

RELATÓRIO DE EXECUÇÃO DO OBJETO

P2.4 – POLÍTICAS PÚBLICAS ENERGIA

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 a 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 - Energia

Sumário

ACRÔNIMOS.....	5
INTRODUÇÃO.....	8
CONTEXTUALIZAÇÃO	9
ANÁLISE DE BARREIRAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRIORIZADAS	11
Identificação de barreiras: visão geral	12
Barreiras políticas e regulatórias.....	13
Barreiras tecnológicas	14
Barreiras financeiras.....	15
Barreiras institucionais.....	16
Barreiras informacionais	17
Barreiras culturais e sociais	17
MAPEAMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EM VIGOR.....	18
Análise das políticas públicas.....	25
TECNOLOGIAS EM FOCO: CONFRONTANDO BARREIRAS E POLÍTICAS	33
Tecnologias incluídas na MACC	33
Tecnologias não incluídas na MACC.....	39
RECOMENDAÇÕES DE POLÍTICAS PÚBLICAS.....	45
PRIORIZAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXO A – Mapeamento e classificação de barreiras.....	75
ANEXO B – Classificação de atores	78
ANEXO C – Mapeamento e classificação de políticas	80

Índice de figuras

Figura 1: Distribuição das barreiras associadas às tecnologias – Energia	13
Figura 2: Distribuição do número de políticas mapeadas por tipo de instrumento – Energia	25
Figura 3: Distribuição do tipo de instrumento por âmbito da política – Energia	27
Figura 4: Distribuição do tipo de instrumento e previsão de recursos – Energia	29
Figura 5: Distribuição do número de políticas por tema – Energia	31
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	69

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.....	20
Quadro 4: Recomendações de políticas públicas - Energia	47
Quadro 5: Matriz de associação entre recomendações e tecnologias - Energia	67

ACRÔNIMOS

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)

BECCS – *Bioenergy with Carbon Capture and Storage* (Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono)

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

BEV – *Battery Electric Vehicle* (veículos elétricos a bateria)

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

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)

CH₄ – Metano

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CO₂ – Dióxido de carbono

CO_{2e} – Dióxido de carbono equivalente

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

E2G – Etanol de segunda geração

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

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

FUT – Fator de Utilização

GEE – Gases de Efeito Estufa

GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

HEFA – *Hidrotreated Esters and Fatty Acids* (Ésteres e Ácido Graxos Hidratados)

HVO – *Hidrotreated Vegetable Oil* (óleo vegetal hidrotratado)

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

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

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MME – Ministério de Minas e Energia

OPEX – *Operational Expenditure* (despesas operacionais)

PATEN – Programa de Aceleração da Transição Energética

PD&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

PDE – Plano Decenal de Energia

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

PROINFRA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia

REGAP – Refinaria Gabriel Passos

Renovagro – Programa de Financiamento a Sistemas de Produção Agropecuária Sustentáveis

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

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

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

SIN – Sistema Interligado Nacional

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

UCR – Unidade de Coqueamento Retardado

UDA – Unidade de Destilação Atmosférica

UGH – Unidade de Geração de Hidrogênio

UHR – Usinas Hidrelétricas Reversíveis

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 energia, 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 energia 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, Florestas 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*.

Além disso, na fase final dessa etapa, está sendo estruturado um portfólio de investimentos estratégicos voltado à implementação do *roadmap* de descarbonização dos setores

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



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.

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 o setor de energia, 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

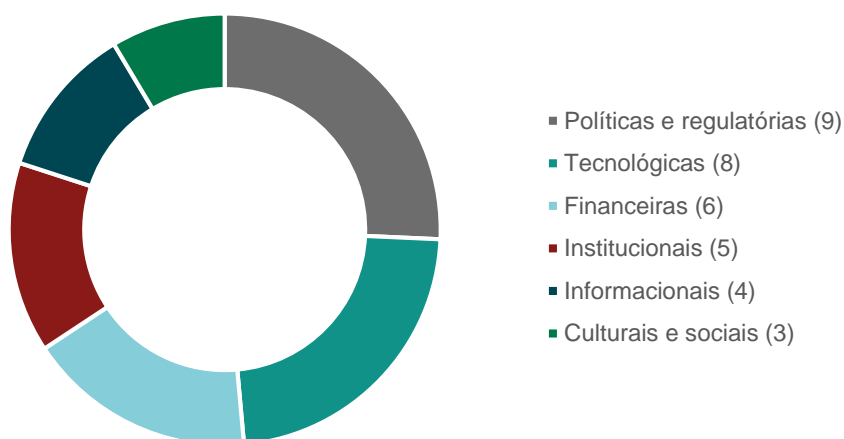
Nome no Setor	Energia
Tecnologias incluídas na MACC	
Eletricidade	Expansão da geração hidrelétrica por Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR)
	Expansão da geração hidrelétrica
	Implementação de sistemas de armazenamento de energia em bateria em alta tensão (BESS)

Refino de petróleo	Medidas de eficiência energética
	Substituição de combustíveis fósseis
	Captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UGH
Produção de biocombustíveis	Sistemas de cogeração em usinas de biodiesel
	Implementação de CCS
Tecnologias não incluídas na MACC	
Eletricidade	Uso de hidrogênio verde para geração de eletricidade
	Uso de usinas eólicas para fornecimento de energia para sistemas de armazenamento
Refino de petróleo	Uso do hidrogênio para geração elétrica
	Redução do FUT da Regap
	Transição gradual da Regap para uma biorrefinaria
	Geração de hidrogênio verde na Regap
Produção de biocombustíveis	Elevação da síntese do etanol

Fonte: Elaboração própria.

No setor de energia, as barreiras políticas e regulatórias, tecnológicas, financeiras e institucionais figuram entre as mais relevantes nas categorias analisadas, seguidas pelas barreiras informacionais e culturais e sociais, como observado na Figura 1. Essa condição reflete a baixa maturidade das tecnologias atualmente consideradas para esse segmento, o que contribui para a existência de lacunas regulatórias associadas a essas inovações.

Figura 1: Distribuição das barreiras associadas às tecnologias – Energia



Fonte: Elaboração própria.

Barreiras políticas e regulatórias

As barreiras políticas e regulatórias identificadas pelo diagnóstico setorial (P2.1) foram, de modo geral, reforçadas nas consultas realizadas junto aos Grupos de Trabalho. Primeiro,

identificou-se uma ausência de políticas públicas específicas dedicadas a algumas tecnologias, além da necessidade de criação de incentivos governamentais que favoreçam sua competitividade. Esse é o caso, por exemplo, da expansão da geração hidrelétrica por Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR), em relação à qual se verificou sua não inclusão no rol de energias renováveis incentivadas pelo Programa Mineiro de Energia Renovável (Energia de Minas), instituído pelo Decreto nº 46.296/2013.

Outras tecnologias já se encontram em fase de regulamentação, como os sistemas de armazenamento de energia em baterias (BESS). O processo de regulamentação conduzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) visa regulamentar o BESS especialmente nos aspectos referentes ao seu enquadramento em um dos componentes do sistema elétrico brasileiro, ou seja, na geração, transmissão ou distribuição, além de normativos sobre sua contratação e remuneração (ANEEL, 2025). O Grupo de Trabalho também apontou a necessidade de estabelecer políticas públicas e mecanismos de incentivo para sua adoção.

Por fim, ainda que o estado apresente um grande potencial de expansão das energias renováveis, esse avanço pode ser limitado devido a assimetrias nos incentivos estabelecidos pela legislação estadual, que prioriza a geração solar, em detrimento de outras tecnologias. Este é o caso do incentivo estabelecido pela Lei Estadual nº 23.762/2021, que concede isenção de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para sistemas de geração solar distribuída até 5 MW, não se estendendo a outras modalidades de geração.

Barreiras tecnológicas

As barreiras tecnológicas apontadas pelo diagnóstico setorial (P2.1) envolvem limitações associadas à insuficiência de infraestrutura. No caso da utilização do biogás e do biometano em substituição ao gás natural na Regap, um entrave comum é a insuficiência da rede de gasodutos, que atualmente não é capaz de conectar todos os produtores e demandantes e não possui condições de comportar a demanda crescente dessas fontes. A complexidade na logística de armazenamento e transporte também é um entrave para o fornecimento de resíduos agropecuários utilizados nos sistemas de cogeração em usinas de biodiesel.

Um caso peculiar, também apontado no diagnóstico setorial (P2.1), diz respeito à ausência de infraestrutura necessária para a transmissão de energia elétrica proveniente da expansão da geração eólica, em razão da dificuldade de acesso às regiões onde se encontram os maiores potenciais de instalação.

Algumas tecnologias ainda apresentam baixa maturidade e necessitam de estudos adicionais para o seu aprimoramento e desenvolvimento, incluindo a definição do modelo de negócio a ser adotado. Esse é o caso de tecnologias como o uso de hidrogênio verde para geração elétrica e CCUS na produção de biocombustíveis. Além disso, é verificada uma dificuldade

adicional pela dependência de componentes importados, como no caso dos sistemas de armazenamento de energia em bateria em alta tensão (BESS), conforme ressaltado no diagnóstico setorial (P2.1) e reforçado pelas consultas realizadas junto aos Grupos de Trabalho.

Por fim, as fontes renováveis de geração elétrica possuem desafios que, apesar de não configurarem barreiras tecnológicas propriamente ditas, são desafios técnicos que exigem soluções específicas para garantir a confiabilidade do sistema elétrico. Entre esses desafios estão a intermitência e a inversão de fluxo, fatores que aumentam a dependência de fontes não renováveis, como usinas térmicas, para compensar a redução da produção das fontes renováveis, conforme apontado no diagnóstico setorial (P2.1).

Barreiras financeiras

As barreiras financeiras identificadas pelo diagnóstico setorial (P2.1) englobam a baixa competitividade econômica associada às tecnologias que ainda se encontram em desenvolvimento ou possuem baixo nível de maturidade, como o uso de hidrogênio verde para geração elétrica, tecnologia não incluída na curva MACC. A baixa competitividade econômica no cenário mineiro também é observada para a geração eólica, devido à necessidade de instalação de torres mais elevadas, o que encarece o preço final da eletricidade gerada ao consumidor.

Também é apontada a necessidade de investimento na adaptação de equipamentos já instalados para o aproveitamento de resíduos agropecuários nos sistemas de cogeração em usinas de biodiesel, o que pode representar um custo adicional relevante, conforme o diagnóstico setorial (P2.1).

Para apoiar o entendimento das barreiras financeiras existentes, foi realizada uma análise técnica baseada nos resultados obtidos no produto P2.3 (Necessidades e oportunidades 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 evitada².

² 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, conseqüentemente, 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.

As tecnologias com maiores barreiras financeiras são:

- captura de carbono nas usinas de cogeração a bagaço de cana: VPL negativo de R\$ 378,52 bilhões e custo marginal de R\$ 1.115,82/tCO₂e;
- substituição do óleo combustível por gás natural na Regap: VPL negativo de R\$ 17,95 bilhões e custo marginal de R\$ 1.349,01/tCO₂e;
- instalação de usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs): VPL negativo de R\$ 15,61 bilhões e custo marginal de R\$ 7.261,85/tCO₂e.

Essas tecnologias estão ordenadas por menor VPL, indicando que os fluxos de caixa futuros associados à implementação não são suficientes para compensar o investimento inicial ao longo do tempo.

No setor de energia, apenas uma tecnologia se destaca por seu custo-benefício:

- instalação de sistemas de cogeração em usinas de biodiesel: VPL positivo de R\$ 0,46 bilhões e custo marginal negativo de R\$ 319,96/tCO₂e.

Ainda no grupo das barreiras financeiras, um destaque especial pode ser conferido à tecnologia de armazenamento de energia em alta tensão por baterias (BESS), utilizado para compensar a intermitência das fontes renováveis, uma vez que apresenta um custo marginal elevado, estimado em aproximadamente R\$ 2.000/tCO₂e. conforme indicado no produto P2.3 (Necessidades e oportunidades de investimento – parte 1). Esse custo elevado se deve, em parte, à ausência de políticas específicas que incentivem a importação dessa tecnologia, que ainda enfrenta uma elevada carga tributária, que chega a 80% do preço final dos sistemas, segundo identificado pelo diagnóstico setorial (P2.1).

