aliado à formulação de novas iniciativas que articulem os aspectos tecnológicos, financeiros e regulatórios de forma coordenada, pode contribuir para ampliar a competitividade da rota EAF e acelerar sua adoção no contexto industrial brasileiro.

Redução direta a hidrogênio (RD-H₂)

A tecnologia de redução direta a hidrogênio na produção de aço tem como foco a substituição de combustíveis fósseis, como o carvão mineral e o gás natural, pelo hidrogênio de baixo carbono como insumo energético e agente redutor. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 15,7 MtCO₂e (6,4% do total estimado para o setor industrial), com custo marginal de abatimento de 411,5 R\$/tCO₂e (8,3% de todas as tecnologias com custos positivos no setor industrial). Embora reconhecida internacionalmente como uma das rotas mais promissoras para a descarbonização profunda da siderurgia, a tecnologia ainda enfrenta barreiras de natureza informacional, financeira e regulatória e sua viabilidade depende de avanços estruturais e institucionais que ainda estão em construção no país.



No campo informacional, observa-se uma percepção reduzida de urgência quanto à adoção do hidrogênio verde, influenciada pela ampla disponibilidade e diversidade de fontes renováveis no Brasil. Essa percepção tende a minimizar o papel estratégico do hidrogênio na transição energética da indústria pesada, o que limita o engajamento de atores públicos e privados na estruturação de políticas e projetos voltados à tecnologia. Como consequência, há menor mobilização de recursos e menor visibilidade para iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e demonstração quanto à aplicação da tecnologia na indústria. A superação dessa barreira requer esforços de comunicação e articulação institucional que evidenciem o papel complementar do hidrogênio verde na matriz energética e industrial brasileira, especialmente nos setores *hard-to-abate*.

Em relação à barreira financeira, destaca-se que a tecnologia ainda se encontra em estágio emergente, o que implica custos elevados e maior percepção de risco por parte de investidores, sobretudo quando comparada a rotas baseadas em combustíveis fósseis. Além disso, a produção de hidrogênio verde depende da eletrólise da água a partir de eletricidade renovável, o que impõe desafios adicionais relacionados à disponibilidade e ao custo da energia elétrica. Assim como no caso da eletrificação da siderurgia via forno a arco elétrico, a viabilidade da RD-H2 está diretamente condicionada à oferta de grandes volumes de eletricidade renovável a preços competitivos. Entre as soluções possíveis, destacam-se a adoção de tarifas diferenciadas para o uso de energia renovável, a revisão das regras de garantia física para usinas e a expansão da infraestrutura elétrica em polos industriais. Essas medidas podem contribuir para reduzir o custo da produção de hidrogênio verde e aumentar a atratividade da tecnologia. A interdependência entre os setores elétrico e industrial reforça a necessidade de políticas energéticas integradas à estratégia de descarbonização da indústria.

A questão energética também se conecta à esfera regulatória. Uma alternativa para viabilizar o fornecimento de energia renovável em larga escala seria a instalação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) dedicadas ao abastecimento de plantas industriais com RD-H2. No entanto, conforme destacado para a tecnologia de EAF, o processo de licenciamento ambiental para PCHs em Minas Gerais tem sido apontado como um entrave, gerando incertezas que afetam a previsibilidade dos investimentos. Portanto, uma solução seria a melhoria do ambiente regulatório para PCHs, por meio de maior interação entre as entidades envolvidas, desde que acompanhada de salvaguardas ambientais e planejamento territorial adequado.

As barreiras regulatórias específicas ao hidrogênio também são expressivas. A regulação sobre o uso, transporte e armazenamento do hidrogênio verde ainda é incipiente, sem definição clara de competências institucionais ou de responsabilidades legais. Essa ausência de arcabouço normativo compromete a segurança jurídica para consumidores e investidores, dificultando a estruturação de projetos. Soma-se a isso a entrada de produtos siderúrgicos



importados com alta pegada de carbono a preços reduzidos no país, o que desestimula investimentos em tecnologias de descarbonização no mercado doméstico. A ausência de mecanismos de proteção comercial ou de diferenciação por pegada de carbono agrava esse cenário, criando um desincentivo à inovação tecnológica no setor.

Diante dessas barreiras, algumas estratégias podem ser adotadas para enfrentá-las. Por exemplo, a organização de campanhas e feiras públicas para divulgar aplicações práticas do hidrogênio verde, o mapeamento de oportunidades regionais de integração com outras fontes renováveis e o estímulo a projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados à adaptação tecnológica e à redução de custos. Essas ações podem contribuir para ampliar o conhecimento técnico, reduzir a percepção de risco e fomentar a formação de uma cadeia produtiva nacional.

Essas soluções dialogam com políticas públicas já em curso. No âmbito estadual, destaca-se a Lei nº 24.940/2024, que institui a Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde, estabelecendo definições, diretrizes e instrumentos como incentivos fiscais e creditícios para a produção e aquisição de equipamentos. Complementarmente, o PATEN, em âmbito nacional, busca conectar financiadores e empresas, promovendo o desenvolvimento sustentável por meio da utilização de créditos de empresas junto à União, podendo ser mobilizado para apoiar projetos de P&D ou iniciativas piloto voltadas à RD-H2.

Outro marco relevante no cenário nacional é a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Lei nº 14.948/2024), que institui um marco legal abrangente, com quatro instrumentos centrais: o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC), o Regime Especial de Incentivos (Rehidro) e o Sistema Brasileiro de Certificação do Hidrogênio (SBCH2). O PNH2 é responsável pela execução da política nacional, com diretrizes definidas pelo CNPE e coordenação do Comitê Gestor, que reúne representantes do governo, setor produtivo e comunidade científica. Já o PHBC tem como foco o estímulo à inovação, à competitividade e à expansão industrial e prevê investimentos da ordem de R\$ 32 milhões entre 2028 e 2032 em créditos fiscais para projetos de produção de hidrogênio de baixo carbono. O Rehidro oferece benefícios fiscais por cinco anos, a partir de 2025, para empresas que atendam a critérios como uso de bens nacionais, investimento em P&D e regularidade fiscal. Já o SBCH2 estabelece regras para certificação voluntária do hidrogênio com base na intensidade de emissões, garantindo rastreabilidade, conformidade ambiental e alinhamento com padrões internacionais.

Portanto, observa-se que está em processo de consolidação, tanto no Brasil quanto em Minas Gerais, um arcabouço institucional que tende a favorecer a criação de um ambiente regulatório mais seguro e a estimular a inovação tecnológica. Como próximos passos, destaca-se a importância do acompanhamento contínuo da implementação dessas políticas,



bem como da orientação prática às indústrias sobre como acessar os instrumentos disponíveis e integrá-los às suas estratégias de transição energética. O setor também pode se beneficiar da estruturação de programas de certificação técnica e capacitação profissional voltados à operação segura e eficiente da tecnologia, além da articulação com instituições de pesquisa e inovação para favorecer a formação de redes colaborativas, acelerar a curva de aprendizado e ampliar a difusão de conhecimento técnico.

Redução direta a gás natural (RD-GN)

A tecnologia de redução direta a gás natural na produção de aço visa substituir o carvão mineral pelo gás natural como agente redutor do ferro. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação da tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 27,8 MtCO₂e (11,4% do total estimado para o setor industrial), com um custo marginal de abatimento de 695,0 R\$/tCO₂e (14,1% de todas as tecnologias com custos positivos no setor industrial). Cabe destacar que o gás natural desempenha um papel relevante como combustível de transição, especialmente frente a tecnologias emergentes como o hidrogênio verde e, conforme observado, possui potencial significativo para a redução de emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, sua viabilidade está condicionada à disponibilidade e à competitividade econômica frente a outras fontes energéticas, enfrentando, portanto, barreiras tecnológicas e financeiras, conforme destacado a seguir.

A barreira tecnológica está relacionada à infraestrutura de transporte de gás natural, ainda insuficiente para atender de forma ampla à demanda industrial. Essa limitação decorre da concentração geográfica das redes de distribuição e da ausência de investimentos em expansão logística. Como consequência, o acesso ao gás natural é restrito em algumas regiões, o que dificulta sua adoção em larga escala na indústria.

No campo financeiro, o elevado custo do gás natural no Brasil compromete sua competitividade frente a fontes mais emissoras, como o carvão mineral. Esse cenário é influenciado por fatores como a estrutura tarifária, a volatilidade cambial e a carga tributária incidente sobre o insumo. Como resultado, mesmo com benefícios ambientais, a tecnologia enfrenta obstáculos econômicos que limitam sua adoção em processos industriais intensivos em energia.

Algumas estratégias já desenvolvidas no país buscam enfrentar essas barreiras. O Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano (Decreto Federal nº 12.153/2024) tem como objetivo promover o desenvolvimento da oferta, demanda e infraestrutura de gás natural e biometano, prevendo também um regime de transição para a abertura do mercado, com ajustes nas taxas de remuneração dos ativos e o desenvolvimento de plataformas de negociação. Em âmbito estadual, a Resolução SEDE nº 32/2021 propõe uma revisão do mercado de gás em Minas Gerais, com foco na ampliação do mercado livre e



na autonomia dos consumidores para negociar diretamente com fornecedores. Essas iniciativas representam avanços importantes na estruturação do mercado, ainda que seus efeitos dependam da capacidade de implementação e da articulação entre os diferentes agentes envolvidos.

Embora as barreiras estejam sendo parcialmente endereçadas por políticas em nível nacional e estadual, ainda existem desafios relevantes, especialmente no que se refere à viabilização econômica da tecnologia em regiões com infraestrutura limitada. A ausência de instrumentos de incentivo específicos voltadas à redução do custo do gás natural para uso industrial representa uma limitação que pode restringir o ritmo de adoção da RD-GN. Assim, apesar dos avanços institucionais e regulatórios, o fortalecimento da competitividade do gás natural como vetor de descarbonização dependerá da implementação efetiva das políticas existentes e da criação de mecanismos adicionais que ampliem o acesso e reduzam os custos para o setor siderúrgico.

Iniciativas abrangentes

Substituição de combustíveis

A tecnologia de substituição de combustíveis, que visa promover o aumento do uso de combustíveis alternativos de baixa emissão, como eletricidade, biomassa, resíduos sólidos, biometano e carvão vegetal, é transversal aos segmentos industriais analisados (cimento, ferro e aço, ferroligas, mineração, química e outras indústrias). No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia em todos os segmentos resultou em um potencial de mitigação de 69,4 MtCO₂e (28% do total estimado para o setor industrial), com um custo marginal de abatimento de 1.486,9 R\$/tCO₂e (30,1% de todas as tecnologias com custos positivos no setor industrial).

As barreiras à substituição de combustíveis na indústria são de natureza tecnológica, regulatória e financeira. Como essas barreiras variam conforme o tipo de combustível, ao contrário das seções anteriores, em que as barreiras, as soluções e as políticas são abordadas separadamente, esta seção está estruturada para apresentar cada barreira seguida de suas possíveis soluções e de suas relações com as políticas públicas mapeadas.

No campo tecnológico, a variabilidade na qualidade da biomassa pode afetar a estabilidade dos processos industriais, uma vez que exige ajustes operacionais constantes e, conseqüentemente, compromete a eficiência e a previsibilidade da produção. Soma-se a isso a necessidade de garantir o suprimento de carvão vegetal em larga escala, o que depende da disponibilidade de áreas de plantio dentro de um raio economicamente viável. A limitação territorial e logística dificulta a consolidação de cadeias de suprimento estáveis, impactando diretamente a viabilidade técnica da substituição de combustíveis fósseis por biomassa. Como resposta, destacam-se soluções como o uso de tecnologias de processamento, como



briquetagem e pelotização, para reduzir o volume da biomassa e facilitar seu transporte, além do mapeamento de áreas produtivas no estado, que pode contribuir para a redução de custos logísticos e ampliação da oferta. Esse mapeamento poderia ser realizado por meio do Programa MG Florestas, uma plataforma gerenciada pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF), que busca gerir florestas plantadas, controlar a cadeia do carvão vegetal, proteger a vegetação nativa e oferecer maior confiabilidade à indústria por meio de certificações de sustentabilidade.

Em relação às barreiras regulatórias, no que diz respeito à utilização de resíduos para coprocessamento e geração de energia, observa-se a ausência de normas específicas para o setor de coprocessamento e blendagem de resíduos, o que gera insegurança jurídica e limita o uso desses materiais como combustíveis. Além disso, a falta de incentivos legais que priorizem a recuperação energética frente à disposição em aterros contraria os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Outro desafio é a dificuldade de estabelecer contratos de longo prazo com agentes públicos para fornecimento de resíduos urbanos, o que compromete a previsibilidade do suprimento e a segurança para adoção da tecnologia. Uma possível solução seria a ampliação do Programa Minas Recicla Energia, atualmente focado na obtenção de energia para produção de cimento por meio das sobras da triagem da coleta seletiva, para outras cadeias industriais.

No caso da biomassa, a barreira regulatória reside na ausência de regulação clara sobre sua origem e rastreabilidade, o que afeta a confiança de consumidores e investidores quanto à sustentabilidade dos insumos. Como possível solução, além da utilização do próprio MG Florestas citado anteriormente, destaca-se a Plataforma Selo Verde-MG, uma ferramenta que amplia a rastreabilidade e a conformidade ambiental das cadeias produtivas no estado. A plataforma oferece diagnóstico ambiental detalhado e gratuito por imóvel rural, com dados atualizados do Cadastro Ambiental Rural (CAR), monitoramento da vegetação nativa e ações de fiscalização ambiental em níveis estadual e federal, com o objetivo de garantir maior transparência nas informações ambientais. Outra política já em desenvolvimento no país é o Sistema DOF+Rastreabilidade, que introduziu mecanismos para identificação da origem dos produtos florestais madeireiros, por meio de um código de rastreio que acompanha o produto desde sua origem até a destinação final.

As barreiras financeiras também são significativas. No caso do uso de combustíveis alternativos, como biomassa ou resíduos, a adaptação de equipamentos convencionais exige modificações estruturais em fornos e caldeiras, o que implica investimentos de grande porte. Além disso, o uso de tecnologias específicas para o coprocessamento, como sistemas para remoção de contaminantes, pode representar custos adicionais. Já em relação à biomassa, os custos logísticos associados à coleta, transporte e armazenamento podem ser elevados, especialmente quando as fontes estão distantes das unidades industriais. Como resposta, propõem-se medidas como o fomento à pesquisa para aumento da eficiência no uso de



combustíveis alternativos, por meio de programas como o Compete Minas, o incentivo à criação de centros logísticos regionais e a mobilização de instrumentos financeiros previstos em políticas como o PATEN, que conecta empresas e financiadores para viabilizar tecnologias menos emissoras.

Apesar da sinergia entre as soluções propostas e as políticas existentes, ainda persistem lacunas importantes, como a ausência de normas específicas para o setor de coprocessamento, a necessidade de maior integração entre os instrumentos de política pública voltados à gestão de resíduos e à descarbonização da indústria e a carência de políticas específicas para logística e adaptação tecnológica da infraestrutura industrial. A superação dessas lacunas é essencial para garantir a viabilidade técnica e econômica da substituição de combustíveis nos segmentos industriais.

Eficiência Energética

Assim como a substituição de combustíveis, a tecnologia de eficiência energética é transversal aos segmentos industriais analisados (cimento, ferro e aço, ferroligas, mineração, química e outras indústrias). De acordo com o Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia em todos os segmentos resultou em um potencial de mitigação de 30,8 MtCO₂e (13% do total estimado para o setor industrial), com custo marginal de abatimento negativo de 1.319,1 R\$/tCO₂e, ou seja, os benefícios financeiros superam os investimentos necessários. Apesar disso, a tecnologia ainda enfrenta barreiras de natureza financeira, institucional, tecnológica e regulatória.

Apesar do custo marginal de abatimento negativo, o principal obstáculo identificado refere-se aos elevados investimentos iniciais necessários para a substituição de equipamentos por versões mais modernas e energeticamente eficientes. Esse desafio é agravado pelos altos custos de importação, influenciados por taxas e câmbio desfavoráveis, o que compromete a viabilidade econômica da modernização industrial. Como consequência, muitas indústrias mantêm equipamentos obsoletos, com baixo rendimento energético, o que perpetua padrões de consumo elevados.

Do ponto de vista institucional, observa-se uma escassez de profissionais capacitados para pesquisar, avaliar e implementar processos e tecnologias mais eficientes. Essa limitação impacta negativamente a tomada de decisão nas organizações, dificultando a identificação de oportunidades de investimento em eficiência energética e a internalização de práticas de gestão energética, o que prejudica também a difusão de soluções inovadoras.

A barreira tecnológica, por sua vez, é uma consequência direta da adoção de combustíveis alternativos menos emissores, como biomassa e escórias. Embora a substituição de combustíveis seja outra tecnologia do setor, ela pode introduzir barreiras tecnológicas que impactam diretamente a eficiência energética dos processos industriais. Geralmente, esses



combustíveis apresentam menor poder calorífico, maior umidade ou presença de substâncias indesejáveis. Esses fatores dificultam a queima eficiente e exigem sistemas adicionais de preparação e injeção, resultando em maior consumo energético. Além disso, essas características podem comprometer o desempenho dos fornos e limitar o potencial de reaproveitamento de materiais, reduzindo as oportunidades de economia de energia. Portanto, a adoção de tecnologias mais limpas pode gerar aumento de consumo energético se não acompanhada por melhorias nos sistemas de combustão.

No campo regulatório, observa-se a ausência de fiscalização e padronização no consumo energético industrial. Faltam políticas atualizadas em eficiência energética e conservação de energia voltadas ao setor industrial brasileiro, incluindo padrões mínimos de eficiência para motores industriais, acordos com produtores e mecanismos de controle do consumo energético. Soma-se a isso a escassez de incentivos econômicos, como subsídios e programas de empréstimo, o que dificulta o alcance do potencial industrial em eficiência energética.

As políticas públicas mapeadas para essa tecnologia incluem o PDMG, que reconhece o potencial de mitigação da eficiência energética nas diferentes indústrias, com ações voltadas à modernização de fornos, queimadores e motores, à redução do consumo de eletricidade em equipamentos elétricos e à adoção de práticas operacionais e de gestão que resultem em menor consumo de energia. O PLAC-MG, contempla o desenvolvimento de estudos para elaboração de indicadores de eficiência energética na indústria, instrumentos de fomento a tecnologias e processos mais eficientes e incentivo à troca de experiências de ações ambientais e climáticas inovadoras. Outra política relevante é o PotencializEE, focado em impulsionar projetos de eficiência energética em pequenas e médias indústrias no estado de São Paulo. Essas iniciativas representam avanços importantes, mas ainda não cobrem integralmente os desafios financeiros e regulatórios enfrentados pelo setor.

Frente a esse cenário, algumas estratégias podem ser sugeridas, como a ampliação de linhas de financiamento e subsídios voltados à aquisição e modernização de equipamentos, incentivos fiscais para a troca de tecnologias, parcerias com entidades industriais para capacitação profissional e publicação de editais estaduais voltados à formação técnica. Em um nível macro, a regulamentação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) poderia atuar como mecanismo indutor da eficiência energética, ao promover a redução de emissões e estimular a adoção de tecnologias mais limpas.

Apesar da existência de políticas que abordam a temática da eficiência energética, observa-se que há espaço para o aprimoramento do arcabouço institucional e financeiro, de modo a garantir maior viabilidade econômica para a adoção de medidas de eficiência energética na indústria. A ausência de políticas com foco direto na modernização de plantas antigas e na redução de custos para aquisição de equipamentos evidencia a necessidade de maior



alinhamento entre as barreiras identificadas e os instrumentos de política pública disponíveis. Assim, o enfrentamento das barreiras requer o fortalecimento e a operacionalização das iniciativas atuais, bem como a formulação de novas estratégias que abordem os aspectos técnicos, econômicos e institucionais de forma integrada.

Tecnologias não incluídas na MACC

Fusão redutora para produção de aço

A fusão redutora é uma tecnologia que propõe uma reconfiguração do processo siderúrgico convencional, ao separar as etapas de pré-aquecimento do carvão e pré-redução do minério de ferro. Conforme apresentado no Produto P2.3, essa abordagem elimina a necessidade de coque, reduz o consumo energético e gera um gás com alta concentração de CO₂, facilitando sua integração com sistemas de captura, armazenamento e utilização de carbono (CCS). No entanto, a principal barreira é a baixa maturidade tecnológica: tecnologias como HIsarna ainda estão em fase piloto, enquanto Corex e Finex têm aplicação comercial restrita, com escassez de dados operacionais e de mercado que inviabilizam estimativas robustas de custo e mitigação. Apesar das limitações, a fusão redutora apresenta sinergias relevantes com outras rotas de descarbonização incluídas na MACC. Um exemplo é o BF-BOF a carvão vegetal, que também busca substituir o carvão mineral por insumos renováveis. Outro é a RD-H₂, que compartilha o objetivo de descarbonizar o agente redutor e ainda pode ser utilizada em conjunto com o CCS, reforçando seu potencial estratégico na transição da siderurgia. Embora não existam políticas específicas para essa tecnologia, programas como o Siderurgia Sustentável (PNUD/MME), que incentiva tecnologias de baixo carbono na siderurgia, e o Compete Minas (SEDE/FAPEMIG) podem ser mobilizados para apoiar pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico.

Para viabilizar essa rota no contexto brasileiro, é importante que o estado de Minas, em articulação com o governo federal, fomente a pesquisa por meio de projetos-piloto com apoio de universidades e centros tecnológicos. Além disso, é essencial promover cooperação internacional para transferência de tecnologia e adaptar soluções às condições operacionais locais. Por fim, a criação de linhas de financiamento específicas para tecnologias emergentes na siderurgia também é estratégica para acelerar sua maturação.

Redução do minério de ferro por eletrólise

A eletrólise do minério de ferro representa uma rota disruptiva para produção de aço com emissão potencialmente nula de CO₂, especialmente quando associada à eletricidade renovável. No entanto, a tecnologia ainda se encontra em estágio inicial, enfrentando barreiras de natureza tecnológica, financeira, informacional e regulatória. Do ponto de vista tecnológico, a solução possui baixa maturidade, especialmente quando comparada a métodos mais



consolidados, como o EAF e o uso do carvão vegetal. No âmbito financeiro, a barreira se deve ao alto custo de aquisição de equipamentos e elevada demanda de energia. No aspecto informacional, destaca-se a falta de *benchmarks* com rotas tradicionais que possam indicar os pontos positivos da tecnologia em relação a outras mais consolidadas. Já do ponto de vista regulatório, observa-se a ausência de diretrizes específicas para eletrólise na siderurgia (IEA, 2020).

Essa rota apresenta sinergia com outras tecnologias, como RD-H₂ e EAF, que também utilizam eletricidade como vetor energético. A integração entre essas soluções pode acelerar a descarbonização do setor, desde que haja infraestrutura elétrica adequada e acesso competitivo à energia renovável. Políticas como a Lei Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono (Lei nº 24.940/2024) e o PATEN (Lei nº 15.103/2025) podem ser adaptadas para contemplar projetos voltados à eletrólise na siderurgia.

Para aumentar sua viabilidade, é necessário um direcionamento governamental para fomentar pesquisa aplicada, viabilizar projetos-piloto e criar linhas de financiamento específicas, seja via PATEN ou fundos climáticos. O mapeamento de polos industriais com acesso à eletricidade renovável também pode ser uma medida estratégica para testes da tecnologia.

Uso de energia solar térmica para produção de calor em processos industriais

A energia solar térmica, captada por coletores como placas planas e tubos a vácuo, é promissora para processos industriais de baixa temperatura, com destaque para os setores de alimentos, papel e celulose, química e têxtil. Apesar do potencial identificado em estudos como o relatório “Energia Termossolar para a Indústria: Brasil” (SOLAR PAYBACK, 2018), a tecnologia enfrenta barreiras técnicas relevantes, como a intermitência solar, a baixa densidade energética de potência por área e a limitação de temperatura atingível (até 400 °C), além de desafios logísticos relacionados à área necessária para a instalação em plantas industriais consolidadas.

A tecnologia possui complementaridade com tecnologias como a eletrificação em medidas de eficiência energética e a cogeração a biomassa, podendo ser integrada em estratégias de transição energética. Políticas como o Minas Recicla Energia e o PLAC-MG preveem incentivos à autogeração de energia renovável e à substituição de combustíveis fósseis na indústria, podendo ser adaptados para contemplar a energia solar térmica.

Para superar as barreiras, recomenda-se o fomento à pesquisa aplicada voltada à eficiência dos coletores e ao desenvolvimento de sistemas de armazenamento térmico, com apoio de universidades e centros tecnológicos. A criação de linhas de financiamento específicas para



tecnologias emergentes de calor renovável, com foco em aplicações industriais de baixa e média temperatura, também pode ser essencial para ampliar sua viabilidade.

Uso de reatores nucleares para produção de calor em processos industriais

A aplicação de reatores nucleares para geração de calor industrial apresenta elevado potencial de descarbonização, especialmente em segmentos com alta demanda térmica. A principal vantagem está na densidade energética dos combustíveis nucleares, tais como o urânio, e na oferta contínua de calor, superando limitações de fontes renováveis intermitentes. No entanto, a maturidade tecnológica ainda é baixa para aplicações industriais: os reatores comerciais atuais operam com temperaturas insuficientes para processos mais exigentes, enquanto tecnologias emergentes, como reatores modulares pequenos (SMRs), microrreatores e reatores de gás de alta temperatura (HTGRs) permanecem em desenvolvimento, o que restringe sua aplicabilidade no curto prazo.

Além disso, o custo do calor nuclear permanece superior ao de alternativas fósseis, devido aos altos investimentos associados ao ciclo de vapor e ao gerador. Essa barreira financeira é agravada pela ausência de infraestrutura nacional dedicada à aplicação industrial da energia nuclear e pela necessidade de regulamentações específicas para garantir segurança operacional e licenciamento ambiental.

A tecnologia, contudo, apresenta sinergias com a eletrificação, por meio de tecnologias como o forno a arco elétrico (EAF), e o hidrogênio verde. A eletrificação compartilha o objetivo de substituir fontes fósseis por alternativas de baixo carbono. Já o hidrogênio, também avaliado como vetor energético para calor industrial, pode ser produzido por eletrólise alimentada por energia nuclear, criando uma inter-relação estratégica entre as tecnologias.

Para superar essas barreiras, é recomendável que o estado, em articulação com o governo federal, fomente pesquisa aplicada sobre reatores industriais, com apoio de universidades e centros tecnológicos. A criação de marcos regulatórios específicos e a inclusão da tecnologia em programas como o PATEN e o Compete Minas são fundamentais para acelerar sua maturação. A cooperação internacional também deve ser estimulada para viabilizar transferência de tecnologia e adaptação às condições brasileiras.

Uso de hidrogênio para produção de calor em processos industriais

O hidrogênio como fonte de calor industrial é uma alternativa promissora para descarbonização de setores intensivos em energia, como siderurgia, química e cimento. Apesar de já ser utilizado como insumo, seu uso como vetor energético ainda é incipiente, com barreiras financeiras, relacionadas ao alto custo de produção, e tecnológicas,



relacionadas ao armazenamento e transporte, que exigem infraestrutura especializada e elevam os custos operacionais (THIEL; STARK, 2021). Nesse contexto, a competitividade frente a fontes fósseis é limitada, exigindo avanços tecnológicos e expansão da infraestrutura dedicada.

A tecnologia apresenta sinergias com rotas como a RD-H₂, que também busca substituir agentes redutores fósseis por hidrogênio verde. Além disso, o uso de hidrogênio para geração de calor na indústria pode ser beneficiado por políticas públicas já existentes, como a Lei Estadual nº 24.940/2024, que institui a Política do Hidrogênio de Baixo Carbono, com foco na ampliação do uso desses combustíveis na matriz energética e na promoção de sinergias com outras fontes renováveis. Em âmbito nacional, a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Lei Federal nº 14.948/2024) e o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC) estabelecem incentivos fiscais e instrumentos de fomento à cadeia produtiva do hidrogênio, incluindo sua aplicação industrial.

Para viabilizar o uso do hidrogênio como fonte térmica, é necessário fomentar sua produção nacional com foco na redução de custos e ampliação da infraestrutura de armazenamento e distribuição. O estado de Minas Gerais pode atuar por meio de programas como o Compete Minas, apoiar a criação de *hubs* industriais de hidrogênio e articular com a Gasmig o aproveitamento da infraestrutura de gasodutos existente.



RECOMENDAÇÕES DE POLÍTICAS PÚBLICAS

A transição para uma economia de baixo carbono representa um dos maiores desafios contemporâneos, exigindo não apenas inovação tecnológica, mas também um ambiente institucional robusto, capaz de sustentar mudanças estruturais em larga escala. Em setores estratégicos como AFOLU, Energia, Indústria e Transporte, persistem barreiras técnicas, econômicas, regulatórias e culturais que limitam a adoção de soluções sustentáveis, mesmo quando sua viabilidade técnica já está demonstrada. A superação dessas barreiras demanda políticas públicas articuladas, que combinem instrumentos regulatórios, financeiros, logísticos e de capacitação, promovendo um ecossistema favorável à inovação e à descarbonização.

Este capítulo apresenta um conjunto estruturado de recomendações voltadas ao governo de Minas Gerais, com o objetivo de auxiliar o direcionamento dos esforços de mitigação no estado. As propostas foram elaboradas com base em diagnósticos setoriais detalhados e organizadas em torno de ações habilitadoras, tecnologias associadas, impactos esperados, atores envolvidos e horizontes temporais. A abordagem adotada busca fomentar sinergias entre políticas públicas, apoiar a atração de investimentos, fortalecer capacidades institucionais e ampliar a aceitação social das transformações necessárias. Ao integrar diferentes dimensões da política climática, as recomendações aqui reunidas oferecem um roteiro estratégico para alinhar o desenvolvimento econômico do estado aos compromissos de sustentabilidade e neutralidade de carbono.

Para o setor industrial, as soluções discutidas passam por uma maior aproximação entre o governo e o setor, para compreensão das reais capacidades dos atores quanto à adoção de combustíveis menos emissores, produção e troca de materiais e substituição ou adaptação de equipamentos. Portanto, é necessária uma interação entre as empresas, o governo estadual e as organizações industriais para uma maior compreensão do potencial de atuação de cada um para a redução das emissões do setor.

Além disso, é necessário o mapeamento da demanda pelo uso do biogás e do biometano, identificando as empresas demandantes e ofertantes, bem como suas localizações. Tal medida serviria de subsídio para um planejamento da ampliação da rede de gasodutos. Como consequência, haveria um aumento da infraestrutura e da disponibilidade desses combustíveis no mercado. Essas medidas possuem uma viabilidade alta e poderiam ser implementadas no curto prazo. Alguns atores possivelmente envolvidos seriam empresas como CBMM, IVECO e VALE como demandantes e Golar e aterros sanitários como ofertantes, além da Gasmig como fornecedora da infraestrutura de distribuição.



Outro eixo fundamental é o relativo à demanda de investimentos para adequação dos equipamentos ao uso de biomassa e adoção de medidas de eficiência energética. Uma solução seria a adoção de incentivos fiscais para a troca de tecnologias pelas indústrias e a regulamentação do SBCE, como forma de incentivo à redução de emissões em geral.

Já a falta de conexão entre as indústrias para disponibilização de resíduos como matéria-prima e como fonte de energia poderia ser solucionada de duas maneiras. A primeira delas seria a criação de um banco de dados das indústrias, para identificação de resíduos disponíveis, incluindo sua localização e quantidade. A outra seria a criação de *hubs* industriais para facilitar a conexão entre os diferentes atores do setor. Em ambos os casos, seria necessária a interação entre o governo e as indústrias, havendo espaço também para a participação do Centro de Inovação e Tecnologia (CIT) do Senai, que busca desenvolver soluções integradas para a indústria.

Quanto ao licenciamento de PCHs para autoprodução nas indústrias, discutido no capítulo anterior, a sugestão de solução foi a maior integração entre as entidades responsáveis, como a SEDE e a SEMAD/FEAM, para promover uma melhoria do ambiente regulatório e favorecer a sua implantação.

Por fim, as tecnologias mais disruptivas, como o uso de hidrogênio nas indústrias de cimento e aço, bem como a captura e armazenamento de carbono nas indústrias em geral, podem ser promovidas com o incentivo a projetos de pesquisa e desenvolvimento, com alto impacto para promover a descarbonização das indústrias “*hard to abate*”. Alguns atores relevantes seriam a Invest Minas, a SEDE e empresas estrangeiras interessadas em investir nessas tecnologias.

O Quadro 4 resume as recomendações de políticas públicas para o setor.