Barreiras institucionais

As limitações identificadas pelos Grupos de Trabalho, no campo das barreiras institucionais, são derivadas da dependência de regulamentações, políticas e arranjos oriundos de órgãos federais, sendo necessário um aprofundamento e intensificação da interlocução com agências vinculadas à União, como a ANEEL e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Por exemplo, o Decreto Estadual nº 48.896/2024, que institui o Comitê Intragovernamental de Energia e Mudança do Clima de Minas Gerais ainda não prevê mecanismos de articulação com organismos federais relevantes, limitando-se à articulação com a sociedade civil (MINAS GERAIS, 2024).

A interlocução permanente com a ANEEL e a EPE se faz especialmente necessária no contexto em que algumas decisões tomadas por esses órgãos podem comprometer o atingimento dos objetivos e metas estratégicas do estado de Minas Gerais, em especial

aquelas contidas no PLAC-MG, caso não se promova um alinhamento entre os atores envolvidos.

Barreiras informacionais

As barreiras informacionais identificadas pelo Grupo de Trabalho apontam para uma indisponibilidade de dados e estudos que identifiquem as regiões mais adequadas para a instalação de Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR) em Minas Gerais, por exemplo. Embora o estado possua potencial hidrelétrico significativo, a ausência de mapeamentos específicos que orientem a viabilidade técnica, ambiental e econômica dessas usinas é um entrave para sua implementação.

Outro aspecto relacionado a este ponto, apontado pelo Grupo de Trabalho, está no acesso limitado às informações sobre a operação e planos de expansão da Regap, o que também representa um obstáculo à transparência e ao acompanhamento das medidas de descarbonização em geral. A falta de alinhamento entre os dados públicos da Regap e os planos estaduais compromete a capacidade de monitoramento e avaliação das emissões associadas ao refino de petróleo.

Além disso, também foi apontada uma baixa disseminação de dados sobre biocombustíveis, como biodiesel e biometano para o público geral, o que dificulta a sua ampla utilização. Embora essa barreira esteja mais diretamente associada ao uso desses combustíveis em setores como transporte e indústria, ela também pode impactar indiretamente a viabilização de soluções de descarbonização na Regap, como a substituição do gás natural por biometano, a adoção de sistemas de captura de carbono associados à produção de biometano e a produção de biocombustíveis, em sentido amplo.

Barreiras culturais e sociais

A identificação das barreiras culturais e sociais no setor de energia teve origem na consulta realizada junto aos Grupos de Trabalho. Primeiro, é apontada a dificuldade de convencimento dos atores envolvidos na adoção de novas tecnologias em substituição às fontes renováveis de geração de energia elétrica já convencionalmente aplicadas. Associado a essa questão, algumas alternativas sofrem rejeição social, especialmente as que envolvem a utilização de gás e a consequente expansão da rede de gasodutos, em razão da percepção negativa do público em relação aos gasodutos.

Também se destaca a dificuldade de engajamento dos atores que atuam no setor de óleo e gás na agenda climática. Essa resistência institucional pode ser atribuída à ausência de incentivos claros, à baixa maturidade das tecnologias de captura e armazenamento de

carbono e à falta de integração entre os compromissos empresariais e as metas estaduais de neutralidade climática.

MAPEAMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EM VIGOR

Este capítulo apresenta o mapeamento das principais políticas públicas vigentes para o setor de energia, voltadas à transição climática e para a atração de investimentos de baixo carbono no estado de Minas Gerais. 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 instrumentos 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 energia. 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 são adaptações estaduais de políticas originalmente estabelecidas pela União. É o caso da Lei Estadual nº 13.1999, de 29 de janeiro de 1999, que institui uma versão mineira da Política Nacional de Recursos Hídricos, criada pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. 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..

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.

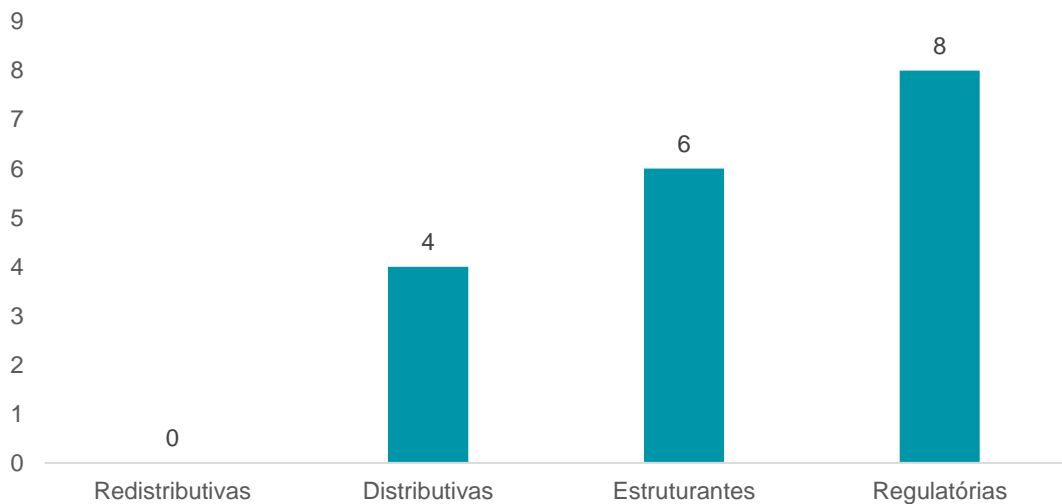
Com base nos critérios adotados para cada uma dessas classificações, foi possível sistematizar as informações sobre as políticas públicas mapeadas, permitindo um

aprofundamento analítico e uma organização clara das iniciativas, conforme apresentado a seguir.

Análise das políticas públicas

A consolidação das políticas para o setor de energia resultou em um total de 18 iniciativas, que configuram um arranjo institucional com predominância de instrumentos regulatórios, seguidos pelos estruturantes e os distributivos, como o observado na Figura 2.

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



Fonte: Elaboração própria.

Essa densidade de medidas regulatórias sugere que, para o setor de energia, o poder público priorizou estabelecer os fundamentos normativos e regulatórios, partindo de um sistema nacional baseado no modelo concessional e centralizado no papel da agência reguladora. Um exemplo de instrumento regulatório é a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), implementada em Minas Gerais por meio do Plano Estadual de Recursos Hídricos, que busca promover o uso eficiente da água na geração de energia. Ao estabelecer diretrizes claras para a gestão dos recursos hídricos, essas políticas contribuem para a criação de um ambiente jurídico e regulatório mais seguro para investimentos em empreendimentos hidrelétricos, articulando objetivos ambientais e energéticos.

Outras iniciativas regulatórias relevantes incluem a Cláusula de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) presente nos contratos de exploração e produção de petróleo e gás natural, que exige que as empresas invistam o equivalente a 1% da receita bruta em atividades de PD&I. Também se destaca a Lei nº 14.993/2024, que trata da regulamentação e fiscalização das atividades de captura e armazenamento de carbono. Embora tenham caráter normativo,

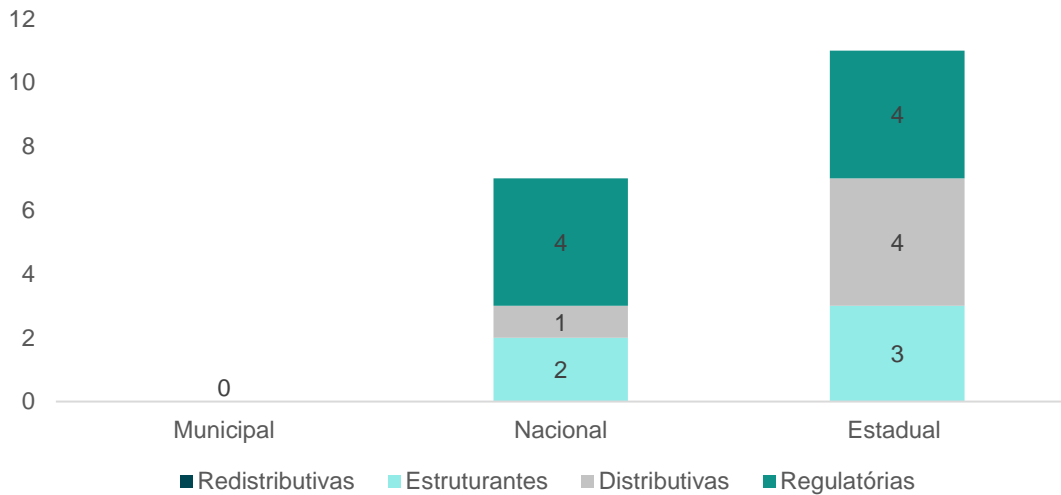
essas medidas também funcionam como indutoras de inovação, especialmente em segmentos tradicionalmente intensivos em carbono.

As políticas estruturantes, como a Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais e o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, atuam como marcos para o planejamento de longo prazo. Embora não envolvam necessariamente a alocação direta de recursos, são fundamentais para orientar a atuação dos demais instrumentos, ao estabelecer diretrizes para a diversificação da matriz energética, a modernização da infraestrutura e a integração de fontes renováveis. Além disso, essas políticas contribuem para o alinhamento entre os níveis federal e estadual, promovendo maior coerência entre metas climáticas e estratégias energéticas.

Já os instrumentos distributivos, embora menos numerosos, desempenham papel relevante na viabilização prática de soluções tecnológicas emergentes. A Política Estadual do Biogás e do Biometano (Lei Estadual nº 24.396/2023), por exemplo, busca atrair investimentos e fomentar a inovação na produção e comercialização desses combustíveis em Minas Gerais. O PLAC-MG, apesar de ser classificado como política estruturante, complementa essa abordagem ao prever a criação de instrumentos tributários, financeiros e creditícios voltados à redução de emissões, conectando diretamente a agenda climática à política energética.

No âmbito político, conforme observado na Figura 3, observa-se uma predominância de políticas estaduais em relação às federais, e nenhuma política municipal foi identificada. Essa configuração pode refletir tanto a distribuição de competências entre os entes federativos quanto a capacidade dos níveis mais elevados de governo para endereçar as questões mais sistêmicas que envolvem a gestão do setor energético.

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



Fonte: Elaboração própria.

No âmbito estadual, observa-se uma distribuição relativamente equilibrada entre instrumentos regulatórios, estruturantes e distributivos, o que sugere uma estratégia de atuação abrangente, voltada à definição de normas, diretrizes e estímulos econômicos.

Entre os instrumentos regulatórios, destacam-se aqueles voltados à gestão dos recursos hídricos, como a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 13.199/1999) e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, que estabelecem princípios para o uso sustentável da água, com ênfase na mitigação dos impactos ambientais das hidrelétricas e na integração entre a gestão hídrica e a operação energética. Outras normas, como a Resolução SEDE nº 32/2021, que visa ampliar o mercado livre de gás natural, e a Resolução SEDE nº 34/2023, que regulamenta a comercialização de biometano, apontam para um esforço de modernização regulatória e abertura de mercado. Essas medidas buscam criar um ambiente mais atrativo para investimentos privados, ao mesmo tempo em que ampliam a previsibilidade e a segurança jurídica no setor.

Entre os instrumentos distributivos estaduais mapeados, destaca-se o Programa Mineiro de Energia Renovável, que oferece incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado para empreendimentos voltados à geração de energia renovável. Essa iniciativa indica um esforço do governo estadual para mobilizar o setor produtivo por meio de estímulos econômicos, complementando as ações regulatórias e estruturantes na superação de barreiras financeiras e na promoção da inovação tecnológica.

A Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde tem por objetivo ampliar a participação desses combustíveis na matriz energética estadual, fomentar sua

cadeia produtiva, além de promover a integração com outras fontes renováveis de energia. Outros instrumentos que atuam na mesma direção incluem o Projeto Sol de Minas, que também atua na simplificação do licenciamento ambiental e a Política Estadual de Energia Rural Renovável, que visa ampliar a adoção da energia elétrica renovável nas zonas rurais, especialmente as de fonte solar e de biomassa.

No nível nacional, predomina o uso de instrumentos regulatórios. Um exemplo é a Lei nº 14.993/2024, que trata da promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e da captura e estocagem geológica de dióxido de carbono. Outro caso é o Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano (PNIIGB), instituído pelo Decreto nº 12.153/2024, que estabelece diretrizes para o transporte, escoamento, estocagem e comercialização de gás natural, com o objetivo de ampliar o acesso à infraestrutura e promover a abertura do mercado por meio de um regime de transição para novos modelos de transporte.