Quadro 4: Recomendações de políticas públicas - Indústria

| Recomendação | Contexto e barreiras | Tecnologias associadas | Ações habilitadoras | Impactos esperados | Atores envolvidos |
|--|---|---|--|---|--|
| Capacitação Técnica e Profissional | Falta de profissionais qualificados compromete políticas e adoção de tecnologias limpas; escassez de conhecimento técnico em setores-chave. | Adições ao clínquer, eficiência energética, carvão vegetal, hidrogênio verde, CCS | Programas estaduais de capacitação via SENAI/SENAC, universidades e fundos climáticos | Gestores capacitados, políticas eficazes, redução de barreiras técnicas e culturais | SEMAD, SEDE, FAPEMIG, SENAI, FIEMG, instituições de ensino e pesquisa, sindicatos industriais, empresas do setor privado, organizações da sociedade civil |
| Pesquisa Aplicada e Desenvolvimento Tecnológico | Tecnologias com baixa maturidade enfrentam desafios técnicos e adaptação local | CCS, RD-H ₂ , RD-GN | Financiamento de P&D, testes piloto, adaptação de equipamentos e cadeias produtivas | Redução de riscos, soluções locais, empregos qualificados, atração de investimentos | SEDE, FAPEMIG, SENAI, MCTI, instituições de ensino e pesquisa, associações setoriais, empresas do setor privado |
| Infraestrutura Logística e Suprimento de Insumos | Gargalos logísticos e baixa capilaridade de redes dificultam suprimento contínuo | Biomassa (substituição de combustíveis), RD-GN, CCS | Centros logísticos, expansão de redes de gás e energia, mapeamento de áreas para CO ₂ | Redução de custos, segurança energética, competitividade industrial | SEINFRA, SEDE, SEMAD, CIMC, Invest Minas, MDIC, MME, associações de municípios, associações setoriais, empresas do setor privado, instituições de ensino e pesquisa, Gasmig, CEMIG |
| Regulação e Segurança Jurídica | Lacunas normativas geram insegurança e dificultam investimentos em tecnologias limpas | CCS, hidrogênio verde, adições ao clínquer, biomassa (substituição de combustíveis) e eficiência energética | Atualização de normas, definição de competências, certificações e segurança operacional | Ambiente regulatório seguro, atração de investimentos, viabilização tecnológica | SEMAD, SEDE, ALMG, CIMC, SEINFRA, associações setoriais como ABCP, ABIQUIM, IABr, MDIC, Congresso Nacional, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor, empresas do setor privado, instituições de ensino e pesquisa |
| Incentivos Econômicos e Financiamento | Alto custo inicial das tecnologias e ausência de mecanismos financeiros operacionais | RD-H ₂ , CCS, EAF | Linhas de crédito, incentivos fiscais, tarifas diferenciadas, fundos climáticos | Viabilidade econômica, monetização de emissões evitadas, investimentos verdes | SEF, SEDE, SEMAD, ALMG, CIMC, Ministério da Fazenda, MDIC, SENAI, instituições financeiras, empresas do setor privado |



| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| <p>Integração de Políticas Públicas e Coordenação Institucional</p> | <p>Fragmentação entre políticas setoriais limita sinergias e eficiência</p> | <p>Substituição de combustíveis, eficiência energética</p> | <p>Fóruns intersetoriais, plano setorial, hubs industriais, plataformas integradas</p> | <p>Sinergias entre políticas, clareza regulatória, clusters industriais sustentáveis</p> | <p>CIMC, SEMAD, SEDE, SECOM, Invest Minas, MMA, MME, MDR, MAPA, MDIC, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor, governos municipais, consórcios municipais, associações de municípios, associações setoriais, Fiemg</p> |
| <p>Institucionalização de políticas de eficiência energética e modernização industrial</p> | <p>Equipamentos obsoletos e combustíveis alternativos com baixa eficiência</p> | <p>Substituição de combustíveis, eficiência energética</p> | <p>Crédito para modernização, metas setoriais, monitoramento energético</p> | <p>Redução de custos e emissões, viabilidade técnica de combustíveis alternativos</p> | <p>SEDE, SEMAD, SEINFRA, CEMIG, Gasmig, governos municipais, consórcios municipais, instituições financeiras, Invest Minas, Fiemg, FAPEMIG, instituições de ensino e pesquisa, empresas do setor privado, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor</p> |
| <p>Economia Circular e Gestão de Resíduos</p> | <p>Escassez de sucata e falta de integração entre geradores e usuários de resíduos</p> | <p>EAF, substituição de combustíveis</p> | <p>Expansão da coleta, banco de resíduos, revisão de normas, compras sustentáveis</p> | <p>Redução de emissões, substituição de insumos, geração de empregos</p> | <p>SEMAD, SEDE, instituições financeiras, Invest Minas, governos municipais, associações de municípios, empresas do setor privado, associações setoriais, cooperativas de catadores</p> |
| <p>Valorização da Produção Sustentável e Proteção Comercial</p> | <p>Concorrência desleal e ausência de diferenciação de produtos sustentáveis</p> | <p>Adições ao clínguer, EAF</p> | <p>Certificação, compras públicas sustentáveis, campanhas, incentivos fiscais</p> | <p>Preço premium, proteção comercial, investimentos verdes, imagem positiva</p> | <p>SEDE, SEMAD, SEF, MDIC, Ministério da Fazenda, associações setoriais, empresas do setor privado, empresas públicas compradoras, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor</p> |



| | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|
| <p>Engajamento Público e Comunicação Estratégica</p> | <p>Baixa percepção dos riscos e oportunidades da transição industrial</p> | <p>CCS, RD-H₂, biomassa (substituição de combustíveis)</p> | <p>Campanhas públicas, eventos técnicos, premiações, porta-vozes qualificados</p> | <p>Maior aceitação social, engajamento empresarial, cultura de inovação</p> | <p>SEMAD, SEDE, SEGOV, SECOM, MDR, MMA, MDIC, CIMC, FIEMG, associações de municípios, consórcios municipais, governos municipais, associações setoriais, sindicatos industriais, empresas do setor privado, instituições de ensino e pesquisa, mídia</p> |
|--|---|---|---|---|--|

Fonte: Elaboração própria.



Capacitação técnica e profissional

A transição do setor industrial para tecnologias de baixo carbono depende fortemente da disponibilidade de profissionais qualificados e gestores capacitados, tanto no setor público quanto no privado. A falta de conhecimento técnico especializado compromete a formulação, implementação e monitoramento de políticas eficazes, bem como a adoção de soluções tecnológicas inovadoras pelas empresas. No setor cimenteiro, por exemplo, a limitada compreensão governamental sobre processos de substituição do clínquer dificulta o avanço de medidas de descarbonização. Situação semelhante ocorre na área de eficiência energética, onde há escassez de especialistas aptos a elaborar, implementar e supervisionar planos de gestão energética, prejudicando o aproveitamento pleno das oportunidades de redução de consumo e emissões.

Além disso, a incorporação de tecnologias emergentes, como uso de biomassa e carvão vegetal sustentáveis, hidrogênio verde e sistemas de captura e armazenamento de carbono, exige competências técnicas específicas para o planejamento, operação e manutenção desses sistemas. A ausência dessa qualificação resulta em barreiras práticas, como dificuldade na elaboração de estudos de viabilidade, seleção inadequada de equipamentos, operação ineficiente e baixa aderência às normas ambientais e de segurança.

O déficit de capacitação também afeta órgãos públicos estaduais e municipais, que necessitam de equipes técnicas aptas a conduzir análises regulatórias, avaliar projetos, elaborar editais e estruturar políticas alinhadas às melhores práticas nacionais e internacionais. A articulação entre governos, instituições de ensino, centros de pesquisa e setor privado é essencial para desenvolver currículos robustos, metodologias de ensino práticas (como treinamentos *in loco*) e mecanismos de certificação que garantam a atualização constante da força de trabalho diante da rápida evolução tecnológica.

Tecnologias associadas:

- adições ao clínquer;
- eficiência energética;
- substituição de combustíveis;
- BF-BOF a carvão vegetal;
- redução direta a hidrogênio (RD-H₂);
- captura e armazenamento de carbono (CCS).

Ações necessárias:

- estruturar programas estaduais de capacitação profissional e institucional para gestão de energia, tecnologias limpas, biomassa e carvão vegetal sustentáveis, hidrogênio verde e captura de carbono;



- promover editais, convênios e parcerias com instituições de ensino e pesquisa como o SENAI e universidades, para oferta de cursos de extensão, com modalidades presenciais e certificações especializadas.

Atores envolvidos:

- SEMAD;
- SEDE;
- FAPEMIG;
- SENAI;
- FIEMG;
- instituições de ensino e pesquisa;
- sindicatos industriais;
- empresas do setor privado;
- organizações da sociedade civil.

Impactos esperados:

- profissionais e gestores capacitados para planejar e operar projetos de eficiência energética e rotas de baixo carbono;
- políticas públicas mais eficientes e alinhadas a melhores práticas;
- redução de barreiras culturais e técnicas à inovação.

Pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico

A descarbonização industrial em larga escala depende do avanço e da adaptação de tecnologias que, embora já estejam em desenvolvimento global, ainda apresentam baixa maturidade comercial e desafios específicos de aplicação no contexto brasileiro e mineiro. Entre elas, destacam-se a CCS, a RD-H2, a RD-GN e o uso intensivo de biomassa e florestas plantadas na siderurgia. A viabilidade dessas tecnologias enfrenta obstáculos técnicos significativos, como a variabilidade na qualidade e disponibilidade dos insumos, exemplificada pela biomassa com diferentes teores de umidade e poder calorífico ou pela sucata metálica de qualidade irregular, que afetam a estabilidade operacional e a eficiência dos processos industriais de baixo carbono.

A superação dessas barreiras exige um esforço coordenado de pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico e inovação, voltado para adaptar soluções às condições locais e promover a robustez das cadeias produtivas. No caso da biomassa para siderurgia, o uso eficiente de carvão vegetal em altos-fornos integrados requer adaptações ou substituição de equipamentos. Isso ocorre porque o carvão vegetal convencional apresenta menor densidade energética e composição menos estável, prejudicando a operação contínua sob alta pressão.



Pesquisas podem focar na briquetagem ou pelletização da biomassa, no desenvolvimento de refratários especiais e na modificação de projetos industriais.

Também é necessário desenvolver materiais e processos inovadores, como adsorventes para CCS adequados ao mix de gases industriais e ligas metálicas resistentes ao hidrogênio, além de realizar testes piloto de co-combustão de biomassa e carvão mineral. A adaptação de fornos elétricos e altos-fornos para operar com insumos alternativos e a estruturação de cadeias dedicadas, incluindo plantios florestais otimizados para siderurgia e logística eficiente de sucata, são passos estratégicos.

O fortalecimento de programas de fomento, como o Compete Minas e os editais da FAPEMIG, pode acelerar esse processo (AGÊNCIA MINAS, 2025). Há ainda potencial de integração com iniciativas federais, como o PATEN, que prioriza tecnologias como CCS, hidrogênio verde e biogás, criando sinergia entre esforços estaduais e nacionais.

Tecnologias associadas:

- redução direta a hidrogênio (RD-H₂);
- redução direta a gás natural (RD-GN)
- captura e armazenamento de carbono (CCS).

Ações necessárias:

- financiar projetos de P&DI, mobilizando recursos de programas e instituições estaduais, como Compete Minas e FAPEMIG, e federais, como Finep e BNDES, para: adaptação de CCS, RD-H₂, RD-GN e uso de biomassa na siderurgia, desenvolvimento de novos materiais e processos, adaptação de equipamentos industriais e estruturação de cadeias produtivas.

Atores envolvidos:

- SEDE;
- FAPEMIG;
- SENAI;
- MCTI;
- instituições de ensino e pesquisa;
- associações setoriais;
- empresas do setor privado.

Impactos esperados:

- redução de riscos tecnológicos e custos futuros;



- soluções adaptadas à realidade mineira;
- aumento da competitividade e atração de investimentos;
- geração de empregos qualificados.

Infraestrutura logística e suprimento de insumos

A competitividade e a viabilidade econômica das rotas industriais de baixo carbono dependem de uma infraestrutura integrada e robusta para garantir o suprimento contínuo e eficiente de insumos estratégicos. Em Minas Gerais, três frentes se destacam: biomassa para rotas siderúrgicas via alto-forno, como carvão vegetal e resíduos agrícolas ou urbanos para coprocessamento; gás natural e biometano para processos de redução direta; energia elétrica renovável e redes de hidrogênio voltadas a rotas eletrointensivas, como fornos elétricos e eletrólise para produção de H₂ verde.

Atualmente, existem gargalos logísticos e territoriais relevantes. O transporte e a coleta de grandes volumes de biomassa enfrentam custos elevados e baixa eficiência, prejudicando a regularidade do fornecimento. A rede estadual de distribuição de gás natural apresenta baixa capilaridade, limitando o acesso de polos industriais a essa fonte de energia. Nesse contexto, destaca-se a importância do mapeamento da demanda por biogás e biometano como subsídio essencial para o planejamento da expansão da infraestrutura de gasodutos, viabilizando a ampliação da oferta e a conexão entre empresas demandantes e ofertantes.

No setor elétrico, há restrições na transmissão para atender polos em expansão, o que compromete o fornecimento confiável de energia renovável. Destruar o licenciamento de PCHs para autoprodução revela-se como uma medida estratégica para ampliar a oferta de energia limpa às indústrias, exigindo maior integração entre os órgãos responsáveis, como SEDE e SEMAD/FEAM, para aprimorar o ambiente regulatório.

Além disso, a eventual adoção de tecnologias de CCS demandará, no futuro, infraestrutura específica de transporte e estocagem de CO₂, incluindo mapeamento geológico de áreas adequadas e definição de rotas de escoamento.

Para superar esses desafios, é necessário planejar e implementar uma expansão coordenada da infraestrutura. Centros logísticos regionais de biomassa, próximos a polos siderúrgicos e equipados com unidades de briquetagem e peletização, aumentariam a densidade energética e a facilidade de transporte, abastecendo tanto altos-fornos existentes, com misturas de biomassa briquetada e coque, quanto novas plantas. Para o gás natural e biometano, integrar Minas Gerais ao Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano (PNIIGB) permitiria a expansão da malha e a extensão de dutos da Gasmig para regiões industriais não atendidas. No setor elétrico, investimentos direcionados ao reforço da transmissão e distribuição em polos estratégicos garantiriam energia renovável competitiva



para rotas eletrointensivas. Por fim, o mapeamento de potenciais áreas de armazenamento de CO₂ é essencial para preparar o estado para o futuro uso de CCS.

Tecnologias associadas:

- substituição de combustíveis;
- redução direta a gás natural (RD-GN);
- captura e armazenamento de carbono (CCS).

Ações necessárias:

- criar centros logísticos regionais de biomassa com unidades de briquetagem e peletização;
- mapear a demanda por biogás e biometano para subsidiar o planejamento da expansão da rede de gasodutos;
- ampliar a rede de distribuição de gás natural e biometano;
- reforçar a infraestrutura elétrica voltada a polos industriais, com foco na transmissão e distribuição de energia renovável;
- promover maior integração entre SEDE e SEMAD/FEAM para agilizar o licenciamento de PCHs voltadas à autoprodução industrial;
- mapear áreas e rotas para transporte e armazenamento de CO₂.

Atores envolvidos:

- SEINFRA;
- SEDE;
- SEMAD;
- CIMC;
- Invest Minas;
- MDIC;
- MME;
- associações de municípios;
- associações setoriais;
- empresas do setor privado;
- instituições de ensino e pesquisa;
- Gasmig;
- CEMIG.

Impactos esperados:

- redução de custos e riscos na adoção de tecnologias de baixo carbono;



- aumento da competitividade industrial;
- segurança de suprimento energético;
- atração de investimentos privados.

Regulação e segurança jurídica

A consolidação de um ambiente de negócios favorável para a descarbonização industrial exige marcos regulatórios claros, atualizados e alinhados às melhores práticas internacionais. Em Minas Gerais, e no Brasil em geral, persistem lacunas normativas que afetam diretamente a viabilidade de investimentos e a adoção de tecnologias de baixo carbono. Entre elas, destacam-se: a ausência de regulamentação específica para armazenamento geológico de CO₂ no âmbito da CCS; a falta de normas para produção, transporte e uso do hidrogênio verde; a necessidade de revisão de normas técnicas setoriais, como as que limitam o teor de clínquer no cimento; regras pouco definidas para coprocessamento de resíduos urbanos; e a insuficiência de mecanismos para rastrear a origem legal e sustentável da biomassa utilizada industrialmente.

A ausência de um arcabouço regulatório robusto gera insegurança jurídica, levando empresas a adiar ou cancelar investimentos por receio de que operações não sejam autorizadas ou que créditos ambientais não sejam reconhecidos. No caso do CCS, embora a Lei nº 14.993/2024 (Combustível do Futuro) estabeleça diretrizes gerais de descarbonização, dispositivos específicos para captura e estocagem de CO₂ exigem normas claras sobre licenciamento de poços de injeção, gestão de responsabilidades pós-encerramento e definição de propriedade ou negociação de créditos de carbono associados. Para o hidrogênio verde, é necessário definir padrões de segurança para transporte e uso industrial, diretrizes para injeção em redes de gás e critérios de certificação vinculados à fonte elétrica utilizada.

Outro ponto crítico é a rastreabilidade da biomassa, que pode ser implementada por sistemas eletrônicos, integrando informações desde o plantio até o consumo final e fortalecendo a confiança de origem sustentável. Por fim, delimitar competências institucionais entre órgãos reguladores e fiscalizadores é essencial para evitar sobreposições e lacunas normativas.

Tecnologias associadas:

- adições ao clínquer;
- eficiência energética;
- substituição de combustíveis;
- redução direta a hidrogênio;
- captura e armazenamento de carbono (CCS).



Ações necessárias:

- atualizar e criar marcos regulatórios para CCS, hidrogênio verde, coprocessamento de resíduos, rastreabilidade da biomassa e revisão de normas técnicas;
- definir competências institucionais;
- estabelecer mecanismos de certificação e segurança operacional.

Atores envolvidos:

- SEMAD;
- SEDE;
- ALMG;
- CIMC;
- SEINFRA;
- associações setoriais como ABCP, ABIQUIM, IABr;
- MDIC;
- Congresso Nacional;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor;
- empresas do setor privado;
- instituições de ensino e pesquisa.

Impactos esperados:

- redução da insegurança jurídica;
- atração de investimentos privados;
- viabilização de tecnologias emergentes;
- alinhamento com padrões internacionais;
- agregação de valor a produtos certificados.