Essas políticas refletem o uso da competência normativa federal para induzir inovação e sustentabilidade, especialmente em setores caracterizados pela presença de grandes operadores e infraestrutura crítica. Além disso, ao estabelecer diretrizes nacionais, tais iniciativas funcionam como referência para a atuação dos governos subnacionais, favorecendo o alinhamento entre diferentes níveis federativos.

Entre os instrumentos estruturantes de alcance nacional, destacam-se o PNE 2050, que propõe estratégias de longo prazo para garantir a segurança energética e a sustentabilidade, e a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007). Embora esta última não tenha foco específico no setor energético, pode influenciar iniciativas de cogeração de energia a partir de resíduos, evidenciando interseções relevantes entre políticas setoriais. Tais instrumentos contribuem para a construção de uma visão estratégica de futuro, orientando investimentos e decisões em múltiplas escalas.

Por fim, o único instrumento nacional distributivo mapeado foi o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), instituído pela Lei nº 10.438/2002, que promove a diversificação da matriz energética por meio de contratos de longo prazo e condições favoráveis para projetos renováveis. Embora criado há mais de duas décadas, o programa ainda representa um marco na indução de investimentos em fontes alternativas.

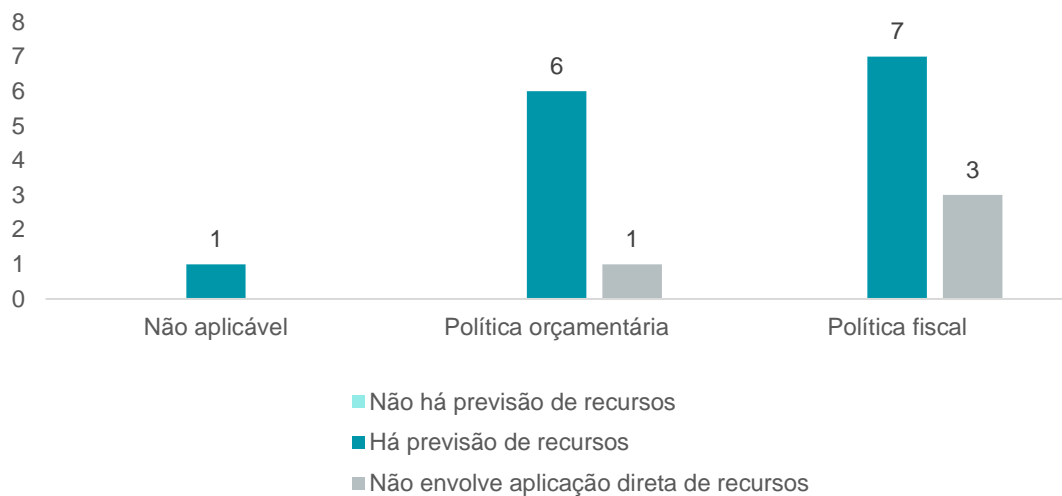
Diferentemente dos demais setores, o setor de energia apresenta uma maior densidade de políticas estaduais. Esse padrão pode estar associado à necessidade de adaptação às especificidades locais da matriz energética, à capacidade técnica do estado para formular políticas próprias e à dinâmica federativa, que permite maior protagonismo subnacional em temas estratégicos. Essa configuração sugere que a transição energética no Brasil vem sendo construída de forma multiescalar, com a atuação de diferentes níveis de governo e a interação entre instrumentos institucionais. Embora essas interações nem sempre ocorram de forma

plenamente coordenada, elas contribuem para a diversificação de abordagens e para o avanço gradual da agenda de descarbonização.

Em relação ao grau de maturidade das políticas, a avaliação pode ser feita a partir da combinação entre a etapa do ciclo em que cada iniciativa se encontra e a existência de previsão orçamentária explícita. Todas se encontram na fase de implementação, o que pode indicar um estágio de consolidação institucional, no qual as diretrizes já foram formuladas e os esforços atuais estão voltados à operacionalização das ações.

Quanto ao alinhamento orçamentário, a maioria das políticas apresenta previsão de recursos, o que sugere um esforço governamental para assegurar a viabilidade financeira das medidas propostas, sobretudo por meio de instrumentos fiscais, conforme detalhado na Figura 4.

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



Fonte: Elaboração própria.

Foram mapeadas quatro políticas que não envolvem a aplicação direta de recursos, a saber:

- Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais: estudo que modelou o sistema energético mineiro no médio e longo prazo, com o objetivo de subsidiar a formulação de uma política de transição energética voltada à expansão das fontes renováveis e à promoção da eficiência energética nos níveis estadual e municipal;
- Política Estadual do Biogás e do Biometano (Lei Estadual nº 24.396/2023): estabelece as bases regulatórias para o setor, com diretrizes voltadas ao desenvolvimento e uso do biogás e do biometano em Minas Gerais;
- PDMG (Plano de Descarbonização para o Estado de Minas Gerais): estudo técnico que forneceu os cenários de mitigação setorial utilizados como base para a formulação do PLAC-MG;

- Plano Estadual de Recursos Hídricos: define normas e diretrizes para a gestão dos recursos hídricos no estado.

Esses instrumentos são, em sua maioria, de natureza estruturante ou regulatória, com foco na orientação estratégica, na definição de diretrizes e na articulação institucional. Por esse motivo, não demandam, necessariamente, alocação direta de recursos. Ainda assim, sua efetividade depende da capacidade de influenciar políticas operacionais e de induzir ações coordenadas entre diferentes atores e níveis de governo. Por sua vez, não foram mapeadas políticas sem previsão explícita de recursos.

A predominância de políticas fiscais no conjunto analisado reflete uma estratégia de mobilização de recursos públicos e privados para a transição energética. A Cláusula de PD&I, por exemplo, obriga empresas petrolíferas a investir parte da receita em pesquisa e inovação, atuando como mecanismo de indução tecnológica. O Programa Mineiro de Energia Renovável – Energias de Minas oferece incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado para empreendimentos de geração renovável, abrangendo desde a produção de equipamentos até a infraestrutura de conexão. Esses instrumentos ajudam a reduzir barreiras econômicas à adoção de tecnologias limpas e a dinamizar cadeias produtivas locais.

Os instrumentos orçamentários incluem iniciativas como PNIIGB, o PNE (2050) e a Política Estadual do Biogás e do Biometano. Além de estabelecerem diretrizes regulatórias, esses instrumentos preveem ações com respaldo financeiro, funcionando como pontes entre o planejamento de longo prazo e a execução prática. Com isso, metas estratégicas são convertidas em projetos concretos com apoio orçamentário.

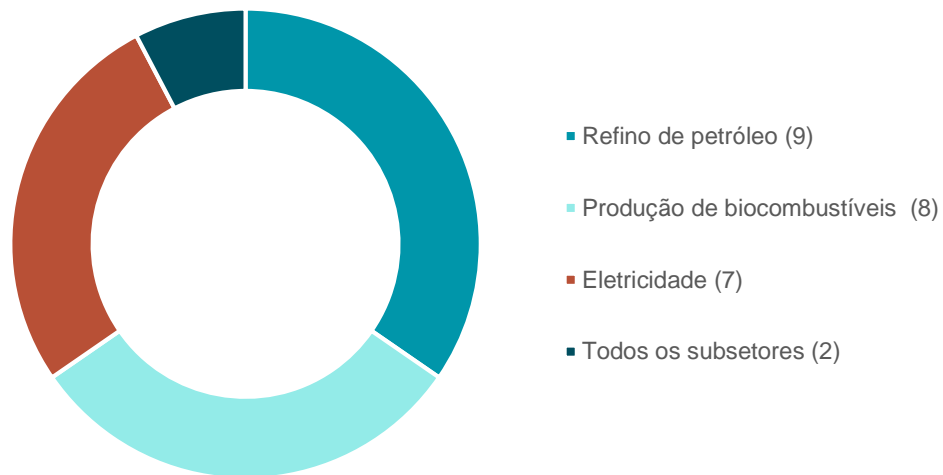
A Resolução SEDE nº 32/2021, que promove a Revisão do Mercado Livre de Gás em Minas Gerais, não se enquadra nessa classificação, pois não envolve arrecadação, despesa pública ou planejamento orçamentário, o que justifica sua não aplicabilidade.

A combinação de instrumentos predominantemente estaduais, com natureza fiscal e previsão de recursos, revela uma estratégia descentralizada, na qual o estado exerce maior protagonismo na viabilização da transição energética por meio de incentivos. Ao mesmo tempo, a existência de instrumentos estruturantes e regulatórios sem previsão orçamentária direta indica que parte relevante do esforço governamental está voltada à construção de bases técnicas e institucionais para orientar e sustentar políticas operacionais futuras.

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 18 políticas mapeadas para o setor, três são aplicáveis a múltiplas tecnologias. Levando isso em conta, apresenta-se a seguir a quantidade de políticas por subsetor de energia a qual as tecnologias se aplicam, totalizando 26 ocorrências.

Conforme observado na Figura 5, no setor de energia, as políticas mapeadas ocorrem em maior número no subsetor de refino de petróleo, seguido pelo subsetor de produção de biocombustíveis e de geração de eletricidade. Adicionalmente, duas políticas relacionam-se aos três subsetores.

Figura 5: Distribuição do número de políticas por tema – Energia



Fonte: Elaboração própria.

No subsetor de refino de petróleo, destacam-se políticas voltadas à captura de carbono e ao incentivo ao uso de gás natural, com três iniciativas identificadas para cada tecnologia. Essa distribuição sugere uma tentativa de equilibrar medidas de redução imediata de emissões, como a substituição parcial de combustíveis por gás natural, com o desenvolvimento de tecnologias de médio e longo prazo, como a captura e armazenamento de carbono. A coexistência dessas abordagens indica uma estratégia de transição gradual, voltada à mitigação de impactos, sem comprometer a segurança energética.

Para a produção de biocombustíveis, observa-se lógica semelhante: as políticas concentram-se na regulamentação da captura e armazenamento de carbono e no estímulo à cogeração de energia a partir de resíduos. Essa combinação sugere uma tentativa de aumentar a eficiência e reduzir as emissões associadas ao consumo de combustíveis, promovendo, simultaneamente, o aproveitamento energético de resíduos.

Quanto à eletricidade, as políticas mapeadas apresentam foco mais abrangente, voltado ao incentivo geral às fontes renováveis. Embora não indiquem tecnologias prioritárias, essa orientação tende a favorecer a expansão de sistema já consolidados, como os hidrelétricos.

As políticas que se relacionam a todos os subsetores são o PLAC-MG e o PNE (2050). Esses instrumentos articulam diferentes tecnologias e estratégias, promovendo uma visão integrada

da transição energética. Ao estabelecer diretrizes amplas e metas de longo prazo, contribuem para alinhar ações setoriais e orientar os investimentos de forma mais coordenada no setor.

Foi possível observar que em 18 das ocorrências mapeadas, observa-se uma relação direta com tecnologias específicas, como captura de carbono ou produção de biometano. Essas iniciativas visam viabilizar a adoção ou expansão dessas soluções por meio de incentivos, regulamentações ou apoio técnico. Por outro lado, 8 ocorrências apresentam relação indireta com uma ou mais tecnologias, estabelecendo condições institucionais, regulatórias ou financeiras que favorecem sua implementação. Exemplos incluem a regulamentação do mercado de gás natural ou a gestão sustentável dos recursos hídricos, que, embora não tratem diretamente de tecnologias, influenciam sua viabilidade e difusão.

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

- o conjunto de políticas mapeado revela o predomínio de instrumentos fiscais e regulatórios, com participação expressiva do governo estadual. Esse arranjo institucional contribui para a estabilidade e previsibilidade das ações governamentais, ao mesmo tempo em que permite adaptações às especificidades regionais de Minas Gerais;
- a presença de políticas estaduais alinhadas a diretrizes nacionais, como o PNE 2050 e o PLAC-MG, reforçam a articulação entre os níveis federativos, favorecendo a coerência entre metas climáticas e estratégias energéticas;
- o predomínio de políticas com relação direta a tecnologias específicas também indica uma coerência técnica no desenho das iniciativas, com foco na viabilização de soluções concretas para a descarbonização. Essa orientação tende a facilitar a mobilização de investimentos e a acelerar a adoção de inovações, especialmente quando combinada a instrumentos de incentivo econômico;
- a concentração em instrumentos fiscais e regulatórios, embora relevante para induzir comportamentos e viabilizar financeiramente a transição, pode limitar a capacidade de coordenação e avaliação integrada se não for acompanhada por um número proporcional de instrumentos estruturantes. Nesse sentido, o fortalecimento de políticas voltadas ao planejamento, à articulação intersetorial e à produção de conhecimento técnico pode ser um passo essencial para garantir a sustentabilidade e a efetividade das ações no setor energético.