Incentivos econômicos e financiamento

O elevado custo inicial de tecnologias industriais de baixo carbono permanece como uma das principais barreiras à sua adoção em larga escala. Soluções como a RD-H₂, a implantação de sistemas de CCS, a substituição de fornos ou a adaptação de altos-fornos para operar com novas cargas demandam investimentos de grande porte e prazos longos de retorno. Apesar de instrumentos estratégicos como PLAC-MG e o PATEN, no âmbito federal, reconhecerem essa necessidade, ainda é incipiente a existência de mecanismos financeiros operacionais e incentivos econômicos dedicados que viabilizem tais investimentos.

Para transformar diretrizes em resultados concretos, é necessário um conjunto estruturado de políticas financeiras que equilibre o diferencial de custo entre tecnologias convencionais e soluções de baixo carbono, especialmente no período inicial de implantação. Linhas de crédito



específicas, com prazos compatíveis com o *payback* dos projetos, condições de carência adequadas e taxas reduzidas, podem ser viabilizadas por bancos públicos como o BNDES e o BDMG. Incentivos fiscais estaduais, como redução de ICMS sobre equipamentos verdes e créditos presumidos para uso de bioenergia ou sucata reciclada, complementariam esse esforço. Benefícios federais, como isenção de IPI para equipamentos eficientes, também ampliariam a competitividade.

Outra frente estratégica envolve tarifas diferenciadas de energia elétrica para indústrias que cumpram metas de eficiência ou utilizem fontes renováveis, fortalecendo a viabilidade de processos eletrointensivos, incluindo eletrólise para hidrogênio verde. A integração ao SBCE, instituído pela Lei 15.042/2024, representa também um incentivo indireto: ao precificar o carbono, cria-se valor econômico para cada tonelada de CO₂ evitada, permitindo monetização via créditos de carbono.

A criação de fundos estaduais de fomento climático ou a destinação de parte dos recursos do Fundo Climático Nacional pode subsidiar a diferença de custo entre tecnologias tradicionais e limpas, acelerando sua adoção. Para ampliar o alcance desses instrumentos, é essencial que empresas recebam assistência técnica para acessar financiamentos e incentivos, incluindo manuais, workshops e canais de atendimento especializados.

Tecnologias associadas:

- redução direta a hidrogênio (RD-H₂);
- forno a arco elétrico (EAF);
- captura e armazenamento de carbono (CCS).

Ações necessárias:

- criar linhas de crédito subsidiadas via BDMG e BNDES;
- implementar incentivos fiscais estaduais e defender benefícios federais;
- adotar tarifas diferenciadas para uso de energia renovável;
- defender a operacionalização do SBCE;
- criar fundos estaduais de fomento climático;
- oferecer assistência técnica para acesso aos instrumentos.

Atores envolvidos:

- SEF;
- SEDE;
- SEMAD;
- ALMG;
- CIMC;



- Ministério da Fazenda;
- MDIC;
- SENAI;
- instituições financeiras;
- empresas do setor privado.

Impactos esperados:

- redução do custo de capital;
- viabilização econômica de tecnologias limpas;
- atração de investimentos;
- monetização de reduções de emissões via créditos de carbono;
- maior competitividade industrial.

Integração de políticas públicas e coordenação institucional

A descarbonização industrial demanda uma abordagem integrada que ultrapasse fronteiras setoriais, exigindo alinhamento entre políticas públicas distintas e coordenação entre diferentes níveis de governo. Em Minas Gerais, coexistem iniciativas nas áreas de resíduos sólidos, energia, clima e desenvolvimento econômico que, embora complementares, operam de forma fragmentada. Essa fragmentação reduz a eficiência dos recursos públicos e limita o potencial de sinergias. Exemplos incluem a dissociação entre políticas de gestão de resíduos, que poderiam fornecer matéria-prima para combustíveis alternativos, e estratégias industriais de baixo carbono, ou a falta de articulação entre programas estaduais e competências federais em áreas como energia e tributação.

Planos e programas como o Fundo Clima, o projeto Siderurgia Sustentável, o Minas Recicla Energia e a agenda nacional Lixão Zero apresentam objetivos convergentes, mas carecem de mecanismos de integração. Situação similar ocorre na relação entre iniciativas de infraestrutura, como o Plano Nacional de Gás Natural, e plataformas de mercado. Sem uma instância coordenadora, essas agendas evoluem de forma paralela, sem capturar plenamente benefícios cruzados.

Para superar essa limitação, é necessário estabelecer estruturas de governança permanentes e instrumentos de planejamento conjunto. Fóruns intersetoriais envolvendo secretarias estaduais e representantes federais poderiam alinhar metas e ações de programas distintos, garantindo que políticas de resíduos priorizem insumos para coprocessamento energético ou que metas do PLAC-MG sejam desdobradas em objetivos específicos por setor. Essa integração também viabilizaria arranjos complexos, como hubs industriais de CCUS, que



dependem de coordenação entre a União, responsável pela regulação de poços de injeção, e o Estado, que pode criar incentivos locais e licenciar usos industriais do CO₂.

Minas Gerais já possui o Comitê Intragovernamental de Energia e Mudança do Clima (CIMC), presidido pelo Vice-Governador, que pode servir como plataforma para integrar agendas setoriais e articular com órgãos federais e municipais. A partir dessa base, é possível avançar para modelos de governança mais abrangentes, capazes de criar arranjos produtivos sustentáveis, compartilhar infraestrutura e potencializar mercados de baixo carbono.

Tecnologias associadas:

- eficiência energética;
- substituição de combustíveis.

Ações necessárias:

- criar e fortalecer fóruns intersetoriais permanentes;
- formalizar um Plano Setorial de Descarbonização Industrial;
- alinhar metas do PLAC-MG com programas de resíduos, energia e desenvolvimento econômico;
- firmar convênios e comitês técnicos federativos;
- incentivar plataformas integradas de negociação de gás e créditos de carbono.

Atores envolvidos:

- CIMC;
- SEMAD;
- SEDE;
- SECOM;
- Invest Minas;
- MMA;
- MME;
- MDR;
- MAPA;
- MDIC;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor;
- governos municipais;
- consórcios municipais;
- associações de municípios;
- associações setoriais;
- FIEMG;



Impactos esperados:

- captura de sinergias entre políticas;
- redução de metano em aterros e substituição de combustíveis fósseis;
- maior eficiência no uso de recursos públicos;
- clareza regulatória para o setor privado;
- viabilização de clusters industriais de baixo carbono.

Institucionalização de políticas de eficiência energética e modernização industrial

A modernização de parques industriais para incorporar medidas de eficiência energética e o uso de combustíveis alternativos é um elemento central na descarbonização do setor. Equipamentos e fornos obsoletos operam com baixo rendimento, desperdiçam energia e geram emissões elevadas. A substituição ou *retrofit* dessas unidades, embora tecnicamente viável, envolve custos de capital expressivos e possíveis interrupções operacionais, o que muitas vezes adia a decisão empresarial. Além disso, a introdução de combustíveis alternativos, como biomassa, biogás ou resíduos processados, enfrenta barreiras técnicas relacionadas à baixa densidade energética, alta umidade ou variabilidade de composição, comprometendo a eficiência de combustão e a estabilidade de processo. Esses fatores reduzem a competitividade frente aos combustíveis fósseis convencionais.

Superar essas barreiras requer políticas integradas que combinem incentivos financeiros, assistência técnica e definição de metas claras de eficiência. Linhas de crédito e subsídios específicos para modernização de plantas industriais, complementares aos instrumentos gerais de descarbonização, podem ser vinculados a programas nacionais como o Procel Indústria (CARVALHO, 2024) ou a iniciativas estaduais equivalentes. Esses programas devem apoiar a substituição de motores, caldeiras e sistemas utilitários por equipamentos de alto rendimento, além de fomentar tecnologias para preparação de combustíveis alternativos.

No caso da biomassa, processos de secagem para redução de umidade, briquetagem ou pelletização aumentam a densidade energética e melhoram a performance em altos-fornos. Em cimenteiras, o pré-tratamento de resíduos sólidos urbanos para produção de CDR, por meio de segregação, trituração e peletização, eleva o poder calorífico e padroniza a alimentação, permitindo substituir com segurança parte do coque de petróleo.

Ressalta-se a necessidade de institucionalizar e integrar as políticas de eficiência energética e modernização industrial, de modo a superar a fragmentação e a natureza pontual que caracterizam muitas iniciativas existentes. Em vez de programas isolados e de curto prazo, trata-se de construir uma arquitetura de políticas com maior perenidade, coerência e previsibilidade, capaz de orientar investimentos empresariais e sustentar a transição de longo prazo. A integração entre instrumentos financeiros, regulatórios e técnicos deve assegurar



consistência entre diferentes níveis de governo e setores produtivos. Com isso, cria-se um marco mais estável e confiável, que reduz riscos para empresas, amplia a eficiência do gasto público e se permite alinhar expectativas de forma crível o suficiente para destravar decisões de investimento.

A definição de metas graduais de redução do consumo energético específico por setor intensivo, alinhadas às melhores práticas internacionais, pode servir de referência para políticas de incentivo, condicionando benefícios fiscais ao atingimento de patamares de eficiência, por exemplo. Paralelamente, sistemas de medição e verificação robustos, com monitoramento contínuo de consumo energético e fluxo de carbono, forneceriam dados para avaliar ganhos e embasar ajustes de política.

Tecnologias associadas:

- eficiência energética;
- substituição de combustíveis.

Ações necessárias:

- criar linhas de crédito e programas para modernização e eficiência energética;
- investir em tecnologias de preparação de combustíveis alternativos;
- integrar políticas e estabelecer metas setoriais de eficiência;
- implementar sistemas de medição e verificação;
- vincular incentivos ao cumprimento de metas.

Atores envolvidos:

- SEDE;
- SEMAD;
- SEINFRA;
- CEMIG;
- Gasmig;
- governos municipais;
- consórcios municipais;
- instituições financeiras;
- Invest Minas;
- FIEMG;
- FAPEMIG;
- instituições de ensino e pesquisa;
- empresas do setor privado;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor.



Impactos esperados:

- redução de custos operacionais;
- diminuição de emissões;
- aumento da competitividade;
- viabilização técnica do uso de combustíveis alternativos.

Economia circular e gestão de resíduos

A consolidação de uma economia circular robusta é estratégica para reduzir emissões e ampliar a disponibilidade de matérias-primas recicladas para processos industriais, diminuindo a dependência de insumos virgens e a disposição final em aterros. Em Minas Gerais, dois desafios se destacam: a escassez de sucata metálica de alta qualidade e a ausência de sistemas integrados de informação sobre resíduos industriais disponíveis para reaproveitamento. Na siderurgia, a EAF depende criticamente de sucata ferrosa, recurso que, embora reciclável, cresce lentamente no Brasil devido ao baixo ritmo de renovação do consumo interno e à exportação do material.

No setor cimenteiro, há potencial para ampliar o uso de resíduos como escórias, cinzas, gesso e resíduos de construção civil como adições ou agregados. No entanto, faltam informações sistematizadas e normas que viabilizem e incentivem esse aproveitamento. Já na gestão de resíduos sólidos urbanos, persistem entraves logísticos e regulatórios que dificultam o uso do CDR em cimenteiras, apesar de iniciativas como o programa piloto Minas Recicla Energia demonstrarem viabilidade técnica e ambiental.

A ausência de integração entre geradores e usuários de resíduos, somada à insegurança jurídica sobre a classificação de subprodutos, limita a formação de cadeias circulares consistentes. Ferramentas como um banco de resíduos intersetorial, plataforma digital que conecte empresas geradoras e consumidoras de subprodutos, poderiam viabilizar simbioses industriais, como o fornecimento de cinza volante de usinas termelétricas para a indústria cimenteira. Paralelamente, critérios claros para determinar quando um resíduo deixa de ser classificado como tal (critérios de *end-of-waste*) reduziriam incertezas e destravariam investimentos em reciclagem e coprocessamento.

Ampliar a cadeia de reciclagem, modernizar sucateiros, expandir centrais de triagem e preparar resíduos para uso industrial, inclusive via parcerias com cooperativas de catadores, são ações essenciais. Além de benefícios ambientais, uma economia circular bem estruturada fortalece mercados para produtos reciclados e gera empregos, democratizando os ganhos econômicos.



Tecnologias associadas:

- substituição de combustíveis;
- forno a arco elétrico (EAF).

Ações necessárias:

- ampliar coleta e processamento de sucata metálica;
- fomentar a indústria de processamento de sucata;
- criar banco de resíduos intersetorial;
- revisar normas para classificação de subprodutos;
- expandir programas de CDR;
- incentivar uso de resíduos na construção civil;
- promover compras públicas sustentáveis.

Atores envolvidos:

- SEMAD;
- SEDE;
- instituições financeiras;
- Invest Minas;
- governos municipais;
- associações de municípios;
- empresas do setor privado;
- associações setoriais;
- cooperativas de catadores.

Impactos esperados:

- maior oferta interna de sucata;
- redução de emissões e consumo de energia;
- substituição de clínquer por materiais reciclados;
- menor disposição em aterros;
- geração de empregos;
- fortalecimento de cadeias circulares.

Valorização da produção sustentável e proteção comercial

A competitividade da indústria mineira na transição para uma economia de baixo carbono depende não apenas da capacidade de reduzir emissões, mas também de obter reconhecimento e valorização de mercado por produtos mais sustentáveis. Atualmente,



produtores de aço e cimento que investem em tecnologias limpas enfrentam concorrência de importados, muitas vezes mais baratos, mas com pegada de carbono elevada. Sem diferenciação clara, o mercado tende a precificar apenas pelo custo, desestimulando investimentos em inovação ambiental. A ausência de mecanismos que valorizem produtos de menor emissão enfraquece o incentivo econômico para adoção de tecnologias menos intensivas em GEE.

Para reverter esse cenário, é necessário estabelecer sistemas de certificação e rotulagem ambiental que permitam identificar, no ponto de compra, o impacto climático de cada produto. Selos verdes para aço com elevado conteúdo de sucata, ou para cimento com alto percentual de substituição de clínquer, auditados de forma independente, seriam instrumentos de sinalização ao mercado. Além disso, o poder de compra governamental pode impulsionar a demanda: critérios climáticos em licitações estaduais e municipais garantiriam preferência a fornecedores que comprovem menor pegada de carbono no ciclo de vida.

A conscientização de consumidores e cadeias *downstream* também é estratégica. Etiquetagem de carbono, campanhas de marketing setorial e promoção de casos de sucesso ajudam a criar reputação positiva para o “produto mineiro” sustentável.

No campo da proteção comercial, medidas de *level playing field* podem ser avaliadas em articulação com o governo federal, como mecanismos de ajuste de carbono na fronteira, semelhantes ao *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM) europeu, para compensar importações intensivas em carbono. Exigências de reporte de pegada para importadores poderiam ser um passo inicial, preparando o terreno para políticas mais robustas. Internamente, diferenciação tributária, como redução de ICMS para produtos certificados, reforçaria a competitividade doméstica.

Tecnologias associadas:

- adições ao clínquer;
- forno a arco elétrico (EAF).

Ações necessárias:

- criar sistemas de certificação e rotulagem de baixo carbono;
- incluir critérios climáticos em compras públicas;
- promover campanhas de valorização;
- articular proteção comercial em nível federal;
- implementar incentivos fiscais diferenciados para produtos certificados.



Atores envolvidos:

- SEDE;
- SEMAD;
- SEF;
- MDIC;
- Ministério da Fazenda;
- associações setoriais;
- empresas do setor privado;
- empresas públicas compradoras;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor.

Impactos esperados:

- maior participação de mercado e preço premium para produtos sustentáveis;
- proteção contra concorrência desleal;
- atração de investimentos verdes;
- consolidação da imagem de Minas como polo de indústria limpa.

Engajamento público e comunicação estratégica

O avanço da descarbonização industrial exige não apenas soluções técnicas e instrumentos econômicos, mas também um ambiente social e institucional favorável. Em Minas Gerais, a percepção da urgência climática e das oportunidades associadas às tecnologias de baixo carbono ainda é heterogênea entre setores industriais e formadores de opinião. Parte dos agentes econômicos não reconhece plenamente os riscos da inércia ou as vantagens competitivas que a transição tecnológica pode oferecer. Essa lacuna de percepção pode gerar resistência cultural, subaproveitamento de incentivos e atraso na adoção de inovações.

Para superar essa barreira, é essencial implementar uma estratégia de comunicação e engajamento consistente, que articule mensagens claras, baseadas em evidências e adaptadas a diferentes públicos. No setor empresarial, ações de sensibilização devem alcançar desde a alta liderança até equipes operacionais, mostrando como a transição energética se conecta à competitividade, à redução de riscos regulatórios e à atração de investimentos. Entre o público em geral, a comunicação deve destacar benefícios concretos, como melhoria da qualidade do ar, criação de empregos e fortalecimento da economia local.

Ferramentas de alto impacto incluem seminários técnicos, feiras setoriais e jornadas de inovação que apresentem casos de sucesso nacionais e internacionais, bem como demonstrações práticas de tecnologias como eletrolisadores de hidrogênio verde, plantas-piloto de CCS ou uso industrial de biomassa avançada. Campanhas públicas multicanal



podem ampliar o alcance, valorizando também os avanços já conquistados em Minas, como a liderança em área de florestas plantadas e a fabricação nacional de eletrolisadores.

O engajamento deve incluir academia, sociedade civil, associações setoriais e formadores de opinião, garantindo pluralidade de vozes e legitimidade. Premiações e desafios para empresas e startups inovadoras reforçam a visibilidade e criam emulação positiva no setor. Com mensagens consistentes, porta-vozes qualificados e articulação entre governo, indústria e mídia, a comunicação estratégica torna-se um vetor para acelerar a adesão à transição.

Tecnologias associadas:

- substituição de combustíveis;
- redução direta a hidrogênio (RD-H₂);
- captura e armazenamento de carbono (CCS).

Ações necessárias:

- estruturar campanha unificada de transição energética;
- realizar eventos e demonstrações tecnológicas;
- promover campanhas públicas destacando benefícios;
- criar programas de premiação para inovações de baixo carbono;
- envolver lideranças empresariais, acadêmicas e sociais como porta-vozes.

Atores envolvidos:

- SEMAD;
- SEDE;
- SEGOV;
- SECOM;
- MDR;
- MMA;
- MDIC;
- CIMC;
- FIEMG;
- associações de municípios;
- consórcios municipais;
- governos municipais;
- associações setoriais;
- sindicatos industriais;
- empresas do setor privado;
- instituições de ensino e pesquisa;



- mídia.

Impactos esperados:

- aumento da conscientização e aceitação social;
- maior engajamento empresarial;
- fortalecimento da cultura de inovação e sustentabilidade;
- posicionamento de Minas Gerais como polo de indústria verde;
- redução de resistências à implementação de políticas e tecnologias.



**INVEST
MINAS**

WVJ CARBON

PRIORIZAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES

O sentido de urgência imposto pela crise climática evidencia a necessidade de adotar uma ampla gama de estratégias capazes de acelerar a transição para uma economia de baixo carbono, articulando medidas de mitigação e adaptação climática em múltiplos setores. Em um cenário ideal, todas as medidas necessárias seriam implementadas simultaneamente. No entanto, a realidade é marcada por restrições de natureza institucional, capacidade técnica limitada e restrições orçamentárias.

Essa seção visa construir um ordenamento de recomendações, definindo um *roadmap* de quais programas, ações, formulações e articulações precisam ser priorizados para fortalecer um ambiente institucional que atraia capital e viabilize a execução de investimentos e a adoção das tecnologias priorizadas.

Reconhecendo o desafio de uma implementação simultânea das medidas necessárias, o C40 Cities *Climate Leadership Group* desenvolveu ferramentas que permitem a elaboração, avaliação, classificação e priorização de ações climáticas. A elaboração da priorização tem como inspiração a metodologia do C40 para classificação do critério de "poder/competência" (ou "*power to act*"), que integra a análise de viabilidade de ações climáticas no contexto urbano. A metodologia é detalhada em diversos documentos disponíveis no *C40 Knowledge Hub*⁶ (C40, 2025).

Essa abordagem avalia a autoridade legal e institucional que um município possui para implementar ações climáticas específicas. Ou seja, avalia em que medida há competência legal, institucional e prática para implementar uma ação climática ou política pública. Para isso, aplica-se um sistema de pontuação que gera uma matriz de pontuações conforme o nível de autonomia do ente para implementar a ação.

Apesar de inspirada nos princípios do C40, estabelecidos no *Climate Action Planning Framework*, essa metodologia foi customizada em algumas aplicações no Brasil (inclusive em projetos apoiados por C40, GIZ, ICLEI ou WRI) para refletir melhor a realidade multinível da

⁶ Essa metodologia pode ser especialmente encontrada em dois documentos: *Climate Action Planning Framework – C40 Knowledge Hub*, que fornece uma estrutura abrangente para o planejamento de ações climáticas, incluindo a avaliação da capacidade de implementação das cidades. Acesse em: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Climate-Action-Planning-Framework?language=en_US. E no *Action Selection and Prioritisation (ASAP) Tool – C40 Knowledge Hub*, ferramenta que auxilia as cidades na seleção e priorização de ações climáticas, considerando critérios como autoridade de implementação. Acesse em: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Action-Selection-and-Prioritisation-ASAP-Tool?language=en_US



governança climática brasileira. Assim, sua adoção permite a comparação padronizada de várias ações climáticas, permitindo a priorização daquelas com maior poder de execução e menor complexidade institucional.

Além do *Climate Action Planning Framework*, também foi considerado o guia de seleção e priorização de ações (ASAP, na sigla em inglês), que visa oferecer uma ferramenta metodológica que permita apoiar governos locais na seleção, avaliação e priorização de ações climáticas. O objetivo da metodologia não é o de fornecer uma lista única e definitiva de prioridades, mas sim o de hierarquizar ações com base em múltiplos critérios, promovendo escolhas mais estratégicas e transparentes, ampliando a chance de implementação efetiva (C40, 2025).

O processo de priorização apresentado pela metodologia baseia-se na avaliação de três categorias: benefícios primários, cobenefícios e viabilidade. Os benefícios primários são aqueles relacionados ao potencial de mitigação e adaptação climática, ou seja, contribuem tanto para a redução de emissões quanto para a redução de riscos. Os cobenefícios são aqueles que ultrapassam os benefícios climáticos diretos, como a geração de novos postos de trabalho, a redução do custo de vida ou a melhoria da qualidade do ar (C40, 2025). Por sua vez, a viabilidade diz respeito à facilidade ou dificuldade em implementar determinada ação. Ela está baseada em uma gama de fatores que envolvem custo, competência legal para implementação, prontidão tecnológica e aceitação.

A aplicação da metodologia segue com a atribuição de uma pontuação para cada ação considerada por categoria, o que permite uma melhor comparação do desempenho das ações não apenas entre as categorias, mas também dentro de cada uma mesma categoria (C40, 2025).

No âmbito do projeto Rota, optou-se por adotar uma versão adaptada da metodologia de priorização do C40, com o intuito de alinhar os critérios avaliação às especificidades do projeto, preservando o sentido original da metodologia. Assim, o benefício considerado esteve diretamente relacionado à contribuição de cada recomendação para o objetivo de mitigação estabelecido no cenário Rota, mensurado em termos percentuais de participação das tecnologias associadas a cada recomendação.

Com relação à viabilidade, foi estabelecido conjuntamente o custo das tecnologias vinculadas a cada recomendação, entendido como um fator determinante para a capacidade de implementação, e a diversidade de atores envolvidos na execução das recomendações, uma vez que a presença de múltiplos agentes atua tanto na ampliação de legitimidade do processo quanto na ampliação da complexidade envolvida na implementação, em função da necessidade de articular e compatibilizar interesses, competências e capacidades distintas.



Assim, a matriz de pontuações fundamenta-se em um conjunto de critérios que permite o aproveitamento dos produtos anteriores, com destaque para os parâmetros estimados na MACC que permitem observar o custo marginal de abatimento para cada tecnologia e sua respectiva contribuição nos cenários de mitigação. Além disso, a adaptação propõe a simplificação dos critérios de poder e competência, tomando como referência as informações geradas no capítulo anterior, que detalha as recomendações e identifica os atores envolvidos. Com base nesse conjunto de critérios, a metodologia proposta divide-se em duas dimensões de pontuação que qualificam cada recomendação, conforme apresentado a seguir.

A) Contribuição da recomendação ao objetivo de mitigação

Potencial de mitigação

Corresponde à soma das contribuições das tecnologias vinculadas à determinada recomendação no total acumulado de mitigação do Cenário Rota para o setor. Quanto maior a relevância dessas tecnologias na proporção de GEE evitados nesse cenário, maior será a contribuição das ações e dos atores envolvidos para o plano de mitigação, por meio da viabilização e implementação das tecnologias associadas às recomendações.

B) Viabilidade

Grau de autonomia

O Grau de autonomia é definido de forma inversamente proporcional à diversidade de atores envolvidos na implementação das ações associadas a cada recomendação, permitindo atribuir pontuações que reflitam diferentes níveis de complexidade na articulação entre eles, como os atores privados, sociedade civil, poderes legislativo e judiciário, agências reguladoras, outros níveis de governo. Ressalta-se, contudo, que a diversidade de atores não deve ser entendida como um aspecto negativo. Pelo contrário, iniciativas públicas que envolvem mais amplamente atores diferentes tendem a ser mais inclusivas e representativas. No entanto, a efetiva inclusão de atores diversos, posicionados em diferentes organizações e setores da sociedade, cujos interesses podem ser eventualmente divergentes ou conflitantes em determinados aspectos, tenderia a demandar maiores recursos de comunicação, articulação e formalização de instrumentos de coordenação. Essa necessidade adicional de mobilização de recursos configura-se, portanto, como um elemento sensível para dimensionar viabilidade de implementação das recomendações e de conduzir o planejamento de ações futuras.

A diversidade de atores foi esquematizada em três níveis que representam o grau de proximidade ao estado de Minas Gerais.



- O primeiro nível engloba as instituições que se encontram predominantemente sob autoridade administrativa direta do governo estadual, como secretarias e órgãos estaduais;
- O segundo nível engloba as instituições públicas e atores estatais que não estão subordinados diretamente ao governo estadual ou que possuem autonomia administrativa. Esse grupo demanda articulação e cooperação, incluindo as relações com outras esferas de governo (União e os municípios), órgãos reguladores, Poder Judiciário, Poder Legislativo, além de instituições de ensino e pesquisa;
- O terceiro nível engloba as instituições que não são compostas essencialmente por atores que seguem a lógica estatal, abrangendo o setor privado, sociedade civil, instituições financeiras e demais atores de interesse privado.

Grau de atratividade econômica

É definido de forma inversamente proporcional ao custo marginal das tecnologias atreladas à recomendação. Quanto maior o custo marginal, maiores tendem a ser os recursos governamentais necessários para fomentar a adoção das tecnologias pelos atores privados, cujas decisões geralmente se orientam com base em rentabilidade e perspectiva de ganhos ao se tratar de inovação tecnológica e de investimentos. Dessa forma, recebem maior pontuação as recomendações atreladas predominantemente a tecnologias de baixo ou mesmo de custo marginal negativo, que indicam uma relação custo-benefício atrativo envolvendo a adoção da tecnologia inovadora.

Considerando que os critérios de potencial de mitigação e de atratividade econômica dizem respeito às tecnologias e não diretamente às recomendações a serem priorizadas, foi elaborada uma matriz que relaciona as tecnologias e recomendações, permitindo atribuição indiretas desses critérios. Em outras palavras, a viabilidade e a contribuição de cada recomendação são inferidas a partir das tecnologias a que estão associadas. Dessa forma, ganham as recomendações vinculadas a tecnologias com maior potencial de mitigação e menores custos estimados na MACC⁷. O Quadro 5 apresenta as associações entre tecnologias e recomendações que foram previamente demonstradas no capítulo anterior.

⁷ As recomendações foram definidas a partir do mapeamento de barreiras e de políticas públicas de forma específica para cada tecnologia, de modo que cada recomendação apresenta correspondências mais alinhadas com determinadas tecnologias do que com outras. Naturalmente, é razoável reconhecer que esforços direcionados ao aprimoramento de políticas públicas e à melhora do ambiente institucional, visando atrair investimentos, geram benefícios amplos e indiretos para todas as tecnologias do setor. Porém, foca-se nas associações diretas e mais evidentes entre as recomendações e as tecnologias, aplicando, assim, uma correspondência mais estrita de sorte a enfatizar diferenciais de prioridade entre elas.



Quadro 5: Matriz de associação entre recomendações e tecnologias - Indústria

| Tecnologia/Recomendação | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Ferro-gusa e aço: Forno a arco elétrico (EAF) | | | | | | | | | | |
| Ferro-gusa e aço: BF-BOF a carvão vegetal | | | | | | | | | | |
| Ferro-gusa e aço: Redução direta a gás natural (RD-GN) | | | | | | | | | | |
| Ferro-gusa e aço: Redução direta a hidrogênio (RD-H2) | | | | | | | | | | |
| Ferro-gusa e aço: Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) | | | | | | | | | | |
| Ferro-gusa e aço: Eficiência energética | | | | | | | | | | |
| Ferroligas: Substituição de combustíveis | | | | | | | | | | |
| Ferroligas: Eficiência energética | | | | | | | | | | |
| Cimento: Substituição de combustíveis | | | | | | | | | | |
| Cimento: Eficiência energética | | | | | | | | | | |
| Cimento: Adições ao clínquer | | | | | | | | | | |
| Cimento: Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) | | | | | | | | | | |
| Química: Substituição de combustíveis | | | | | | | | | | |
| Química: Eficiência Energética | | | | | | | | | | |
| Mineração: Substituição de combustíveis | | | | | | | | | | |
| Mineração: Eficiência Energética | | | | | | | | | | |
| Outras indústrias: Substituição de combustíveis | | | | | | | | | | |
| Outras indústrias: Eficiência Energética | | | | | | | | | | |

Fonte: elaboração própria.

Os números apresentados no gráfico correspondem às seguintes recomendações: (1) Capacitação Técnica e Profissional; (2) Pesquisa Aplicada e Desenvolvimento Tecnológico; (3) Infraestrutura Logística e Suprimento de Insumos; (4) Regulação e Segurança Jurídica; (5) Incentivos Econômicos e Financiamento; (6) Integração de Políticas Públicas e Coordenação Institucional; (7) Institucionalização de Políticas de Eficiência Energética e Modernização Industrial; (8) Economia Circular e Gestão de Resíduos; (9) Valorização da Produção Sustentável e Proteção Comercial; (10) Engajamento Público e Comunicação Estratégica



Após a definição das associações entre recomendações e tecnologias, bem como a classificação dos atores envolvidos em categorias que permitam inferir sua diversidade, os resultados de cada um dos três critérios foram normalizados em uma escala 0 a 1 pelo método min-max⁸. Essa etapa garante a comparabilidade entre critérios, gerando escalas homogêneas que possibilitam a agregação e permitem interpretar as pontuações de forma direta: quanto mais próximo de 1, maior a contribuição positiva do critério para a agregação. A dimensão da contribuição apresenta apenas 1 único indicador e, portanto, não envolve agregação. Já a dimensão de viabilidade é composta por dois indicadores: (i) grau de autonomia, dado pela diversidade de atores envolvidos, e (ii) o grau de atratividade econômica, dado pelo custo marginal das tecnologias associadas à recomendação. Nesse caso, a consolidação se dá a partir de média simples entre ambos.

A avaliação bidimensional permite visualizar com clareza as recomendações. Quando ambas as pontuações se aproximam de 1, tais recomendações tendem a apresentar maior potencial de:

- maximizar as condições para que os atores públicos avancem no objetivo central de mitigação;
- minimizar os esforços de articulação necessários para a interação entre diferentes atores.

Ressalta-se que o método de ordenação das recomendações com base nos critérios elencados não esgota todos os aspectos relevantes que poderiam ser considerados para fins de priorização. Existem dimensões de complexidade que não se expressam necessariamente pela diversidade de atores ou pelo custo das tecnologias envolvidas. Da mesma forma, os benefícios socioambientais não se limitam à contribuição das tecnologias ao Cenário Rota. Trata-se, portanto, de uma simplificação que busca aproveitar as informações levantadas e passíveis de sistematização dentro dos limites deste estudo, o qual abrange um universo amplo e diverso de tecnologias. Por isso, exige-se certo grau de simplificação para gerar visões sintéticas e sumarizadas de um conjunto tão abrangente de informações.

A Figura 6 retrata a dispersão das recomendações abordadas no capítulo anterior com base nas duas dimensões. As recomendações foram classificadas conforme sua posição relativa no gráfico, priorizando aquelas que se encontram mais distantes da origem dos eixos, ou seja, que apresentam simultaneamente alta contribuição e alta viabilidade. Por exemplo, embora

⁸ A normalização Min-Max é um processo que ajusta os valores de uma variável para caberem em uma nova escala, geralmente entre 0 e 1. Para isso, identifica-se primeiro qual é o menor e qual é o maior valor da variável. O menor valor passa a ser representado como 0 e o maior como 1. Os demais valores são colocados proporcionalmente entre esses dois extremos. A ordem dos dados não muda, apenas a escala, tornando comparável as escalas de indicadores medidos em diversas unidades de medida.