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

Eletricidade

Expansão da geração hidrelétrica por Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR)

As UHRs estão inseridas em um cenário no qual cumprem a função de garantir a segurança energética e compensar a intermitência das fontes renováveis na geração de eletricidade, substituindo usinas térmicas fósseis. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 2,1 MtCO₂e (0,5% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento de 7.261,9 R\$/tCO₂e (56,5% de todas as tecnologias com custos positivos em energia). Nesse contexto, foram identificadas barreiras de natureza política e regulatória, financeira, informacional e cultural e social.

No campo político e regulatório, a barreira é a não existência de políticas diretamente associadas às UHR. Visto que a tecnologia se encontra em fase inicial de implementação, essa barreira representa uma lacuna importante, especialmente quando considerado que a tecnologia apresenta alto potencial de viabilidade.

A ausência de políticas específicas para essa tecnologia, além de comprometer a segurança jurídica e a previsibilidade para investidores, também impacta diretamente na superação das demais barreiras identificadas. Por exemplo, a falta de incentivos e o excesso de contrapartidas exigidas constituem uma barreira financeira e tornam os projetos, que já possuem altos custos de manutenção, mais onerosos. A criação de linhas de financiamento

específicas e a revisão dos processos de análise e aprovação, com vistas à maior agilidade, são abordagens capazes de suavizar as barreiras encontradas.

A ausência de conhecimento público sobre as regiões mais adequadas para a instalação dessas usinas, tanto sob o ponto de vista técnico quanto socioeconômico, constitui uma barreira informacional importante. O mapeamento de áreas com maior potencial é uma das soluções apontadas como necessária para superação dessa barreira, trazendo impactos positivos já no médio prazo.

No campo cultural e social, por sua vez, é percebida uma dificuldade de convencimento institucional quanto à viabilidade e importância das UHR, especialmente quando comparadas a outras fontes renováveis mais populares, como a solar e a eólica. Essa barreira, embora menos material, pode ser superada por meio de campanhas de difusão da tecnologia e fortalecimento da articulação institucional entre os atores envolvidos na sua aplicação.

A efetivação de políticas regulatórias e a concessão de incentivos financeiros para essa tecnologia, bem como o mapeamento das áreas mais adequadas para sua instalação, são ações que podem ser endereçadas pelo governo estadual e traçam caminhos para o fomento das UHR em Minas Gerais.

Implementação de sistemas de armazenamento de energia em bateria em alta tensão (BESS)

Assim como no caso das UHRs, os sistemas de armazenamento de energia em baterias se inserem em um contexto no qual cumprem a função de garantir a segurança energética e compensar a intermitência das fontes renováveis na geração de eletricidade, substituindo usinas térmicas fósseis. No Cenário Rota (Produto P2.3), a adoção dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 0,6 MtCO_{2e} (0,2% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento de 1.999,9 R\$/tCO_{2e} (15,6% de todas as tecnologias com custos positivos em energia).

Em relação às barreiras para a implementação dessa tecnologia, foram identificados entraves de cunho político e regulatório, financeiro, tecnológico e institucional. Do ponto de vista regulatório, mesmo considerando os esforços recentes da ANEEL na regulamentação da tecnologia, ainda não existem normas e regulamentos específicos para a utilização dos sistemas de armazenamento, nem políticas de incentivo à sua adoção. Essa lacuna regulatória compromete a segurança jurídica e a integração da tecnologia ao Sistema Interligado Nacional (SIN). A barreira financeira é composta por dois elementos principais. Primeiro, ainda não estão disponíveis linhas de crédito que permitam a sua ampla utilização. Em segundo lugar, destaca-se a dependência de componentes importados, o que se traduz em custo elevado. Somado a isso, também é identificada uma alta carga tributária incidente sobre os sistemas de armazenamento.

A superação da barreira tecnológica, associada, em parte, à ausência de produção nacional dos componentes, está fortemente conectada com a superação de parte das barreiras financeiras. O investimento em pesquisa e desenvolvimento e fomento pode reduzir a dependência dos componentes importados e promover a superação dos desafios ambientais relacionados à destinação final das baterias, outra barreira de natureza tecnológica identificada.

Por fim, a barreira institucional refere-se à baixa interlocução com órgãos do nível federal, como a ANEEL e a EPE, articulação que se mostra especialmente necessária neste momento, em que os primeiros passos na regulamentação dos sistemas de armazenamento estão sendo dados. A ausência de políticas específicas compromete a superação das barreiras identificadas, residindo nesse aspecto as principais oportunidades de intervenção por parte do governo estadual.

Ainda que alguns aspectos normativos estejam sob competência da União, notadamente da ANEEL, o estado pode atuar na redução da carga tributária, investimentos em pesquisa e desenvolvimento para fomentar a produção local e no desenvolvimento de alternativas para a destinação final das baterias. No nível federal, as ações habilitadoras passam pela regulamentação completa do serviço pela ANEEL e a inclusão das baterias no kit de energia renovável. Essas alternativas requerem ações coordenadas entre diferentes esferas de governo e o setor privado.

Refino de petróleo

Medidas de eficiência energética

Essa tecnologia visa a adoção de medidas de eficiência energética nas unidades da Regap, como a Unidade de Destilação Atmosférica (UDA), Unidade de Craqueamento Catalítico Fluidizado (FCC) e Unidade de Coqueamento Retardado (UCR), promovendo a redução no consumo de combustíveis fósseis para a geração de energia da refinaria. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 2,7 MtCO_{2e} (0,7% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento de 2,7 R\$/tCO_{2e} (o menor custo dentre as tecnologias com custos positivos em energia). Apesar do baixo custo marginal de abatimento, é necessário ressaltar que a Regap é administrada por uma empresa pública federal, a Petrobras. Nesse contexto, as barreiras identificadas para a tecnologia são de natureza institucional e regulatória.

Do ponto de vista institucional, deve-se considerar que as decisões estratégicas sobre produção e investimentos são tomadas em consonância com as diretrizes estabelecidas pela União. Portanto, se faz necessário ampliar a articulação institucional para que sejam estabelecidos mecanismos para a promoção de medidas de eficiência energética.

Em relação à barreira regulatória, observa-se a ausência de alinhamento entre o PDMG e os cenários atualizados da Regap, dado que o PDMG foi elaborado antes do anúncio da expansão da produção na Regap pela Petrobras, em 2023. Esse descompasso dificulta a estruturação e aplicação coerente das medidas e metas no âmbito do PLAC-MG. A superação da barreira passa, em parte, pela atualização do PDMG, para que sejam incorporados os novos cenários, bem como seus impactos sobre as metas climáticas do estado, objetivando uma maior consistência entre os instrumentos estruturantes e distributivos da política climática estadual.

O campo de atuação direta por parte do governo estadual é limitado, mas as ações apontadas são essenciais para assegurar o atingimento integral das metas climáticas de Minas Gerais.

Substituição de combustíveis fósseis

A substituição de combustíveis fósseis no refino de petróleo engloba duas tecnologias de mitigação: gás natural em substituição do óleo combustível e biometano em substituição do gás natural. A substituição do óleo combustível pelo gás natural é considerada uma etapa de transição, permitindo que, posteriormente, o biometano possa ser utilizado na matriz energética na Regap. Por essa razão, as tecnologias foram agrupadas nessa análise. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação da tecnologia de gás natural em substituição do óleo combustível resultou em um potencial de mitigação de 13,3 MtCO_{2e} (3,3% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento de 1.349,0 R\$/tCO_{2e} (10,5% de todas as tecnologias com custos positivos em energia). Já a implementação da tecnologia de biometano em substituição do gás natural resultou em um potencial de mitigação de 20,3 MtCO_{2e} (5,1% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento de 197,2 R\$/tCO_{2e} (1,5% de todas as tecnologias com custos positivos em energia).

Nesse contexto, incentivar a substituição de combustíveis na Regap envolve superar não apenas a barreira institucional, decorrente da não ingerência do governo estadual sobre a refinaria, mas também desafios tecnológicos e financeiros. Os equipamentos atualmente utilizados são inadequados para combustíveis de baixo carbono, o que exige novos investimentos em adaptação, adequação e ajustes nos maquinários.

Esses investimentos requerem a criação de linhas de fomento estruturadas para incentivar a substituição de máquinas e equipamentos, porém a possibilidade de atuação direta do governo estadual na estruturação dessas linhas é bastante limitada, considerando que a refinaria é operada pela Petrobras e que decisões sobre modernização tecnológica dependem de políticas federais e da própria empresa. A superação dessa barreira reforça a necessidade de articulação com a União e a Petrobras, residindo neste aspecto a principal margem de atuação do estado para garantir a substituição de combustíveis na refinaria e o consequente atingimento dos compromissos climáticos assumidos por Minas Gerais.

Captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UGH

As tecnologias de CCS se destacam por possibilitar emissões de dióxido de carbono sejam capturadas antes que cheguem efetivamente à atmosfera, contribuindo com a redução de emissões de setores com maior dificuldade de mitigação. Em relação ao Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação estimado de 4,3 MtCO₂e (1,1% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento de 381,2 R\$/tCO₂e (3,0% de todas as tecnologias com custos positivos em energia).

A tecnologia CCS nas operações da Regap enfrenta barreiras de natureza tecnológica. O principal desafio identificado está na complexidade do transporte e armazenamento do dióxido de carbono capturado, que ainda não dispõe da infraestrutura necessária, o que pode atrasar a adoção da tecnologia em alguns anos.

Ainda que inexistam políticas estaduais para esta tecnologia, são a ela pertinentes a Lei Federal nº 14.993/2024, que estabelece mecanismos para a captura e estocagem geológica de dióxido de carbono e a Cláusula de PD&I, que obriga empresas do setor de petróleo e gás a investirem parte de sua receita bruta em atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação. O espaço para atuação do governo estadual está justamente no desenvolvimento de um arcabouço que fomente os investimentos na infraestrutura necessária para a adoção da tecnologia. Essa estratégia deve ser acompanhada do fortalecimento da articulação com a Petrobras, responsável pela operação da refinaria.

Produção de biocombustíveis

Sistemas de cogeração em usinas de biodiesel

Os sistemas de cogeração de energia em usinas de biodiesel possuem como objetivo a substituição de combustíveis fósseis utilizados no processo e na aquisição de eletricidade pelo uso direto de resíduos agroflorestais nesses sistemas. Sendo assim, essa tecnologia é um importante fator para a redução de emissões de GEE do processo produtivo do biodiesel. De acordo com o Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação dessa tecnologia resultou em um potencial de mitigação de 1,4 MtCO₂e (0,4% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento negativo de 320,0 R\$/tCO₂e (única tecnologia do setor em que os benefícios financeiros superam os investimentos necessários). Apesar disso, a tecnologia ainda enfrenta barreiras político-regulatórias e financeiras, devido à necessidade de altos investimentos no curto prazo.

Conforme mencionado, a principal barreira enfrentada para a adoção de sistemas de cogeração em usinas de biodiesel é de cunho político e regulatório. Não foram identificadas políticas públicas nos âmbitos federal e estadual que incentivem e fomentem a tecnologia.

Essa lacuna também foi identificada para a cogeração a partir de resíduos florestais, comprometendo o desenvolvimento do setor como um todo.

Em relação à barreira financeira, destaca-se que os investimentos necessários para a implementação dos sistemas de cogeração, o que inclui a adaptação de equipamentos já instalados para o uso de resíduos agroflorestais, são elevados e a ausência de uma política de fomento não atenua essa barreira financeira. Do ponto de vista tecnológico, é identificada uma dificuldade de garantir o fornecimento contínuo de resíduos agroflorestais, especialmente em regiões com produção agrícola sazonal.

Considerando o exposto, fica evidenciada uma margem significativa para ação direta por parte do estado de Minas Gerais, que passa, necessariamente, pelo desenvolvimento de um arcabouço capaz de endereçar as barreiras e dificuldades que limitam a instalação dos sistemas de cogeração. A criação de uma política específica para o setor tem o potencial de solucionar as barreiras identificadas, particularmente no que se refere à criação de incentivos financeiros e à estruturação de cadeias de fornecimento de biomassa.

Implementação de BECCS na produção de biocombustíveis

A implementação de BECCS na produção de biocombustíveis inclui a aplicação dessa tecnologia nas usinas de cogeração a bagaço de cana e na produção de biometano. Além disso, considera o aumento da produção e do uso de biogás e biometano para consumo energético em substituição ao consumo de energia fóssil.

Nesses dois processos, a captura de carbono se destaca por possibilitar, dada a origem biogênica do carbono capturado, remoções efetivas de dióxido de carbono que equilibram as emissões de setores com maior dificuldade de mitigação. No Cenário Rota (Produto P2.3), a implementação de BECCS em usinas de cogeração a bagaço de cana resultou em um potencial de mitigação de 339,2 MtCO₂e (85,4% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento de 1.115,8 R\$/tCO₂e (8,7% de todas as tecnologias com custos positivos em energia). Já a implementação de BECCS na produção de biometano resultou em um potencial de mitigação de 13,3 MtCO₂e (3,3% do total estimado para energia), com custo marginal de abatimento de 551,0 R\$/tCO₂e (4,3% de todas as tecnologias com custos positivos em energia).

As barreiras enfrentadas são de todas as naturezas: regulatórias, financeiras, culturais e sociais, informacionais e tecnológicas. Embora a tecnologia seja incentivada pela Lei Federal nº 14.933 de 8 de outubro de 2024, que dispõe sobre a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono, ainda não existem políticas estaduais que incentivem a implementação da tecnologia em Minas Gerais. Uma regulamentação estadual do BECCS pode promover a criação de incentivos e o estabelecimento de diretrizes mais acuradas, que melhor atendam às especificidades do setor no estado.

A barreira financeira relaciona-se tanto aos elevados custos de investimento na tecnologia de captura e armazenamento de carbono, quanto, no caso do biometano, ao aumento de sua produção e consumo – que implica custos relacionados à expansão da infraestrutura de gasodutos para atender a essa demanda, inclusive no que diz respeito a processos demorados de licenciamento ambiental.

Adicionalmente, os gasodutos para a distribuição do biometano e o uso de gás de modo geral enfrentam baixa aceitação e percepção negativa, configurando barreiras do tipo cultural e social que, por sua vez, se relacionam com barreiras informacionais, visto que é observada uma escassez de informações sobre os biocombustíveis disponíveis para o público geral.

Por fim, do ponto de vista tecnológico, a captura e armazenamento de carbono ainda se encontra em baixo nível de maturidade tecnológica. Um arcabouço legal que envolva a criação de mecanismos de fomento e incentivo à produção de BECCS, a ampliação da rede de gasodutos e o investimento em pesquisa e desenvolvimento são capazes de acelerar a adoção da tecnologia em Minas Gerais.

Tecnologias não incluídas na MACC

Uso de hidrogênio verde para geração de eletricidade

O uso de hidrogênio verde para geração de eletricidade consiste na produção de hidrogênio por eletrólise da água utilizando fontes renováveis, como solar e eólica, e sua posterior reconversão em energia elétrica por meio de células a combustível. Essa tecnologia, assim como as UHRs, é promissora para mitigar a intermitência das fontes renováveis. Algumas iniciativas já estão em desenvolvimento no estado, tais como o projeto de PD&I da Cemig. Porém, a tecnologia enfrenta barreiras significativas, principalmente de natureza financeira e tecnológica.

A barreira financeira se deve ao elevado custo de armazenamento do hidrogênio, que pode ultrapassar R\$ 10.000/kg na forma líquida (ABDIN; KHALILPOUR; CATCHPOLE, 2022). Além disso, há a necessidade de altos investimentos em eletrolisadores e células a combustível. Já a barreira tecnológica se deve à baixa maturidade da tecnologia, especialmente no que se refere à conversão energética, transporte e reeletrificação. A única planta operacional no Brasil, associada à usina de Itumbiara, produz apenas 100 kg/dia, enquanto seriam necessárias 55 toneladas para cada GWh normalmente gerado em usinas térmicas.

Essa tecnologia pode ser relacionada aos sistemas de armazenamento em baterias (BESS), que também visam mitigar a intermitência das fontes renováveis e, indiretamente, à expansão da geração solar e eólica, também considerada na tecnologia de UHRs, que podem fornecer a eletricidade necessária para a eletrólise.

Entre as iniciativas mapeadas, destacam-se a Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde (Lei Estadual nº 24.940/2024), que estabelece diretrizes para fomentar a cadeia produtiva do hidrogênio, a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Lei nº 14.948/2024) e o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio (Lei nº 14.990/2024), que fornecem a base regulatória e oferecem instrumentos de incentivo e certificação para a ampliação do uso dessa tecnologia. Além disso, o PLAC-MG também reconhece o papel do hidrogênio na descarbonização do setor energético.

Para a superação dessas barreiras, é fundamental o incentivo à produção nacional de equipamentos, como eletrolisadores e células a combustível, e a criação de linhas de financiamento específicas para essa tecnologia e seus componentes. Outra possibilidade seria a inclusão do hidrogênio verde em leilões de energia de reserva, o que também pode impulsionar sua competitividade frente a outras tecnologias.

Uso de usinas eólicas para fornecimento de energia para sistemas de armazenamento

A utilização de usinas eólicas para abastecer sistemas de armazenamento de energia também tem como objetivo garantir a estabilidade da rede elétrica diante da intermitência das fontes renováveis. Entretanto, a geração eólica possui uma barreira tecnológica, relativa à sua representatividade em Minas Gerais, com apenas uma usina de pequeno porte em operação e previsão de expansão limitada até 2034, com uma central de 385 MW já considerada no Cenário Base. Há também uma barreira financeira, pois os custos de instalação e operação são superiores aos da geração solar, sendo 16% a 35% mais elevados para a mesma potência instalada.

Apesar disso, a tecnologia pode ser relacionada a BESS e às UHRs, que também visam mitigar a intermitência. É fundamental que a complementaridade entre fontes renováveis seja explorada em cenários futuros, especialmente se houver mudanças na competitividade de custos.

Em relação às políticas mapeadas, a Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais e o Plano Nacional de Energia 2050 reconhecem a importância da diversificação da matriz energética, o que inclui o incentivo à geração eólica. Além disso, o PLAC-MG prevê instrumentos tributários e financeiros para tecnologias de baixo carbono, podendo ser adaptado para apoiar a expansão da geração eólica em sinergia com sistemas de armazenamento.

Para superar as barreiras, recomenda-se o mapeamento de áreas com maior potencial eólico, investimentos em pesquisa aplicada e incentivos à cadeia de suprimentos e mão de obra especializada. A queda nos custos da tecnologia eólica nacional pode tornar essa rota mais competitiva no futuro. Porém, em um primeiro momento, a criação de programas estaduais

de incentivo à geração eólica distribuída e à integração com sistemas de armazenamento pode ampliar sua viabilidade.

Redução do FUT da Regap

A redução do fator de utilização (FUT) da Regap representa uma medida de descarbonização indireta, ao considerar a diminuição da produção de combustíveis fósseis em função da queda projetada na demanda por derivados de petróleo nos setores de transporte e indústria. Segundo o relatório do Cenário Rota (Produto P2.3), estima-se que a Regap poderia reduzir sua produção em até 90%.

As barreiras associadas à redução do FUT são de natureza institucional, regulatória e financeira. Do ponto de vista institucional, a Regap é operada pela Petrobras, empresa pública federal, cujas decisões de investimento e produção seguem diretrizes nacionais. No âmbito regulatório, a ausência de políticas públicas específicas que orientem a redução da produção de combustíveis fósseis em refinarias limita a previsibilidade e a segurança regulatória para essa transição. Além disso, no que diz respeito à barreira financeira, há incertezas quanto à viabilidade econômica da medida, especialmente frente à possibilidade de exportação de derivados ou à reconfiguração da planta para novos produtos.

Apesar de não haver políticas diretamente voltadas à redução do FUT, algumas iniciativas podem ser direcionadas para apoiar essa transição. O PLAC-MG, por exemplo, contempla ações voltadas à descarbonização do setor de refino, com instrumentos financeiros e metas de substituição de combustíveis. Além disso, o programa de Aceleração da Transição Energética (PATEN) pode ser utilizado para financiar projetos de reestruturação industrial e adaptação tecnológica.

A redução do FUT pode ser associada a outras tecnologias, tal como a substituição de combustíveis fósseis por biometano e gás natural, e a captura e armazenamento de carbono (CCS) nas unidades da Regap. Essas tecnologias compartilham o objetivo de reduzir as emissões associadas ao refino e podem ser integradas em uma estratégia de transição gradual da planta.

Portanto, para viabilizar essa medida, é importante que o Governo de Minas Gerais, por meio da articulação com a Petrobras e o governo federal, desenvolva estudos técnicos e econômicos sobre o impacto da redução do FUT na matriz energética estadual. Além disso, a inclusão da Regap em programas de transição justa e reindustrialização verde pode ser um caminho estratégico para alinhar a medida às metas climáticas do estado.

Transição gradual da Regap para uma biorrefinaria

A transição da Regap para uma biorrefinaria representa uma estratégia de descarbonização de longo prazo para o setor de refino em Minas Gerais. A tecnologia visa adaptar a infraestrutura existente para a produção de combustíveis renováveis, como óleo vegetal hidratado (HVO, na sigla em inglês), combustível sustentável de aviação (SAF, na sigla em inglês) e outros biocombustíveis. Essa transformação permitiria não apenas a redução das emissões da própria refinaria, mas também a descarbonização de setores consumidores, como transporte e indústria.

No entanto, a principal barreira identificada é a viabilidade econômica e tecnológica em larga escala. Conforme destacado no relatório do Cenário Rota (Produto P2.3), embora tecnologias como HEFA (Ésteres e Ácidos Graxos Hidrotratados) já estejam maduras, outras rotas como Alcohol-to-Jet (AtJ) ainda estão em fase de desenvolvimento. Além disso, há desafios logísticos e operacionais, como a garantia de fornecimento de matéria-prima em escala (óleos vegetais, etanol, biomassa) e a necessidade de adaptar unidades industriais para o coprocessamento de óleo vegetal e bio-óleo.

A transição gradual da Regap para uma biorrefinaria pode se relacionar a outras tecnologias, como a substituição de combustíveis. A produção de HVO, por exemplo, pode reduzir a demanda por biodiesel, liberando insumos para outras rotas tecnológicas.

Essa tecnologia também dialoga com diversas políticas públicas. Destacam-se o PLAC-MG, que prevê incentivos à produção de biocombustíveis e tecnologias de baixo carbono; o PDMG, que reconhece a importância da adaptação da Regap; e o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV), instituído pela Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024). Além disso, o Programa Compete Minas (SEDE/FAPEMIG) pode apoiar projetos-piloto e pesquisa aplicada sobre rotas tecnológicas como a produção de SAF via *Alcohol-to-Jet* (AtJ) (conversão de álcool em combustível de aviação).

Por fim, a superação das barreiras passa também pela articulação do Governo de Minas com a Petrobras e o governo federal para a criação de linhas de financiamento específicas para a conversão de refinarias, com foco em tecnologias de baixo carbono. Também é essencial fomentar a execução de projetos-piloto em território mineiro, com apoio de universidades e centros tecnológicos, e promover a expansão da produção de insumos como óleos vegetais e etanol. Outra opção seria a busca por projetos de cooperação internacional para acelerar a curva de aprendizado e viabilizar a adaptação das tecnologias às condições brasileiras.

Geração de hidrogênio verde na Regap

A geração de hidrogênio verde na Regap consiste na substituição da rota convencional de produção de hidrogênio por reforma a vapor do gás natural por uma alternativa baseada na

eletrólise da água, utilizando eletricidade proveniente de fontes renováveis. Essa mudança visa reduzir as emissões associadas à produção de hidrogênio, insumo essencial para diversos processos da refinaria. Embora tecnicamente viável, conforme estudo realizado para a Refap (RS), a principal barreira identificada é a inviabilidade econômica da tecnologia no contexto atual. Conforme destacado anteriormente, o custo de produção e de armazenamento do hidrogênio pode ser elevado. Por exemplo, estima-se que o eletrolisador precise operar ao menos 3.000 a 4.000 horas/ano para ser competitivo. No caso da Regap, seria necessária uma expansão significativa da geração renovável, como a construção de um parque solar dedicado, além da instalação de sistemas de armazenamento de eletricidade e hidrogênio para lidar com a intermitência das fontes e garantir o suprimento contínuo.