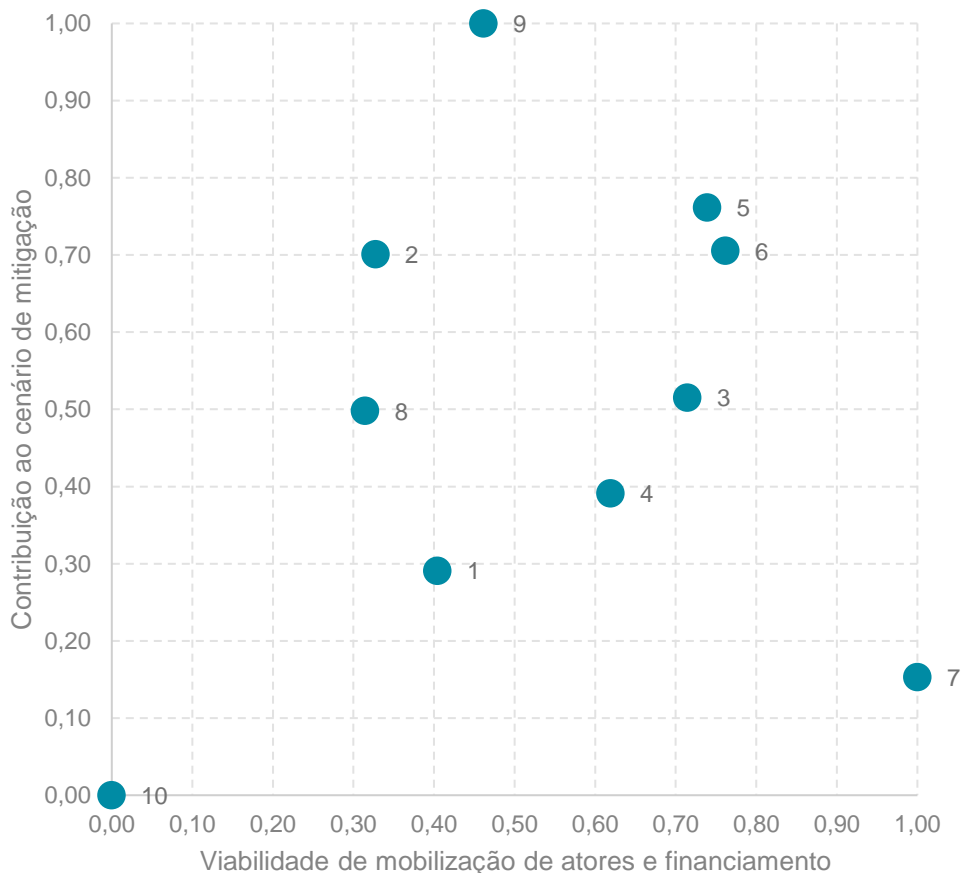
as recomendações 5 e 6 apresentem uma viabilidade de mobilização de atores semelhante, a recomendação 5 se sobressai em termos de mitigação, o que justifica sua precedência na priorização. Outro exemplo é a priorização da recomendação 9 em relação à 3. nota-se que, apesar de sua viabilidade de mobilização de atores e financiamento ser inferior à da recomendação 3, essa limitação é compensada pelo impacto substancial que pode gerar na mitigação das emissões. Em contraste, a recomendação 3, apesar de possuir boa viabilidade operacional, oferece uma contribuição moderada para a mitigação, situando-se em um patamar intermediário.

Nesse sentido, a priorização não se baseia em um único critério, mas sim na avaliação conjunta das duas dimensões, ponderando os *trade-offs* entre impacto potencial e complexidade de implementação. Recomendações com pontuação intermediária ou baixa em uma das dimensões foram posicionadas em sequência, respeitando a lógica de maximização dos benefícios e minimização dos esforços de articulação.

A seguir, é avaliada individualmente cada recomendação.



Figura 6: Dispersão das recomendações de políticas públicas em relação à sua contribuição para a mitigação de emissões e à sua viabilidade em termos da mobilização de atores e financiamento



Fonte: Elaboração própria.

Os números apresentados no gráfico correspondem às seguintes recomendações: (1) Capacitação Técnica e Profissional; (2) Pesquisa Aplicada e Desenvolvimento Tecnológico; (3) Infraestrutura Logística e Suprimento de Insumos; (4) Regulação e Segurança Jurídica; (5) Incentivos Econômicos e Financiamento; (6) Integração de Políticas Públicas e Coordenação Institucional; (7) Institucionalização de Políticas de Eficiência Energética e Modernização Industrial; (8) Economia Circular e Gestão de Resíduos; (9) Valorização da Produção Sustentável e Proteção Comercial; (10) Engajamento Público e Comunicação Estratégica.

Incentivos Econômicos e Financiamento (5)

Contribuição entre as mais altas. Viabilidade entre as mais altas: diversidade reduzida facilita desenho e implementação, com atratividade econômica relativamente melhor que a de outras recomendações.

Integração de Políticas Públicas e Coordenação Institucional (6)

Contribuição alta. Viabilidade alta: diversidade moderada e boa atratividade econômica.



Valorização da Produção Sustentável e Proteção Comercial (9)

Contribuição alta. Viabilidade intermediária: diversidade de atores elevada e atratividade econômica heterogênea entre as tecnologias vinculadas.

Infraestrutura Logística e Suprimento de Insumos (3)

Contribuição média. Viabilidade alta graças à menor diversidade de atores (maior autonomia), embora com atratividade econômica abaixo da média.

Institucionalização de Políticas de Eficiência Energética e Modernização Industrial (7)

Contribuição baixa. Viabilidade alta: boa atratividade econômica das tecnologias e diversidade de atores reduzida.

Pesquisa Aplicada e Desenvolvimento Tecnológico (2)

Contribuição alta. Viabilidade moderada-baixa: diversidade elevada aumenta a complexidade de arranjos e a atratividade econômica é relativamente alta.

Regulação e Segurança Jurídica (4)

Contribuição ligeiramente abaixo da média. Viabilidade intermediária: diversidade moderada-baixa favorece execução, ainda que a atratividade econômica associada seja inferior.

Economia Circular e Gestão de Resíduos (8)

Maior contribuição relativa do portfólio. Viabilidade média: diversidade alta requer governança mais intensa e atratividade econômica mediana. Prioridade para capturar parcela expressiva do potencial setorial com arranjos claros de responsabilização.

Capacitação Técnica e Profissional (1)

Contribuição moderada. Viabilidade intermediária: diversidade de atores entre as mais altas (coordenação extensa) e atratividade econômica relativamente favorável nas tecnologias associadas.

Engajamento Público e Comunicação Estratégica (10)

Contribuição muito baixa. Viabilidade entre as mais baixas: diversidade alta e atratividade econômica inferior nas tecnologias atreladas. Útil para legitimidade e difusão, dependente de coordenação com medidas de maior impacto direto.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada de barreiras e políticas públicas voltadas à promoção de tecnologias priorizadas no Cenário Rota no setor da indústria revela um conjunto de possibilidades de ação do estado de Minas Gerais. A transição para uma economia de baixo carbono exige uma abordagem sistêmica, que articule regulação, financiamento, infraestrutura, capacitação e engajamento social.

As recomendações para o setor da indústria apontam para uma transformação profunda rumo à descarbonização, à modernização e à competitividade sustentável. A capacitação técnica e profissional é um ponto de partida essencial, pois a escassez de profissionais qualificados compromete a adoção de tecnologias limpas como CCS, hidrogênio verde e eficiência energética. Programas estaduais de formação, em parceria com SENAI e universidades, aliados ao financiamento de pesquisa aplicada e testes piloto, são instrumentos estratégicos para adaptar tecnologias às condições locais e reduzir riscos associados à baixa maturidade de algumas soluções.

No contexto econômico, o alto custo inicial das tecnologias como RD-H₂ e EAF representa uma barreira crítica. Por isso, a ampliação de linhas de crédito, incentivos fiscais, tarifas diferenciadas e fundos climáticos é indispensável para destravar investimentos e viabilizar a adoção dessas soluções.

A valorização da produção sustentável e a proteção comercial dos produtos sustentáveis são estratégias complementares. Certificações, compras públicas sustentáveis e campanhas de comunicação podem fortalecer a cadeia produtiva nacional e reduzir riscos associados à volatilidade dos mercados internacionais.

No eixo político-regulatório, a atualização de normas e a definição clara de competências são fundamentais para reduzir inseguranças jurídicas e acelerar a adoção de tecnologias emergentes. A integração de políticas públicas e a coordenação institucional, por meio de fóruns de coordenação intergovernamental e metas e indicadores compartilhados, são essenciais para garantir sinergia entre programas e maior eficiência na execução.

Além disso, a infraestrutura logística e o suprimento de insumos também demandam atenção. A baixa capilaridade de redes de gás natural, os gargalos na cadeia da biomassa e a ausência de infraestrutura para CCS limitam a viabilidade técnica das tecnologias. Medidas como o mapeamento da demanda por biometano e a criação de centros logísticos regionais são estratégicas para ampliar o acesso e reduzir custos.

Por fim, a economia circular, ao promover a integração entre os atores do setor e o aproveitamento de recursos, juntamente com o engajamento público, são vetores estratégicos



para ampliar a aceitação social, reduzir resistências culturais e posicionar Minas Gerais como referência nacional em indústria limpa.

A priorização das recomendações foi orientada por critérios de contribuição para a mitigação de emissões e viabilidade de implementação, considerando o custo marginal das tecnologias e a diversidade de atores envolvidos. Nesse contexto, destacam-se como prioritárias as recomendações voltadas à ampliação de incentivos econômicos e financiamento, à integração de políticas públicas e à institucionalização de medidas de eficiência energética e modernização industrial. Essas ações apresentam elevada capacidade de mobilização, menor complexidade institucional e estão associadas a tecnologias com boa relação custo-benefício, o que favorece sua adoção e amplia a competitividade do setor.

Além disso, recomendações como a valorização da produção sustentável, a infraestrutura logística e o desenvolvimento tecnológico também ocupam posição estratégica, por contribuírem significativamente para a viabilização de tecnologias emergentes e para a consolidação de um ambiente industrial mais inovador e resiliente. Embora algumas ações demandem maior articulação intersetorial, como as voltadas à economia circular e ao engajamento público, sua implementação é essencial para garantir legitimidade social, ampliar sinergias entre setores e sustentar a transição de longo prazo. Portanto, ainda devem ser tratadas como habilitadoras, por contribuírem indiretamente para a adoção das tecnologias. Porém, sua execução pode se dar em fases subsequentes, articuladas a medidas estruturantes já em curso.

A combinação entre ações de alto impacto e medidas estruturantes permitirá ao estado de Minas Gerais construir uma trajetória de descarbonização mais eficiente e resiliente, alinhando esforços regulatórios, financeiros e institucionais. Essa abordagem estratégica maximiza os benefícios climáticos e minimiza os riscos de fragmentação e ineficiência na implementação das políticas públicas.

Em síntese, a descarbonização do setor exige uma abordagem sistêmica, que vá além da simples adoção de tecnologias. A combinação entre regulação eficaz, incentivos econômicos, capacitação técnica, infraestrutura adequada e engajamento social pode transformar os desafios identificados em oportunidades de desenvolvimento sustentável. Minas Gerais tem condições de liderar esse processo, posicionando-se como referência nacional na transição para uma economia de baixo carbono, inovadora e inclusiva.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA MINAS. **Nova rodada do Compete Minas destina R\$ 50 milhões para impulsionar o setor produtivo mineiro.** [s. l.], 2025. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/nova-rodada-do-compete-minas-destina-r-50-milhoes-para-impulsionar-o-setor-produtivo-mineiro>. Acesso em: 24 set. 2025.

BNDES. **Descarbonização da Indústria de Base.** Rio de Janeiro, RJ: BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2024 a. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/25847/1/PRLiv_216288_Descarboniza%C3%A7%C3%A3o%20da%20ind%C3%BAstria%20de%20base.pdf. Acesso em: 13 ago. 2025.

BNDES. **Descarbonização da Indústria de Base.** [S. l.]: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2024 b. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/25847/1/PRLiv_216288_Descarboniza%C3%A7%C3%A3o%20da%20ind%C3%BAstria%20de%20base.pdf. Acesso em: 4 ago. 2025.

C40. **Action Selection and Prioritisation (ASAP) tool.** [s. l.], 2025. Disponível em: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Action-Selection-and-Prioritisation-ASAP-Tool?language=en_US. Acesso em: 14 ago. 2025.

CARVALHO, L. **Eficiência energética: Procel libera R\$ 6,5 milhões para melhorias em sistemas de ar comprimido.** [s. l.], 2024. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/competitividade/eficiencia-energetica-procel-libera-r-65-milhoes-para-melhorias-em-sistemas-de-ar-comprimido/>. Acesso em: 24 set. 2025.

Climate Action Planning Framework. . , [s. d.]. Disponível em: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Climate-Action-Planning-Framework?language=en_US. Acesso em: 14 ago. 2025.

CNI, C. N. da I. **Descarbonização da indústria: análise de experiências internacionais e recomendações para o Brasil.** Brasília, DF: Cni, 2024. *E-book*. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/f6/dd/f6ddb14-6eea-4c18-a008-7c05b778ec3e/id_248438_descarbonizacao_da_industria_interativo.pdf. Acesso em: 17 set. 2025.

DE OLIVEIRA, E. K. **Avaliação do uso de biocarbono de bagaço de cana-de-açúcar e Eucalipto na reciclagem de carepa via autorredução.** 2024. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/283455/001218506.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 ago. 2025.

GADELHA, S. R. de B. **Política Econômica e Programação Financeira.** <http://www.enap.gov.br/>, 2017. Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/jspui/handle/1/3170>. Acesso em: 31 jul. 2025.

HOWLETT, M. **Política pública: seus ciclos e subsistemas uma abordagem integral.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

IEA. **Iron and Steel Technology Roadmap: Energy Technology Perspectives.** Paris: [s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>. Acesso em: 14 ago. 2025.



LOWI, T. J. Four Systems of Policy, Politics, and Choice. **Public Administration Review**, v. 32, n. 4, p. 298, 1972. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/974990>. Acesso em: 17 set. 2025.

MARQUES, E. C.; FARIA, C. A. P. de. **A política pública como campo multidisciplinar**. 1ª edição ed. São Paulo, SP : Rio de Janeiro, RJ: Editora UNESP ; Editora Fiocruz, 2013.

OLIVEIRA, R. C. de. Panorama do hidrogênio no Brasil. **Texto para Discussão**, p. 61, 2022. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/2787_218762_td_2787_web.pdf. Acesso em: 9 set. 2025.

SOLAR PAYBACK. **Energia Termossolar para a Indústria**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2018/08/SHIPBrasil-PT2018_FINAL.pdf. Acesso em: 14 ago. 2025.

THIEL, G. P.; STARK, A. K. To decarbonize industry, we must decarbonize heat. **Joule**, v. 5, n. 3, p. 531–550, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.12.007>. Acesso em: 14 ago. 2025.

UNEP-CCC. **TNA Step by Step - A guidebook for countries preparing Technology Needs Assessments and Action Plans (2nd edition)**. [S. l.]: 4 United Nations Environment Programme – Copenhagen Climate Centre, 2024. Disponível em: <https://tech-action.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/2/2025/01/tna-step-by-step-guidebook-2024.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2025.



ANEXO A - Mapeamento e classificação de barreiras

| Tecnologia | Tipo de barreira mapeada | | | | | |
|---|---|--|--|--|---|-------------------|
| | Política e regulatória | Institucional | Financeira | Tecnológica | Informacional | Cultural e social |
| Tecnologias Incluídas na MACC | | | | | | |
| Cimento: Adições ao clínquer | Normas restringem o uso de fíler calcário em no máximo 10% ¹ | Dificuldade de compreensão das capacidades e necessidades do setor ^[GT] | - | Oferta de aditivos pode não ser suficiente ¹ . Algumas adições podem reduzir o desempenho do cimento ² | - | - |
| Cimento: Captura e armazenamento de carbono (CCS) | Ausência de regulamentações, políticas públicas e incentivos específicos ¹ | - | Altos custos operacionais e de investimento ¹ , além de concorrência com outras opções de CCS ^[GT] | Tecnologia em estágio inicial e falta de infraestrutura. ¹ Necessita de P&D ^[GT] . | Falta de informação e desconfiança quanto à segurança e eficácia do armazenamento geológico de CO ₂ ¹ | - |
| Cimento: Eficiência energética | - | - | Altos custos com retrofit de plantas mais antigas e com importação de equipamentos ¹ | Características dos combustíveis alternativos podem dificultar a queima eficiente ¹ | - | - |

¹ Visedo, Gonzalo; Pecchio, Marcelo. *Roadmap tecnológico do cimento no Brasil*. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. Disponível em: https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Roadmap_Tecnologico_Cimento_Brasil_Book-1.pdf.

^[GT] Fonte: Consulta aos Grupos de Trabalho

² SIKA BRASIL. *Aditivos para cimento: pozolanas na composição do cimento*. São Paulo: Sika, 2024. Disponível em: <https://bra.sika.com/dms/getdocument.get/e94b5639-204a-4378-9f6a-935430fe97d8/08-15-glo-brochure-pozzolans-in-cement-blends-pt.pdf>.



| | | | | | | |
|--|--|---|--|--|---|---|
| Cimento: Substituição de combustíveis | Ausência de normas específicas e de incentivos legais claros gera insegurança e limitações no uso e dificuldade de estabelecimento de contratos de longo prazo. 3,4 | - | Alto custo de tecnologias específicas e de transporte. Baixo custo de aterros tornam o coprocessamento menos competitivo 3,4,5 Dificuldades logísticas [GT] | Características dos resíduos podem requerer tecnologias específicas, limitando aqueles que poderiam ser utilizados para o coprocessamento ⁴ | - | - |
| Ferro-gusa e aço: Captura e armazenamento de carbono (CCS) | Faltam diretrizes para licenciamento, monitoramento e responsabilidade pelo CO ₂ armazenado ⁶ | - | - | Carência de informações, fornecedores especializados, além de riscos na operação de longo prazo ⁵ | - | - |

³ OLIVEIRA, Eduardo. *Avaliação do uso de biocarbono de bagaço de cana-de-açúcar e eucalipto na reciclagem de carepa via autorredução*. Tese (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/283455>.

⁴ SANTOS, Geanesson et al. *AVALIAÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM ESTAÇÕES – TUBO PARA AS DIFERENTES ÁREAS DE ZONEAMENTO DA CIDADE DE CURITIBA*. Setor de Tecnologia da UFPR, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/342452763>.

⁵ MEYSTRE, Josué. *Análise do Coprocessamento de Resíduo Sólido Urbano na Indústria de Cimento Portland no Brasil*. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/502>.

[GT] Fonte: Consulta aos Grupos de Trabalho

⁶ CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *Captura, utilização e armazenamento de carbono: experiências internacionais e o potencial brasileiro*. Brasília: CNI, 2024. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/e1/7b/e17b2609-cd81-4496-be40-c4f90c7b40a7/id_248435_captura_utilizacao_e_armazenamento_de_carbono_interativo.pdf.



| | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|---|
| Ferro-gusa e aço: BF-BOF a carvão vegetal | - | - | Elevados custos com a logística e armazenamento de biomassa ³ | Variabilidade da biomassa exige ajustes nos processos de produção, além de modificações estruturais ³ | - | - |
| Ferro-gusa e aço: Forno a arco elétrico (EAF) | Dificuldade no processo de licenciamento de PCHs em MG ^[GT] | - | Eletrificação exige grandes volumes de eletricidade renovável de baixo custo, o que ainda é um desafio no Brasil ⁷ | Ausência de sucata de qualidade em quantidades suficientes, necessidade de minério de alta qualidade e problemas de qualidade do produto ^{7,8} | - | - |
| Ferro-gusa e aço: Redução direta a hidrogênio (RD-H2) | Regulação ainda é incipiente e necessita aprimoramento. Importação de produtos com alta pegada de carbono a preços baixos desestimula investimentos ^{8,9,10} Dificuldade no processo de licenciamento de PCHs em MG ^[GT] | - | Elevados custos de produção e de infraestrutura relacionado ao hidrogênio verde ¹⁰ | - | Diversidade de fontes de energia renovável no Brasil reduz a percepção de urgência quanto à adoção do hidrogênio verde ⁹ | - |

^[GT] Fonte: Consulta aos Grupos de Trabalho

⁷ AKIAMA, Solange; SPERS, Renata Giovanazzo. Circular economy in the steel Brazilian industry: trends and future challenges. Iberoamerican. *Journal of Sustainable Competitive Intelligence*, v. 14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24883/eagleSustainable.v14i.449>.

⁸ FERNANDES, Patrícia Dias et al. Descarbonização da indústria de base. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2024. 122 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/25847>.

⁹ SILVA, Débora. Os principais desafios do uso do hidrogênio no contexto brasileiro para a descarbonização: uma breve revisão bibliográfica. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (MBE Energia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.iepuc.puc-rio.br/dados/files/2019/TCC-MBE-Energia-Debora_Cristina_Ferreira_da_Silva.pdf.

¹⁰ DI FOGGIA, Giacomo; BECCARELLO, Massimo. Decarbonization in the European Steel Industry: Strategies, Risks, and Commitments. Elsevier, Amsterdam, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010024001549%0A>



**INVEST
MINAS**

WV CARBON

| | | | | | | |
|---|---|--|--|--|---|---|
| Ferro-gusa e aço: Redução direta a gás natural (RD-GN) | - | Falta de infraestrutura de transporte do gás natural, principalmente offshore ⁸ | Custo elevado custo no Brasil, comparativamente a outras fontes energéticas e outras regiões ⁸ | - | - | - |
| Ferroligas: Eficiência energética | - | - | - | Ausência de sucata de qualidade em quantidades suficientes e necessidade de minério de alta qualidade ^{7,8} | - | - |
| Ferro e aço: Eficiência energética | - | - | - | Ausência de sucata de qualidade em quantidades suficientes e necessidade de minério de alta qualidade ^{7,8} | - | - |
| Mineração: Eficiência energética | - | - | Altos investimentos para a substituição de equipamentos antigos ⁸ | - | - | - |
| Química: Eficiência Energética | - | - | Altos investimentos na substituição de caldeiras e custos de produção precisam ser competitivos ⁸ | - | - | - |
| Outras Indústrias: Eficiência energética | Faltam políticas atualizadas além das medidas emergenciais em eficiência e conservação de energia ¹¹ | Escassez de profissionais capacitados para pesquisar e avaliar | Escassez de incentivos, subsídios e programas de crédito em eficiência energética ¹¹ | - | - | - |

¹¹ REGIS, Arthur Henrique de Pontes; SANTOS, Gustavo Henrique Queiroz dos; MELO, Roberto Matias da Silva. Direito Aplicado – Volume 1: Agenda 2030 (Direito e Interdisciplinaridade). São Paulo: Insigne Acadêmica, 2023. 262 p.



| | | processos e tecnologias ¹² | | | | |
|---|--|---------------------------------------|---|---|---|---|
| Mineração: Substituição de combustíveis | Ausência de uma regulação clara e adequada para garantir a origem e a rastreabilidade da biomassa ⁸ | - | - | Necessidade de suprimento de carvão vegetal em larga escala e disponibilidade de áreas para florestas plantadas ⁸ | - | - |
| Química: Substituição de combustíveis | Ausência de uma regulação clara e adequada para garantir a origem e a rastreabilidade da biomassa ⁸ | - | - | Necessidade de suprimento de carvão vegetal em larga escala e disponibilidade de áreas para florestas plantadas ⁸ | - | - |
| Outras Indústrias: Substituição de combustíveis | Ausência de uma regulação clara e adequada para garantir a origem e a rastreabilidade da biomassa ⁸ | - | - | Necessidade de suprimento de carvão vegetal em larga escala e disponibilidade de áreas para florestas plantadas ⁸ Ausência de infraestrutura suficiente ^[GT] | - | - |
| Tecnologias não incluídas na MACC | | | | | | |
| Fusão redutora para produção de aço | Não há política pública definida para aço verde ¹³ | - | - | Tecnologia apresenta baixa maturidade no Brasil ¹³ | - | Setor industrial é resistente à mudança ¹³ |
| Redução do minério de ferro por eletrólise | Não há regulamentação específica ¹³ | - | - | - | - | Ceticismo da cadeia produtiva ¹³ |

¹² SANTOS FILHO, Paulo Sérgio dos. Uma visão geral da eficiência energética na indústria e contribuições das metodologias: ciclo PDCA, 5W2H e WCM. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/3139/1/MONOGRRAFIA_Vis%C3%A3oGeralEfici%C3%AAncia.pdf.

¹³ CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Descarbonização da indústria: análise de experiências internacionais e recomendações para o Brasil. Brasília: CNI, 2024. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/f6/dd/f6ddb14-6eea-4c18-a008-7c05b778ec3e/id_248438_descarbonizacao_da_industria_interativo.pdf.



| | | | | | | |
|--|--|---|---|--|--|---|
| Uso de energia solar térmica para produção de calor em processos industriais | Faltam políticas de incentivo para uso térmico ¹⁴ | - | - | - | Pouca informação disponível sobre o uso industrial no Brasil ¹⁵ | - |
| Uso de reatores nucleares para produção de calor em processos industriais | - | - | - | Reatores de alta temperatura apresentam baixa maturidade ¹⁴ | - | - |
| Uso de hidrogênio para produção de calor em processos industriais | Marco regulatório incipiente ^[P2.1] | - | - | - | - | - |

¹⁴ DYCK, Elisabeth. Towards more sustainable nuclear energy with non-electric applications: opportunities and challenges. IAEA Department of Nuclear Energy, 2018. Disponível em: <https://www.iaea.org/newscenter/news/towards-more-sustainable-nuclear-energy-with-non-electric-applications-opportunities-and-challenges>.

¹⁵ OLIVEIRA, Patrick; WANDERLEY, Marcello. BARREIRAS TÉCNICAS E ECONÔMICAS NA ADOÇÃO DA ENERGIA SOLAR: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, [S. l.], v. 6, n. 1, 2024. Disponível em: <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/view/3154>.

[P2.1] Fonte: P2.1 - Diagnóstico setorial Indústria



ANEXO B – Classificação de atores em níveis

| Atores | Classificação | Atores | Classificação |
|---|---------------|---------------------------------|---------------|
| ALMG | 1 | Associações de produtores | 3 |
| CEMIG | 1 | Associações setoriais | 3 |
| CIMC | 1 | Concessionárias de transporte | 3 |
| EMATER-MG | 1 | Concessionárias ferroviárias | 3 |
| EPAMIG | 1 | Cooperativas de catadores | 3 |
| FAPEMIG | 1 | Empresas do setor privado | 3 |
| FEAM | 1 | Empresas públicas compradoras | 3 |
| Gasmig | 1 | Entidades do terceiro setor | 3 |
| IMA | 1 | FAEMG | 3 |
| Invest Minas | 1 | FIEMG | 3 |
| SEAPA | 1 | Instituições financeiras | 3 |
| SECOM | 1 | Mercados de carbono | 3 |
| Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais (SEE-MG) | 1 | Mídia | 3 |
| SEDE | 1 | Entidades do terceiro setor | 3 |
| SEF | 1 | Operadoras logísticas | 3 |
| SEGOV | 1 | Operadores de transporte | 3 |
| SEINFRA | 1 | Organizações da sociedade civil | 3 |
| SEMAD | 1 | Petrobras | 3 |
| Associações de municípios | 2 | Produtores rurais | 3 |
| CNPE | 2 | SENAI | 3 |
| Congresso Nacional | 2 | Sindicatos industriais | 3 |
| Consórcios municipais | 2 | Sociedade civil | 3 |
| Embrapa | 2 | | |
| EPE | 2 | | |
| Governos municipais | 2 | | |
| Instituições de ensino e pesquisa | 2 | | |
| MAPA | 2 | | |
| MCTI | 2 | | |
| MDA | 2 | | |
| MDIC | 2 | | |
| MDR | 2 | | |
| Ministério da Fazenda | 2 | | |
| Ministério das Cidades | 2 | | |



| Atores | Classificação | Atores | Classificação |
|--|---------------|--------|---------------|
| Ministério dos Transportes | 2 | | |
| MMA | 2 | | |
| MME | 2 | | |
| Órgãos fiscalizadores e reguladores do setor | 2 | | |

Fonte: Elaboração própria.



ANEXO C – Mapeamento e classificação de políticas

O setor industrial apresenta políticas voltadas à eficiência de processos, captura de carbono e incentivo às tecnologias de baixo carbono em segmentos como cimento, siderurgia e química. Os instrumentos são principalmente regulatórios e estruturantes, com foco em grandes emissores. A maioria das políticas possui abrangência seletiva e depende de instrumentos federativos como planos setoriais e regulações específicas. As tecnologias incluem combustíveis alternativos, Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) e mudança na matriz de insumos.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|--|-------------------|
| Indústria | Resolução CNPE nº 1/2023 (Grupo de Trabalho do Programa Gás para Empregar) | 2023 |
| <p>Contextualização:</p> <p>Criado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), visa modernizar e expandir o mercado de gás natural no Brasil. Seus principais objetivos são aumentar a oferta de gás natural, reduzir custos, gerar empregos e promover a segurança energética. Para alcançar esses objetivos, o programa utiliza tecnologias avançadas de exploração e produção de gás, otimização de infraestruturas existentes e parcerias internacionais para garantir o fornecimento de gás natural.</p> | | |

Caracterização do instrumento

|  Âmbito |  Tipo de Instrumento |  Etapa |
|--|---|---|
| Nacional | Estruturantes | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Não há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão



Redução direta a gás natural (RD-GN) (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Gás para Empregar. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-bicombustiveis/gas-para-empregar>. Acesso em: 26 jun. 2025

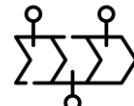


| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|-----------|--|-------------------|
| Indústria | Decreto Estadual nº 45.181/2009 (Regulamenta a Política Estadual de Resíduos Sólidos) | 2009 |

Contextualização:

O decreto estabelece a regulamentação da Política Estadual de Resíduos Sólidos e traz aspectos como a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Caracterização do instrumento



| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
|----------|---------------------|---------------|
| Estadual | Regulatórias | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|--------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
|--------------------------|-------------------------|

| | |
|----------------------------------|---------------|
| Instrumento econômico-financeiro | Não aplicável |
|----------------------------------|---------------|

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão



Substituição de combustíveis (G2) - Aumento do uso de combustíveis alternativos de baixa emissão, como eletricidade, carvão vegetal e outras biomassas, na produção de cimento (i)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

MINAS GERAIS. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. *Compete Minas*. Governo de Minas Gerais. Disponível em: <https://desenvolvimento.mg.gov.br/competeminas>



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|---|-------------------|
| Indústria | Lei Estadual nº 24.940/2024 (Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde) | 2024 |
| <p>Contextualização:</p> <p>A lei estabelece os objetivos e diretrizes para a Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde, com foco em ampliar o uso desses combustíveis na matriz energética estadual, fomentar sua cadeia produtiva e promover a sinergia com o uso de outras fontes renováveis.</p> | | |

Caracterização do instrumento

|  Âmbito |  Tipo de Instrumento |  Etapa |
|---|--|--|
| Estadual | Regulatórias | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão



Redução direta a hidrogênio (RD-H2) (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

MINAS GERAIS. Lei nº 24.940, de 26 de julho de 2024. Estabelece objetivos para a política estadual do hidrogênio de baixo carbono e do hidrogênio verde. Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/24940/2024/>. Acesso em: 26 jun. 2025



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|---|--|-------------------|
| Indústria | Lei nº 14.134/2021 e Decreto nº 10.712/2021 (dispõe e regulamenta sobre atividades ligadas ao gás natural) | 2021 |
| Contextualização: Os instrumentos dispõem e regulamentam, respectivamente, as atividades relativas ao transporte, escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural. | | |

Caracterização do instrumento

|  Âmbito |  Tipo de Instrumento |  Etapa |
|---|--|--|
| Nacional | Regulatórias | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política orçamentária |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão



Redução direta a gás natural (RD-GN) (i)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

BRASIL. Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021. Regulamenta a Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021, que dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 jun. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Decreto/D10712.htm. Acesso em: 26 jun. 2025



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|--|-------------------|
| Indústria | Lei nº 14.948/2024 (Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono) e Lei nº 14.990 (Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono) | 2024 |
| Contextualização: A Lei nº 14.948/2024 Institui a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; a Lei nº 14.990/2024 Institui o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC) e altera a Lei nº 14.948/2024. | | |

Caracterização do instrumento

| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
|----------|---------------------|---------------|
| Nacional | Distributivas | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão





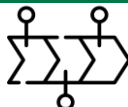
Redução direta a hidrogênio (RD-H2) (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte: BRASIL. Lei nº 14.990, de 27 de setembro de 2024. Institui o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC) e altera a Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 set. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/114990.htm. Acesso em: 26 jun. 2025



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|---|-------------------|
| Indústria | Lei nº 15.103/2025 (Programa de Aceleração da Transição Energética - PATEN) | 2025 |
| <p>Contextualização:</p> <p>A lei tem como objetivo o incentivo a projetos de desenvolvimento sustentável, com foco em infraestrutura, pesquisa tecnológica e inovação tecnológica, por meio da conexão entre financiadores e empresas, com o uso de créditos de pessoas jurídicas com a União como forma de financiamento.</p> | | |

| Caracterização do instrumento | | |
|--|---|---|
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Nacional | Distributivas | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal | |
| Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão | | |



Substituição de combustíveis (Transversal na Indústria) (d); Captura e armazenamento de carbono (CCS) (d); Redução direta a hidrogênio (RD-H2) (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

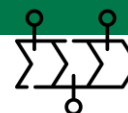
BRASIL. Lei nº 15.103, de 22 de janeiro de 2025. Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (PATEN) e altera as Leis nºs 13.988/2020, 11.484/2007, 9.991/2000 e 9.478/1997. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 jan. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2025/Lei/L15103.htm. Acesso em: 26 jun. 2025



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|-----------|---|-------------------|
| Indústria | Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia | 2018 |

Contextualização:

Este plano visa promover a redução de emissões na siderurgia, incentivando o uso de biomassa renovável em substituição ao carvão mineral. Abrangeu um escopo temporal que foi de 2011 a 2020.

Caracterização do instrumento

| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
|----------|---------------------|---------------|
| Nacional | Regulatórias | Não aplicável |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Não há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão

BF-BOF a carvão vegetal (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Plano setorial de redução de emissões da siderurgia: sumário executivo. Brasília: MDIC, 2018. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/57967.html>. Acesso em: 26 jun. 2025.

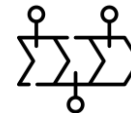


| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|-----------|--------------------------------|-------------------|
| Indústria | Política Nova Indústria Brasil | 2024 |

Contextualização:

A Nova Indústria Brasil é um plano governamental lançado para promover a reindustrialização do país até 2033, com foco em sustentabilidade e inovação. O plano estabelece metas específicas para seis setores estratégicos: agroindústria, saúde, infraestrutura, tecnologia, bioeconomia e defesa nacional. Com um investimento de R\$ 300 bilhões, ele visa fortalecer a competitividade da indústria brasileira, gerar empregos de qualidade e reduzir desigualdades.

Entre as metas estabelecidas com foco na bioeconomia, descarbonização e transição e segurança energéticas (missão 5) está a de ampliar em 50% a participação dos biocombustíveis na matriz energética de transportes — atualmente os combustíveis verdes representam 21,4% dessa matriz. Também se espera aumentar o uso da biodiversidade pela indústria e, ainda, reduzir em 30% a emissão de carbono da indústria nacional, que está em 107 milhões de toneladas de CO₂ por trilhão de dólares produzido. Para a transformação ecológica na indústria, são áreas prioritárias a produção de bioenergia e de equipamentos para geração de energia renovável.