A tecnologia possui sinergia com outras medidas de descarbonização do setor de refino, como a substituição de combustíveis, uma vez que a produção de hidrogênio verde pode substituir o gás natural atualmente utilizado na Unidade Geradora de Hidrogênio (UGH), permitindo seu redirecionamento para outras unidades da refinaria, como alternativa ao óleo combustível.

Entre as iniciativas mapeadas que podem impactar essa tecnologia está a Lei Estadual nº 24.940/2024, que institui a Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde, estabelecendo diretrizes para ampliar o uso desses combustíveis na matriz energética estadual e fomentar sua cadeia produtiva. Em âmbito nacional, destacam-se a Lei nº 14.948/2024, que institui a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, e a Lei nº 14.990/2024, que cria o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC), com previsão de incentivos fiscais e apoio à pesquisa e inovação. O PLAC-MG também contempla a tecnologia, prevendo instrumentos tributários e financeiros para incentivar a adoção de geração de energia renovável, além de metas para ampliar o uso de hidrogênio de baixo carbono no estado.

Para viabilizar essa tecnologia no futuro, é necessário que a Petrobras e demais atores acompanhem os avanços da produção de hidrogênio em refinarias que utilizam reforma a vapor do gás natural, bem como as oscilações dos custos de geração por eletrólise renovável. Além disso, a produção nacional de equipamentos, como eletrolisadores e células a combustível, e a criação de linhas de financiamento específicas para projetos-piloto em refinarias também devem ser iniciativas avaliadas para promover a tecnologia.

Elevação da síntese de etanol

A elevação da síntese de etanol abrange um conjunto de inovações voltadas à melhoria da eficiência e à introdução de novos processos na produção de etanol, com destaque para o etanol de segunda geração (E2G). A principal barreira identificada nesse caso é a baixa maturidade tecnológica e operacional das rotas de E2G no estado. Apesar de avanços como a cogeração com bagaço de cana e a produção de biometano com resíduos, que já operam

com alta eficiência e permitem emissões negativas por meio de tecnologias como BECCS, a elevação da síntese de etanol ainda carece de dados robustos sobre custos e potencial de mitigação. Além disso, a ausência de projetos consolidados em larga escala e a necessidade de investimentos significativos para adaptação das plantas industriais dificultam a viabilidade econômica da tecnologia no curto prazo.

Nesse contexto, a tecnologia pode ser abordada de forma conjunta com a produção de biocombustíveis, por exemplo, o biometano, dado que ambas compartilham o objetivo de maximizar o aproveitamento energético dos resíduos da cana e reduzir as emissões associadas ao processo produtivo.

Em relação às políticas mapeadas, o PLAC-MG contempla metas de substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, o que pode favorecer a adoção de E2G no estado. Além disso, o Programa Nacional do Bioquerosene (Lei nº 14.248/2021) e o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Lei nº 14.990/2024) podem ser articulados para fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de rotas tecnológicas que utilizem o etanol como insumo energético.

Para superar as barreiras e viabilizar a tecnologia, é recomendável que o governo estadual incentive a pesquisa aplicada em parceria com universidades e centros tecnológicos, com foco na adaptação das rotas de E2G às condições locais. Também é importante fomentar a criação de linhas de financiamento específicas para tecnologias emergentes no setor sucroenergético e estimular a cooperação internacional para transferência de conhecimento. A inclusão da tecnologia em programas de certificação ambiental e em políticas de incentivo à bioeconomia pode também ampliar sua atratividade e acelerar sua adoção em Minas Gerais.

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 energia, 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 de energia, a implementação de tecnologias demanda uma abordagem estratégica que considere múltiplas dimensões. Entre os principais desafios estão a ausência de marcos legais claros para tecnologias emergentes como captura e armazenamento de carbono (CCS), baterias de armazenamento (BESS), cogeração em usinas de biodiesel e hidrogênio verde. Essa lacuna regulatória gera insegurança jurídica, dificultando investimentos e a adoção de soluções sustentáveis. Além disso, há limitações na articulação entre diferentes níveis de governo, especialmente quando ativos regulados federalmente precisam ser integrados a políticas estaduais. A superação dessas barreiras exige planejamento estratégico, fóruns de coordenação intergovernamental e a criação de regulamentações específicas que considerem critérios ambientais, sociais e operacionais.

Outro eixo fundamental é constituído pelo financiamento e pelos incentivos econômicos, dado o alto custo inicial das tecnologias e a dependência de importações. A morosidade nos processos de licenciamento também representa um entrave significativo. Para enfrentar esses desafios, são propostas ações como linhas de crédito específicas, inclusão de tecnologias em leilões de energia, incentivos fiscais e apoio regulatório. A infraestrutura e a logística também se destacam como pontos críticos, com a ausência de dutos e hubs de CO₂, sazonalidade

das atividades que geram biomassa como subproduto e integração precária entre fontes renováveis, dada sua natureza intermitente. A solução passa por investimentos em infraestrutura, planejamento de cadeias produtivas e integração energética. Essas ações têm potencial para aumentar a eficiência da matriz energética e garantir maior segurança no transporte e armazenamento de insumos estratégicos.

Por fim, a capacitação técnica e a aceitação pública são elementos centrais para o sucesso da transição. A dependência externa de tecnologias e a falta de diretrizes para descarte de baterias indicam a necessidade de projetos de pesquisa e desenvolvimento, apoio à indústria local e regulamentações ambientais mais ágeis. A atualização de planos e sua integração com políticas setoriais são essenciais para alinhar metas climáticas com a realidade industrial. Além disso, campanhas informativas e ações de engajamento social são fundamentais para superar barreiras culturais e aumentar a aceitação das novas tecnologias. A criação de políticas específicas para tecnologias emergentes, com instrumentos regulatórios e financeiros locais, pode acelerar a inovação e atrair investimentos. Em conjunto, essas medidas apontam para uma estratégia robusta e integrada, capaz de impulsionar a descarbonização e a modernização do setor energético.

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

Quadro 4: Recomendações de políticas públicas - Energia

Recomendação	Contexto e barreiras	Tecnologias associadas	Ações habilitadoras	Impactos esperados	Atores envolvidos
Regulação específica e segurança jurídica	Falta de marcos regulatórios claros para UHR, BESS, BECCS, cogeração e captura de carbono; lacunas legais e ambientais	UHR, BESS, cogeração ³ , implementação de CCS ⁴	Criar regulamentações estaduais com critérios ambientais, sociais e operacionais para CO ₂ e hidrogênio	Redução de incertezas jurídicas, atração de investimentos e aceleração da adoção de tecnologias sustentáveis	SEMAD, SEDE, SEINFRA, CIMC, ALMG, CNPE, EPE, MME, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor
Articulação intergovernamental e planejamento estratégico	Limitações das competências estaduais sobre ativos regulados federalmente; necessidade de coordenação multinível	Implementação de CCS, eficiência energética	Criar fóruns entre governos para alinhar metas e integrar planos estaduais às diretrizes nacionais	Coerência entre políticas, ambiente favorável a investimentos e avanço das tecnologias de baixo carbono	SEDE, SEMAD, SEINFRA, CEMIG, MME, CNPE, EPE, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor, Petrobras, entidades do terceiro setor, empresas do setor privado e concessionárias
Financiamento e incentivos econômicos	Alto custo inicial das tecnologias, dependência de importações, morosidade nos licenciamentos	UHR, BESS, implementação de CCS, cogeração	Linhas de crédito específicas, inclusão de BESS em leilões, incentivos fiscais e apoio regulatório	Redução de custos, aceleração da adoção de tecnologias limpas e estímulo à inovação	SEDE, SEMAD, SEF, CIMC, instituições financeiras, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor, empresas do setor privado e concessionárias
Infraestrutura e logística	Ausência de dutos e <i>hubs</i> de CO ₂ , sazonalidade da biomassa, integração	Implementação de CCS, cogeração, UHR	Planejar gasodutos e <i>hubs</i> de CO ₂ , estruturar cadeias de biomassa, integrar fontes renováveis com hidrelétricas	Segurança no transporte de CO ₂ , estabilidade da biomassa e eficiência na matriz energética	GASMIG, CEMIG, SEDE, SEMAD, SEINFRA, MME, EPE, instituições financeiras, Petrobras, órgãos fiscalizadores e

³ No quadro, cogeração se refere à tecnologia de sistemas de cogeração em usinas de biodiesel.

⁴ No quadro, implementação de CCS se refere à tecnologia de captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UGH da Regap.



	precária de fontes renováveis				reguladores do setor, empresas do setor privado e concessionárias, organizações da sociedade civil, instituições de ensino e pesquisa
Pesquisa, desenvolvimento e produção nacional	Dependência externa, falta de capacitação local, ausência de legislação para descarte de baterias	Implementação de CCS, BESS, hidrogênio verde ⁵	Projetos de P&D, apoio à indústria nacional, capacitação profissional, diretrizes para reciclagem	Autonomia tecnológica, inovação local, geração de empregos e sustentabilidade	EPE, instituições de ensino e pesquisa, FAPEMIG, Petrobras, empresas do setor privado e concessionárias
Atualização de planos e integração com políticas setoriais	Defasagem dos planos frente à realidade produtiva e tecnológica, falta de integração entre políticas	Implementação de CCS, UHR	Revisar planos periodicamente, integrar com políticas federais e setoriais, incluir metas tecnológicas	Alinhamento entre metas climáticas e realidade industrial, direcionamento de investimentos	SEMAD, SEDE, ALMG, EPE, MME, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor, Petrobras, empresas do setor privado e concessionárias
Campanhas informativas e superação de barreiras culturais	Baixa visibilidade das tecnologias, resistência pública e política, percepções negativas	UHR, Implementação de CCS, cogeração, gás natural, hidrogênio verde	Campanhas educativas, canais de diálogo com comunidades, divulgação de benefícios e casos de sucesso	Maior aceitação pública, apoio político e social, redução de barreiras culturais	SEE-MG, SEDE, SECOM, CIMC, CEMIG, organizações da sociedade civil, instituições de ensino e pesquisa, empresas do setor privado e concessionárias, mídia

⁵ No quadro, cogeração se refere ao uso de hidrogênio verde para geração de eletricidade, tecnologia não incluída na MACC.

Criação de políticas específicas para tecnologias emergentes	Ausência de instrumentos regulatórios e financeiros locais, falta de sinais claros aos investidores	Implementação de CCS, BESS, UHR, hidrogênio verde	Incentivos fiscais, fundos de inovação, PPPs, regulamentação ambiental agilizada	Adoção acelerada, atração de investimentos, inovação local e cumprimento de metas climáticas	SEDE, SEMAD, ALMG, SEINFRA, instituições financeiras, órgãos fiscalizadores e reguladores do setor, instituições de ensino e pesquisa, empresas do setor privado e concessionárias
--	---	---	--	--	--

Fonte: Elaboração própria.

Regulação específica e segurança jurídica

A ausência de marcos regulatórios claros para tecnologias como UHR, BESS, cogeração em usinas de biodiesel, BECCS e captura de carbono em refinarias compromete a previsibilidade e a segurança jurídica. No Brasil, por exemplo, faltam exemplos de UHR em operação em larga escala até o momento, apesar do grande potencial. A regulamentação específica ainda está em discussão na Aneel.

A captura e armazenamento de carbono recebeu um arcabouço legal somente em 2024, com a Lei do Combustível do Futuro (Lei Federal 14.993/2024), que estabeleceu o primeiro marco regulatório de CCS no país. Essa lei atribuiu à ANP a competência de autorizar e normatizar projetos de CCS, trazendo mais clareza regulatória e segurança jurídica para investimentos. Entretanto, mesmo com esse respaldo federal e com a possibilidade de os investimentos serem iniciados com base na legislação vigente, o que permite aplicação por analogia a normativos mais abrangentes ou aplicáveis a outras tecnologias, ainda há lacunas legais que limitam o pleno aproveitamento de tecnologias de bioenergia com captura e armazenamento de carbono. Essas limitações se devem às especificidades do contexto local e aos requisitos de salvaguardas ambientais.

Iniciativas estaduais nesse sentido poderiam posicionar Minas Gerais à frente do ponto de vista da segurança jurídica. Recomenda-se que o governo estadual desenvolva regulamentações técnicas próprias que complementem o marco federal. Isso inclui critérios ambientais, sociais e de operação voltados a essas tecnologias emergentes, criando um ambiente regulatório favorável. Também é importante contemplar nas normas estaduais o uso, transporte e armazenamento de CO₂ e hidrogênio, garantindo rastreabilidade e conformidade ambiental desses insumos energéticos.

Tecnologias associadas:

- Expansão da geração hidrelétrica por UHR;
- Implementação de BESS;
- Sistemas de cogeração em usinas de biodiesel;
- Captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UHG da Regap.

Ações necessárias:

- desenvolver regulamentações estaduais complementares ao marco federal para as tecnologias emergentes, como UHR, BESS, cogeração, BECCS e captura de carbono. Essas regulamentações devem envolver critérios ambientais, sociais e operacionais, com ênfase no uso, transporte e armazenamento de CO₂ e hidrogênio.

Atores envolvidos:

- SEMAD;
- SEDE;



- SEINFRA;
- CIMC;
- ALMG;
- CNPE;
- EPE;
- MME;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor.

Impactos esperados:

- criação de um arcabouço regulatório estadual que, além de reduzir incertezas jurídicas, incentivará investimentos em tecnologias inovadoras e acelerará a adoção de soluções sustentáveis.

Articulação intergovernamental e planejamento estratégico

Muitas iniciativas de descarbonização no setor de energia esbarram no limite das competências estaduais, pois ativos importantes, como refinarias, grandes usinas e gasodutos, costumam estar sob regulação federal. Um exemplo é a Regap, em Minas Gerais, cuja gestão e investimentos são definidos pela Petrobras e pela União. Nesse contexto, o estado tem atuação direta limitada, o que torna essencial a articulação institucional com órgãos federais, como Aneel, ANP e EPE, e com empresas estatais para viabilizar projetos de eficiência energética, CCS e outras tecnologias.

A implementação bem-sucedida de tecnologias de alto impacto climático depende de coordenação entre os vários níveis de governo, a indústria e a sociedade. A viabilidade de iniciativas como o CCS no Brasil, ainda em fase embrionária, exige uma ação conjunta para criar um ambiente de investimentos previsível e alinhado às estratégias climáticas.

Recomenda-se fortalecer mecanismos de cooperação federativa no planejamento energético. Isso inclui a criação de fóruns entre os governos estadual e federal para alinhar metas e ações, integrando os planos estaduais às diretrizes do Plano Decenal de Energia (PDE) e às políticas nacionais de transição energética. O estado pode exercer influência indireta ao atualizar seus marcos regulatórios locais em sintonia com os federais, participar ativamente de consultas públicas promovidas por Aneel e ANP e buscar parcerias com empresas como a Petrobras para projetos de P&D e investimentos regionais.

Mesmo sem controle direto de ativos como a Regap, o estado pode negociar contrapartidas, como a implantação de projetos de captura de carbono ou de eficiência energética na refinaria. Também pode assegurar que os planos estaduais reflitam cenários produtivos reais, evitando discrepâncias entre metas climáticas e a expansão industrial em curso. Uma

coordenação intergovernamental estreita alinha planejamento, regulação e financiamento, potencializando a implementação de tecnologias de baixo carbono no estado.

Tecnologias associadas:

- Medidas de eficiência energética nas unidades da Regap;
- Captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UHG da Regap.

Ações necessárias:

- estabelecer fóruns de diálogo entre os governos estaduais e federais para alinhamento de metas e políticas, garantindo que os planos estaduais de energia integrem as diretrizes nacionais da transição energética;
- buscar parcerias estratégicas com a Regap para projetos de P&D e investimentos locais.

Atores envolvidos:

- SEDE;
- SEMAD;
- SEINFRA;
- CEMIG;
- MME;
- CNPE;
- EPE;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor;
- Petrobras;
- entidades do terceiro setor;
- empresas do setor privado e concessionárias.

Impactos esperados:

- maior coerência entre as políticas estaduais e federais, criando um ambiente propício para investimentos e para o avanço das tecnologias de descarbonização.

Financiamento e incentivos econômicos

O alto custo inicial de tecnologias como UHR, BESS, BECCS e até mesmo dos sistemas cogeração nas usinas de biodiesel é uma barreira significativa à adoção em larga escala. No Brasil, existe a dependência de componentes importados, especialmente baterias e equipamentos de CCS, o que tende a elevar os custos devido a despesas logísticas, tributárias e à volatilidade cambial. Atualmente, sistemas de armazenamento em baterias

importados podem ter carga tributária superior à de sistemas implementados com equipamentos montados localmente.

As políticas industriais de estímulo ao conteúdo nacional, que utilizam instrumentos tributários protetivos, são formuladas majoritariamente em nível federal, o que torna a influência dos governos subnacionais indireta e limitada. Outro entrave é a ineficiência e morosidade das exigências nos processos de aprovação e licenciamento, que tendem a aumentar custos transacionais e podem inviabilizar iniciativas inovadoras. Fortalecer as capacidades burocráticas dos atores envolvidos nos leilões e nos trâmites de licenciamento ambiental pode reduzir custos indiretos sem comprometer as salvaguardas ambientais e sociais.

Recomenda-se criar mecanismos específicos de financiamento e apoio fiscal para essas tecnologias estratégicas, garantindo transparência, contrapartidas e monitoramento de efetividade. Os estados, em parceria com bancos públicos, podem lançar linhas de crédito direcionadas a projetos de UHR, BESS, cogeração e BECCS, com prazos e juros diferenciados.

Além disso, a inclusão oficial dos sistemas BESS nas políticas de incentivo às energias renováveis e nos leilões de energia de reserva de capacidade contribuiria para ampliar sua viabilidade econômica. Incentivos financeiros, como crédito facilitado e incentivos fiscais, aliados a marcos normativos que valorizem o armazenamento, são cruciais para acelerar a adoção dessas tecnologias de alto custo inicial e grande potencial de externalidades positivas.

Tecnologias associadas:

- Expansão da geração hidrelétrica por UHR;
- Implementação de BESS;
- Sistemas de cogeração em usinas de biodiesel;
- Captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UHG da Regap.

Ações necessárias:

- criar mecanismos de financiamento e incentivo fiscal voltados para tecnologias de alto custo inicial, como UHR, BESS, BECCS e cogeração. Isso inclui linhas de crédito específicas e a inclusão de BESS em leilões de energia.

Atores envolvidos:

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

- instituições financeiras;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor;
- empresas do setor privado e concessionárias;

Impactos esperados:

- redução do custo de implementação e aceleração do uso de tecnologias limpas, com estímulo à inovação e à redução de custos logísticos e tributários.

Infraestrutura e logística

Muitas soluções de descarbonização dependem de infraestrutura inexistente ou insuficiente no Brasil. A viabilidade de CCS e BECCS, por exemplo, pressupõe a expansão da infraestrutura de gasodutos para transporte de biometano e a criação de locais de armazenamento e de redes de dutos dedicados para o CO₂. Atualmente, o país carece de dutos e de hubs de CO₂, algo que a regulamentação futura deverá abordar para estruturar um mercado de transporte e serviços de carbono. A ausência dessa infraestrutura é um gargalo, pois, mesmo que o CO₂ seja capturado em uma refinaria ou usina, ainda é necessário transportá-lo de forma segura até um reservatório geológico adequado. Recomenda-se o incentivo ao desenvolvimento de *hubs* industriais de CCS, nos quais múltiplas fontes compartilhem dutos e instalações de injeção, otimizando custos.

No caso da biomassa, a cogeração enfrenta desafios logísticos para garantir o fornecimento contínuo de combustível. Usinas a bagaço de cana, cavaco de madeira ou outros resíduos dependem de cadeias de suprimento robustas. A disponibilidade da matéria-prima varia conforme a sazonalidade agrícola, afetando a regularidade da operação. Por exemplo, usinas de cana geram excedentes na safra, mas na entressafra há escassez de bagaço, exigindo estocagem ou complementos de biomassa de outras regiões. Sem uma cadeia estruturada, envolvendo transporte, armazenamento e contratos de longo prazo, projetos de cogeração podem ser prejudicados diante do risco de subutilização de capacidade produtiva instalada.

No âmbito da biomassa, portanto, é necessário estruturar cadeias de fornecimento permanentes, incentivar polos de produção florestal sustentável, fomentar a coleta de resíduos agrícolas e apoiar cooperativas que forneçam biomassa ao longo do ano. Políticas de zoneamento agrícola-energético podem alinhar oferta e demanda regional. Investir em logística, como armazéns, silos e transporte ferroviário ou rodoviário, diminuirá a sazonalidade percebida e evitará interrupções no suprimento de cogeração.

Já na expansão da geração hidrelétrica, sobretudo em Minas Gerais e em outros estados, é necessário compatibilizar novos projetos com a presença crescente de fontes eólica e solar na matriz brasileira. A integração dessas fontes intermitentes sem infraestrutura de apoio provoca desequilíbrios na rede, como excedentes de energia em horários de baixa demanda

e falta em picos, o que leva a cortes de geração renovável (*curtailment*) e riscos à estabilidade. UHRs e outras formas de armazenamento são parte da resposta para equilibrar o sistema.

Recomenda-se desenvolver políticas públicas e investimentos focados em infraestrutura de suporte à transição energética. Para CO₂, isso significa planejar e licenciar gasodutos dedicados e identificar áreas propícias ao armazenamento geológico. A criação de centros logísticos regionais de CO₂ próximos a polos industriais pode atrair projetos.

Quanto à expansão hidrelétrica, é fundamental coordená-la com a expansão solar e eólica. Isso inclui priorizar UHRs próximas a parques eólicos e solares para aproveitamento mútuo e minimização de perdas de transmissão, além de buscar sinergias com iniciativas de repotenciação e modernização de hidrelétricas antigas. Também é recomendado fortalecer as capacidades burocráticas dos atores envolvidos no licenciamento ambiental de projetos que combinem fontes, como usinas híbridas solar-hidráulicas, de modo a preservar salvaguardas socioambientais e assegurar celeridade aos processos.

Tecnologias associadas:

- Expansão da geração hidrelétrica por UHR;
- Sistemas de cogeração em usinas de biodiesel;
- Captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UHG da Regap.

Ações necessárias:

- planejar e investir em infraestrutura, incluindo gasodutos e *hubs* de armazenamento;
- desenvolver cadeias de fornecimento robustas para biomassa;
- otimizar a integração de fontes de energia renovável com hidrelétricas;
- fortalecer capacidade dos atores e promover celeridade nos processos ligados ao licenciamento ambiental.

Atores envolvidos:

- GASMIG;
- CEMIG;
- SEDE;
- SEMAD;
- SEINFRA;
- MME;
- EPE;
- instituições financeiras;
- Petrobras;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor;

- empresas do setor privado e concessionárias;
- organizações da sociedade civil;
- instituições de ensino e pesquisa.

Impactos esperados:

- maior segurança no transporte e armazenamento de CO₂;
- estabilidade no fornecimento de biomassa;
- integração eficiente das fontes renováveis à matriz energética.

Pesquisa, desenvolvimento e produção nacional

Muitas das tecnologias destacadas, como CCS, BECCS, BESS e hidrogênio verde, ainda não alcançaram maturidade no mercado brasileiro. Isso acarreta dependência de soluções e equipamentos estrangeiros. Baterias de lítio e máquinas e equipamentos avançados, por exemplo, são majoritariamente importados e, nas tecnologias de captura de CO₂, poucos fornecedores globais dominam o mercado. Essa dependência externa não apenas onera os projetos, como também limita a autonomia tecnológica do país.

Além disso, cria-se um passivo futuro: baterias têm vida útil limitada e, atualmente, falta legislação específica para reciclagem e descarte de baterias de lítio no Brasil, o que pode se tornar um problema ambiental caso a adoção escale sem soluções locais de reuso ou reciclagem.

A transição energética requer um esforço direcionado de P&DI. No caso do CCS e BECCS, há desafios técnicos na identificação dos melhores locais de armazenamento geológico, no monitoramento de possíveis vazamentos e na redução dos custos de captura. A Confederação Nacional da Indústria (CNI) aponta que, além de regulação clara, é imprescindível investir em P&DI e na formação de recursos humanos capacitados para atuar nessas áreas, garantindo segurança e sustentabilidade dos projetos a longo prazo (CNI, 2024). Sem esse investimento, faltará conhecimento local sobre potenciais de armazenamento de CO₂, novas rotas de uso do CCU e melhorias em processos industriais para captura.