Caracterização do instrumento**Âmbito****Tipo de Instrumento****Etapa**

Nacional

Distributivas

Implementação

Caracterização econômico-financeira**Alinhamento orçamentário**

Há previsão de recursos

Instrumento econômico-financeiro

Política fiscal

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão

Substituição de combustíveis (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Nova Indústria Brasil: forte, transformadora e sustentável – plano de ação para a neindustrialização, 2024–2026. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/composicao/se/cndi/plano-de-acao/nova-industria-brasil-plano-de-acao-2024-2026-1.pdf/view>. Acesso em: 26 jun. 2025



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|---|---------------------|-------------------|
| Indústria | Programa Lixão Zero | 2021 |
| <p>Contextualização: É um programa nacional, implementado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) e aplicado em âmbito estadual, que busca erradicar os lixões e fortalecer a economia circular, incluindo o coprocessamento de resíduos urbanos como combustíveis alternativos na indústria cimenteira.</p> | | |

Caracterização do instrumento

| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
|----------|---------------------|---------------|
| Nacional | Distributivas | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política orçamentária |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão



Substituição de combustíveis (d)



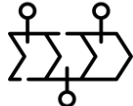
Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

COPROCESSAMENTO. Programa Lixão Zero em MG pode contar com coprocessamento de resíduos. 15 jul. 2021. Disponível em: <https://coprocessamento.org.br/programa-lixao-zero-em-mg-pode-contar-com-coprocessamento-de-residuos/>. Acesso em: 26 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|--------------------------------|-------------------|
| Indústria | Programa Minas Recicla Energia | 2023 |
| <p>Contextualização:</p> <p>Lançado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), este programa visa a utilização de resíduos sólidos urbanos, por meio das sobras da triagem da coleta seletiva, como combustíveis alternativos na produção de cimento, promovendo a valorização energética dos resíduos</p> | | |

| Caracterização do instrumento | | |
|--|---|---|
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Estadual | Regulatórias | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Política orçamentária | |
| Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão | | |



Substituição de combustíveis (Cimento) (d)



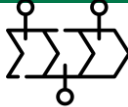
Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.


Fonte:

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Estado lança o Programa Minas Recicla Energia para recuperar, por mês, 100 toneladas de resíduos sólidos urbanos por coprocessamento na produção de cimento. 11 maio 2023. Disponível em: <https://liferay.meioambiente.mg.gov.br/web/semad/w/estado-lanca-o-programa-minas-recicla-energia-para-recuperar-por-mes-100-toneladas-de-residuos-solidos-urbanos-por-coprocessamento-na-producao-de-cimento>. Acesso em: 26 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|------------------------|-------------------|
| Indústria | Programa PotencializEE | 2025 |
| <p>Contextualização: Este programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), visa impulsionar a descarbonização e o crescimento industrial por meio da eficiência energética. São incluídas propostas de aperfeiçoamento do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL para o desenvolvimento de projetos de eficiência energética em pequenas e médias indústrias.</p> | | |

| Caracterização do instrumento | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Estadual | Regulatórias | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal | |

| Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão |
|--|
|  |
| Eficiência energética (i) |

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

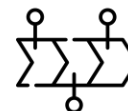
POTENCIALIZEE. Programa Investimentos Transformadores de Eficiência Energética na Indústria. [S.l.]: PotencializEE, 2025. Disponível em: <https://www.programa-potencializee.com.br/o-programa/>. Acesso em: 26 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|-----------|---------------------------------|-------------------|
| Indústria | Programa Siderurgia Sustentável | 2018 |

Contextualização:

O Projeto Siderurgia Sustentável foi criado em 2016 para incentivar a redução das emissões de -GEE na siderurgia brasileira. Para atingir seu objetivo, o programa busca o desenvolvimento e a demonstração de tecnologias e processos sustentáveis para a produção e o uso de carvão vegetal na indústria de aço, ferro-gusa e ferroligas. É executado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e com coordenação técnica do Ministério do Meio Ambiente e já promoveu projetos em Minas.

Caracterização do instrumento

| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
|----------|---------------------|---------------|
| Nacional | Distributivas | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão

BF-BOF a carvão vegetal (d); Substituição de combustíveis (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

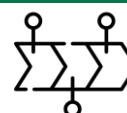
Fonte:

NAÇÕES UNIDAS. Siderurgia sustentável desenvolve cadeia de produção com baixa emissão de poluentes. Brasília: ONU Brasil, 22 out. 2018. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/81394-siderurgia-sustent%C3%A1vel-desenvolve-cadeia-de-produ%C3%A7%C3%A3o-com-baixa-emiss%C3%A3o-de-poluentes>. Acesso em: 26 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|---|-------------------|
| Indústria | Resolução CNPE nº 3/2022 (Diretrizes estratégicas para o desenho do novo mercado de gás natural) | 2022 |
| <p>Contextualização:</p> <p>A Resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) tem como objetivo a ampliação do mercado de gás natural, estimulando a concorrência e o acesso à infraestrutura, por meio da criação de hubs de comercialização e do incentivo ao alinhamento das regulações nacionais, estaduais e municipais sobre o tema.</p> | | |

Caracterização do instrumento



| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
|----------|---------------------|---------------|
| Nacional | Estruturantes | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão



Redução direta a gás natural (RD-GN) (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

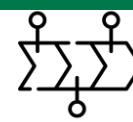
BRASIL. Conselho Nacional de Política Energética. Resolução CNPE nº 3, de 20 de junho de 2022. Dispõe sobre as diretrizes para a consolidação do Programa Nacional do Hidrogênio – PNH2. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 21 jun. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-3-de-20-de-junho-de-2022-409203087>. Acesso em: 30 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|-----------|---|-------------------|
| Indústria | Resolução CONAMA nº 499/2020 (Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer) | 2020 |

Contextualização:

A Resolução CONAMA nº 499/2020 regulamenta o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, permitindo a utilização de resíduos urbanos e agropecuários como combustíveis alternativos na fabricação de cimento. Esta resolução estabelece limites de concentração de poluentes e promove a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, alinhando-se com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e incentivando práticas sustentáveis na indústria cimenteira

Caracterização do instrumento**Âmbito****Tipo de Instrumento****Etapa**

Nacional

Regulatórias

Implementação

Caracterização econômico-financeira**Alinhamento orçamentário**

Não há previsão de recursos

Instrumento econômico-financeiro

Política fiscal

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão

Substituição de combustíveis (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 499, de 6 de outubro de 2020. Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 8 out. 2020. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=403295>. Acesso em: 26 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|-----------|---|-------------------|
| Indústria | Subprograma do Fundo Clima dedicado à sustentabilidade e eficiência do carvão vegetal | 2023 |

Contextualização:

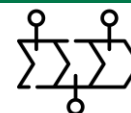
O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) aprovou financiamento de R\$ 54,5 milhões para a Vallourec Tubos do Brasil investir na modernização do processo de produção de carvão vegetal, utilizado na produção de aço pela empresa. Esta é a primeira operação com recursos do Fundo Clima, programa que financia projetos de mitigação das mudanças climáticas, voltada a um projeto de carvão vegetal.

Caracterização do instrumento**Âmbito**

Nacional

**Tipo de Instrumento**

Distributivas

**Etapa**

Implementação

Caracterização econômico-financeira**Alinhamento orçamentário**

Há previsão de recursos

Instrumento econômico-financeiro

Política fiscal

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão

Substituição de combustíveis (Mineração) (d); Substituição de combustíveis (Química) (d); BF-BOF a carvão vegetal (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

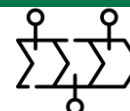
BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). BNDES aprova primeira operação de carvão vegetal do Fundo Clima. Rio de Janeiro: BNDES, 10 ago. 2023. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-aprova-primeira-operacao-de-carvao-vegetal-do-fundo-clima>. Acesso em: 26 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|-----------|---|-------------------|
| Indústria | Lei nº 11.445/2007 (Política Nacional de Saneamento Básico) | 2007 |

Contextualização:

Embora não haja uma relação direta com a promoção de combustíveis alternativos, o manejo eficiente de resíduos urbanos e agropecuários pode indiretamente contribuir para a produção de biocombustíveis através do coprocessamento desses resíduos. Este processo pode ser utilizado na indústria de cimento, onde resíduos são transformados em energia, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Caracterização do instrumento

| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
|----------|---------------------|---------------|
| Nacional | Estruturantes | Implementação |

| Caracterização econômico-financeira | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política orçamentária |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão

Substituição de combustíveis (i)



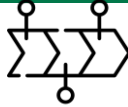
Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

MINAS GERAIS. Assembleia Legislativa. Informações gerais sobre saneamento básico. Belo Horizonte: ALMG, 2025. Disponível em: https://politicaspUBLICAS.almg.gov.br/temas/residuos_solidos/entenda/informacoes_gerais.html?tagNivel1=9&tagAtual=10047. Acesso em: 26 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|--|-------------------|
| Indústria | Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) | 2010 |
| <p>Contextualização:</p> <p>Embora não haja uma relação direta com a promoção de combustíveis alternativos, o manejo eficiente desses resíduos pode indiretamente contribuir para a produção de biocombustíveis através do coprocessamento. Este processo é utilizado na indústria de cimento, onde resíduos são transformados em energia, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e promovendo a sustentabilidade ambiental.</p> | | |

| Caracterização do instrumento | | |
|--|---|---|
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Nacional | Regulatórias | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Política orçamentária | |
| Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão | | |



Substituição de combustíveis (i)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 26 jun. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|---|-------------------|
| Indústria | Lei nº 14.993/2024 (Lei do Combustível do Futuro) | 2024 |
| <p>Contextualização:</p> <p>A lei integra iniciativas e medidas adotadas no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), do Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) e do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve). Institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.</p> | | |

Caracterização do instrumento

|  Âmbito |  Tipo de Instrumento |  Etapa |
|--|---|---|
| Nacional | Regulatórias | Implementação |

Caracterização econômico-financeira

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão



Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) – Cimento (d); Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) – Cimento (d) - Ferro-gusa e aço

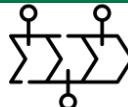
Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

BRASIL. Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui programas nacionais relacionados à descarbonização. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 out. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/114993.htm. Acesso em: 26 jun. 2025. 2025.



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--------------------------|---|-------------------|
| Indústria | PDMG | 2022 |
| Contextualização: | O Plano de Descarbonização de Minas Gerais (PDMG) prevê "a promoção da eficiência energética na produção de cimento, viável no curto prazo, possui relativo baixo potencial de redução de emissões. Parte significativa do potencial de mitigação está associada à alteração disruptiva da composição cimentícia, a partir da adoção de materiais inovadores para cimento. [...] A captura de CO ₂ apresenta-se como a medida mais promissora para redução de emissões da clínquerização". São citadas as tecnologias de melhorias no sistema de combustão de fornos; controle e otimização de processo; inserção de refratário no forno de clínquerização; e adoção de processo de via seca com dois estágios de pré-aquecedores. | |

| Caracterização do instrumento | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Estadual | Estruturantes | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal | |

Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão



Captura e armazenamento de carbono (CCS) (d); Adições ao clínquer (d); Eficiência energética (d)
 Redução direta a hidrogênio (RD-H2) (d); Substituição de combustíveis (d); Gás natural em substituição do óleo combustível (d); Captura de carbono nas usinas de cogeração a bagaço de cana (d)

Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.



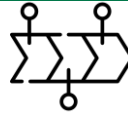

Fonte:

CENERGIA/PPE/COPPE/UFRJ. Plano de Descarbonização para o Estado de Minas Gerais dentro de um Brasil clima neutro em 2050: relatório síntese da modelagem setorial para o Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro: Cenergia/PPE/COPPE/UFRJ, 2022



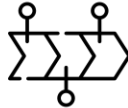



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|---|---|
| Indústria | PLAC-MG | 2023 |
| Contextualização: | <p>O PLAC-MG prevê, na ação 2, instrumentos tributários, financeiros e creditícios para incentivo à adoção da tecnologia de captura e armazenamento de carbono nos processos industriais. A subação 2.3 visa alcançar 60% do setor de produção de biocombustíveis com unidades de captura de carbono instaladas.</p> <p>A ação 3 contempla o desenvolvimento do Programa Estadual de Tecnologias de Baixo Carbono e Eficiência Energética. A subação 3.1 busca ampliar a capacidade instalada de autogeração de energia elétrica a partir de fontes renováveis em consumidores de grande porte, a cogeração com fonte não fóssil e o uso de energia residual na indústria.</p> <p>A ação 5 tem como foco o aumento da produção e do uso de biogás e biometano para consumo energético em substituição ao consumo de energia fóssil.</p> | |
| Caracterização do instrumento | | |
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Estadual | Estruturantes | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Política fiscal | |
| Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão | | |
|  | | |
| Substituição de combustíveis (d); Eficiência energética (d) | | |
| <p><i>Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.</i></p> | | |
| Fonte: | MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais: sumário executivo. Belo Horizonte: SEMAD, 2023. | |



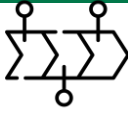



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|--|---|
| Indústria | Plano Estadual de Saneamento Básico (PESB-MG) | 2021 |
| Contextualização: | <p>Minas Gerais é o único estado do Brasil que não possui Plano Estadual de Resíduos Sólidos. O estado deu início a sua construção em 2022, em parceria com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública de Resíduos Especiais (Abrelpe). Porém, há o Plano Estadual de Saneamento, que aborda resíduos. Nele, não há detalhamento sobre o coprocessamento de resíduos para aproveitamento energético. Apesar disso, trata-se de política relevante cuja revisão futura pode conter mais iniciativas voltadas à geração de combustíveis alternativos, de modo a incentivar o desenvolvimento do assunto sob a ótica dos resíduos urbanos. Na notícia mais atualizada divulgada em 2024, fala-se que está sendo elaborada a Minuta do Projeto de Lei, para submissão do plano à Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG). Foi possível acessar a versão preliminar no site da SEMAD.</p> | |
| Caracterização do instrumento | | |
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Estadual | Estruturantes | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Política orçamentária | |
| Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão | | |
|  | | |
| Substituição de combustíveis (i) | | |
| <p><i>Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.</i></p> | | |
| Fonte: | <p>MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais – PESB-MG, 2021. Disponível em: https://semad.mg.gov.br/plano-estadual-de-saneamento-basico-de-minas-gerais-pesb-mg. Acesso em: 26 jun. 2025.</p> | |



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|--|---|---|
| Indústria | Resolução SEDE nº 32/2021 (Revisão do Mercado Livre de Gás em Minas Gerais) | 2021 |
| Contextualização: | | |
| A Resolução da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDE) atualiza alguns parâmetros do Mercado Livre de Gás no estado. Aborda sobre o acesso dos consumidores livres e cativos (ou seja, consumidor de gás que não tiver condições ou que não exerceu a opção de adquirir o gás de um comercializador, agente produtor ou importador) ao gás natural. | | |
| Caracterização do instrumento | | |
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Estadual | Regulatórias | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Não aplicável | |
| Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão | | |
|  | | |
| Redução direta a gás natural (RD-GN) (i) | | |
| <i>Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.</i> | | |
| Fonte: | MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico. Resolução SEDE nº 32, de 28 de junho de 2021. Altera a Resolução SEDE nº 17, de 9 de dezembro de 2013, e a Resolução SEDE nº 18, de 9 de dezembro de 2013. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 29 jun. 2021. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=416414 . Acesso em: 30 jun. 2025. | |



| Setor | Política Pública | Ano de publicação |
|---|---|---|
| Indústria | Decreto nº 12.153/2024 (Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano (PNIIGB)) | 2024 |
| Contextualização: | | |
| O PNIIGB abrangerá as instalações de escoamento, de processamento, de estocagem e de transporte de gás natural, assim como a distribuição por gás natural comprimido (GNC) e gás natural liquefeito (GNL) e as instalações para produção do biometano e posterior transporte. | | |
| Caracterização do instrumento | | |
|  |  |  |
| Âmbito | Tipo de Instrumento | Etapa |
| Nacional | Regulatórias | Implementação |
| Caracterização econômico-financeira | | |
| Alinhamento orçamentário | Há previsão de recursos | |
| Instrumento econômico-financeiro | Política orçamentária | |
| Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão | | |
|  | | |
| Redução direta a gás natural (RD-GN) (i) | | |
| <i>Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.</i> | | |
| Fonte: | BRASIL. Decreto nº 12.153, de 26 de agosto de 2024. Altera o Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021, que regulamenta a Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021, sobre atividades relativas ao transporte de gás natural. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 ago. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Decreto/D12153.htm . Acesso em: 26 jun. 2025 | |



Bruna Araujo

bruna.araujo@waycarbon.com

Felipe Rocha

felipe.rocha@waycarbon.com

Laise Mondo

laise.mondo@waycarbon.com

Letícia Gavioli

leticia.gavioli@waycarbon.com

Nathalia Pereira

nathalia.pereira@waycarbon.com

Luiz Oliveira

luiz.oliveira@waycarbon.com

Pamela Silva

pamela.silva@waycarbon.com

Cecília Lorette

cecilia.loretti@waycarbon.com