De forma semelhante, o desenvolvimento de BESS no país se beneficiaria de produção nacional de componentes, que atualmente é inexpressiva. Há movimentos iniciais, como investimentos planejados em fábricas de baterias e exploração de lítio no Brasil, mas a escala ainda é pequena frente à demanda projetada. A baixa capacitação local também é um desafio, frente ao qual é preciso formar mais engenheiros e técnicos especializados em química de baterias, geologia de reservatórios de CO₂, sistemas de controle para cogeração e outras áreas correlatas.

Recomenda-se estimular projetos de P&DI aplicados em parceria com universidades, centros tecnológicos e empresas. O estado pode criar programas de apoio, via FAPEMIG, focados em transição energética, financiando estudos sobre captura de carbono, novas rotas de bioenergia e armazenamento avançado. É igualmente importante atrair indústrias de componentes por meio de incentivos fiscais e financiamentos, fomentando a instalação de fábricas de baterias, equipamentos de eletrólise, sensores e outros insumos críticos para a economia de baixo carbono. Isso reduzirá a dependência externa e poderá gerar empregos qualificados.

Também é necessário apoiar a reciclagem e a destinação final de novas tecnologias, estabelecendo diretrizes para coleta e reciclagem de baterias de grande porte antes que o volume se torne problemático. Na área hidrelétrica, investir em estudos técnicos e socioambientais nas bacias hidrográficas pode viabilizar expansões com menor impacto, identificando locais para UHRs que minimizem alterações em rios e outros impactos socioambientais. Por fim, a capacitação profissional é fundamental, por meio de parcerias entre governos estaduais e instituições de ensino para formar especialistas em energias renováveis, armazenamento e CCS, garantindo maior absorção do potencial produtivo das fontes limpas e da inovação tecnológica pelo mercado local.

Tecnologias associadas:

- implementação de BESS;
- captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UHG da Regap;
- uso de hidrogênio verde para a geração de eletricidade.

Ações necessárias:

- incentivar projetos de P&DI em tecnologias emergentes como CCS, BECCS, BESS e hidrogênio verde, com foco em:
 - produção nacional de componentes;
 - identificação dos melhores locais de armazenamento geológico;
 - desenvolvimento de tecnologias para monitoramento de possíveis vazamentos;
- criar programas de capacitação e formação de mão de obra especializada;
- promover a atração de indústrias de componentes por meio de incentivos fiscais e financiamentos;
- estabelecer diretrizes para coleta, reciclagem e destinação final de baterias;
- investir em estudos técnicos e socioambientais para a identificação de locais propícios à expansão de UHRs e que minimizem impactos socioambientais.

Atores envolvidos:

- EPE;
- instituições de ensino e pesquisa;
- FAPEMIG;
- Petrobras;
- empresas do setor privado e concessionárias.

Impactos esperados:

- desenvolvimento de soluções locais para as tecnologias emergentes;
- redução da dependência externa;
- estímulo à inovação e à competitividade no setor.

Atualização de planos e integração com políticas setoriais

Os planos estaduais de energia e clima precisam acompanhar a rápida evolução do setor energético. Em Minas Gerais, por exemplo, o plano estadual de energia e mudanças climáticas, assim como outras estratégias correlatas, pode estar desatualizado frente ao cenário atual. Um exemplo é a expansão recentemente anunciada da Refinaria Regap: em outubro de 2023, a Petrobras divulgou investimento para ampliar a capacidade de refino. Essa expansão e outras iniciativas semelhantes precisam estar alinhadas ao planejamento e às metas climáticas.

Recomenda-se realizar revisões periódicas dos planos estaduais de energia e mudança do clima, incorporando os novos cenários produtivos e tecnológicos. No caso de Minas Gerais, integrar nos planos a expansão da Regap, prevendo medidas compensatórias ou melhorias de eficiência e CCS na refinaria, é fundamental para que a meta estadual de emissões reflita a realidade industrial, incluindo outras cadeias produtivas.

Da mesma forma, se houver descobertas de novas reservas de gás ou a entrada de usinas termelétricas, o plano precisa contemplar essas mudanças ou propor formas de mitigar seus impactos. É igualmente importante alinhar os planos de energia com outros planos setoriais relacionados, como o Plano Estadual de Recursos Hídricos (no que se refere a hidrelétricas e UHRs), a Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais e o Plano de Desenvolvimento do estado. Essa integração garante coerência nas políticas.

Ao incorporar tecnologias emergentes e outros desenvolvimentos relevantes a seus planos, o estado sinaliza prioridade e fornece um guia para investimentos públicos e privados nessas áreas. A atualização do planejamento torna-o um instrumento efetivo de coordenação e direciona esforços para que a transição energética se concretize.

Tecnologias associadas:

- expansão da geração hidrelétrica por UHR;
- captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UHG da Regap.

Ações necessárias:

- atualizar periodicamente os planos estaduais de energia e mudanças climáticas, integrando-os com as políticas federais de transição energética e com os cenários produtivos locais, como a expansão da Refinaria Regap.

Atores envolvidos:

- SEMAD;
- ALMG;
- SEDE;
- MME;
- EPE;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor;
- Petrobras;
- empresas do setor privado e concessionárias.

Impactos esperados:

- alinhamento entre os planos de energia e as realidades industriais e climáticas, promovendo a adaptação das metas climáticas às necessidades do setor produtivo e industrial.

Campanhas informativas e superação de barreiras culturais

A implementação de tecnologias inovadoras enfrenta não apenas desafios técnicos e econômicos, mas também barreiras culturais e de percepção pública. Em muitas instâncias, essas soluções têm baixa visibilidade fora do círculo de especialistas. No Brasil, conceitos como UHR ou BECCS são pouco conhecidos pelo grande público, o que dificulta a aceitação e o apoio a projetos-piloto ou a mudanças regulatórias. A ausência de UHRs em operação em larga escala também dificulta a demonstração concreta dos benefícios dessa tecnologia, tornando-a abstrata para tomadores de decisão e comunidades.

No caso do uso de gás natural e da infraestrutura de gasodutos, há percepções negativas associadas a combustíveis fósseis e a riscos ambientais. Comunidades tradicionais e movimentos climáticos vêm se opondo à expansão de projetos de petróleo e gás. Embora o

gás possa atuar como fonte de transição, é visto com desconfiança por defensores de uma mudança imediata e integral para fontes renováveis.

Essas barreiras culturais podem resultar em falta de apoio político e social para medidas necessárias. Projetos de CCS, por exemplo, podem ser interpretados erroneamente como “licença para poluir” ou gerar medo de vazamentos de CO₂, caso o público não esteja informado sobre sua segurança. De forma semelhante, iniciativas de cogeração a partir de biomassa ou biogás podem enfrentar resistência de comunidades locais devido a odores ou ao aumento no tráfego de caminhões, especialmente se não houver comunicação clara sobre seus benefícios, como a oferta de energia limpa e o aproveitamento de resíduos, e se não forem adotadas medidas para mitigar eventuais impactos nas localidades afetadas.

Recomenda-se instituir campanhas informativas e programas educacionais voltados à sociedade civil, comunidades locais, investidores e agentes do setor público sobre essas tecnologias emergentes. A divulgação deve enfatizar benefícios econômicos e ambientais, como os proporcionados pelas UHRs e baterias no armazenamento de energia e na estabilidade do sistema elétrico, evitando apagões e aproveitando melhor a energia solar e eólica, ou como aqueles decorrentes da captura de CO₂ em indústrias pesadas, com a mitigação de emissões difíceis de eliminar por outros meios. Mostrar casos de sucesso internacionais, como o uso seguro de CCS ou de UHRs para equilibrar redes, ajuda a tornar os conceitos mais tangíveis.

No campo do gás natural e do hidrogênio, é fundamental uma comunicação transparente sobre planos de descarbonização gradual, com o gás atuando como *backup* flexível para renováveis, a fim de rebater a percepção de que investir em gasodutos contradiz a transição energética. Engajar lideranças comunitárias e entidades do terceiro setor em diálogos prévios pode diminuir receios e incorporar sugestões locais aos projetos, como traçados de dutos que minimizem impactos.

Tecnologias associadas:

- expansão da geração hidrelétrica por UHR;
- sistemas de cogeração em usinas de biodiesel;
- captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UHG da Regap;
- uso de hidrogênio verde para geração de eletricidade.

Ações necessárias:

- implementar campanhas educativas sobre as tecnologias emergentes, com foco em sua segurança e benefícios para a sociedade;
- estabelecer canais de diálogo com as comunidades;
- promover a aceitação das inovações tecnológicas.

Atores envolvidos:

- SECOM;
- SEE-MG
- SEDE;
- CIMC;
- CEMIG;
- organizações da sociedade civil;
- instituições de ensino e pesquisa;
- empresas do setor privado e concessionárias;

Impactos esperados:

- maior compreensão pública sobre as tecnologias;
- redução de barreiras culturais;
- aumento do apoio social e político para projetos de infraestrutura energética sustentável.

Criação de políticas específicas para tecnologias emergentes

A ausência de políticas públicas específicas voltadas às tecnologias emergentes representa uma lacuna crítica no ambiente institucional brasileiro. Tecnologias como CCS, BESS e hidrogênio verde ainda enfrentam desafios significativos de maturidade, escala e competitividade, e sua adoção depende de sinais claros por parte do poder público quanto à prioridade estratégica dessas soluções. Sem instrumentos regulatórios e financeiros dedicados, investidores enfrentam incertezas quanto à viabilidade dos projetos, o que compromete a atração de capital e o desenvolvimento de cadeias produtivas locais.

Embora algumas dessas tecnologias já estejam contempladas em políticas nacionais, como a Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024), a atuação estadual é essencial para adaptar diretrizes às especificidades regionais, fomentar a inovação local e acelerar a implementação. A criação de políticas estaduais específicas pode incluir incentivos fiscais, fundos de inovação, programas de certificação e regulamentações ambientais mais ágeis, voltadas à viabilização de projetos-piloto e à estruturação de cadeias produtivas.

Além disso, políticas específicas permitem maior previsibilidade regulatória, facilitam o planejamento de investimentos e promovem a articulação entre diferentes setores da economia. Ao reconhecer formalmente o papel estratégico das tecnologias emergentes na transição energética, o estado sinaliza ao mercado seu compromisso com a descarbonização e com a modernização da matriz energética.

Tecnologias associadas:

- captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UHG da Regap;
- implementação de BESS;
- expansão da geração hidrelétrica por UHR;
- uso de hidrogênio verde para geração de eletricidade.

Ações necessárias:

- desenvolver políticas estaduais específicas para tecnologias emergentes, com instrumentos regulatórios e financeiros dedicados;
- criar fundos de inovação e linhas de financiamento para projetos-piloto;
- estabelecer incentivos fiscais para empresas que atuem com CCS, BESS e hidrogênio verde;
- agilizar processos de licenciamento ambiental para tecnologias de baixo carbono.

Atores envolvidos:

- SEDE;
- SEMAD;
- ALMG;
- SEINFRA;
- instituições financeiras;
- órgãos fiscalizadores e reguladores do setor;
- instituições de ensino e pesquisa;
- empresas do setor privado e concessionárias.

Impactos esperados:

- aceleração da adoção de tecnologias emergentes;
- atração de investimentos privados;
- fortalecimento da inovação local;
- avanço no cumprimento das metas climáticas do estado.

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 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 atrativa 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 - Energia

Tecnologia/Recomendação	1	2	3	4	5	6	7	8
Expansão da geração hidrelétrica – Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR)								
Implementação de sistemas de armazenamento de energia em bateria em alta tensão – BESS								
Medidas de eficiência energética								
Gás natural em substituição do óleo combustível								
Biometano em substituição do gás natural								
Captura de carbono nas unidades de FCC e UGH								
Sistemas de cogeração em usinas de biodiesel								
Captura de carbono nas usinas de cogeração a bagaço de cana								
Captura de carbono na produção de biometano								

Fonte: Elaboração própria.

Os números apresentados no gráfico referem-se às seguintes recomendações: (1) Regulação estadual complementar para tecnologias emergentes; (2) Fortalecer articulação intergovernamental e planejamento estratégico; (3) Criar mecanismos de financiamento e incentivos fiscais; (4) Investir em infraestrutura e logística para CO₂, biomassa e energia; (5) Fomentar P&D e produção nacional de tecnologias emergentes; (6) Atualizar planos estaduais e integrar políticas setoriais; (7) Implementar campanhas informativas e superar barreiras culturais; (8) Criar políticas estaduais específicas para tecnologias emergentes.

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

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.

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.

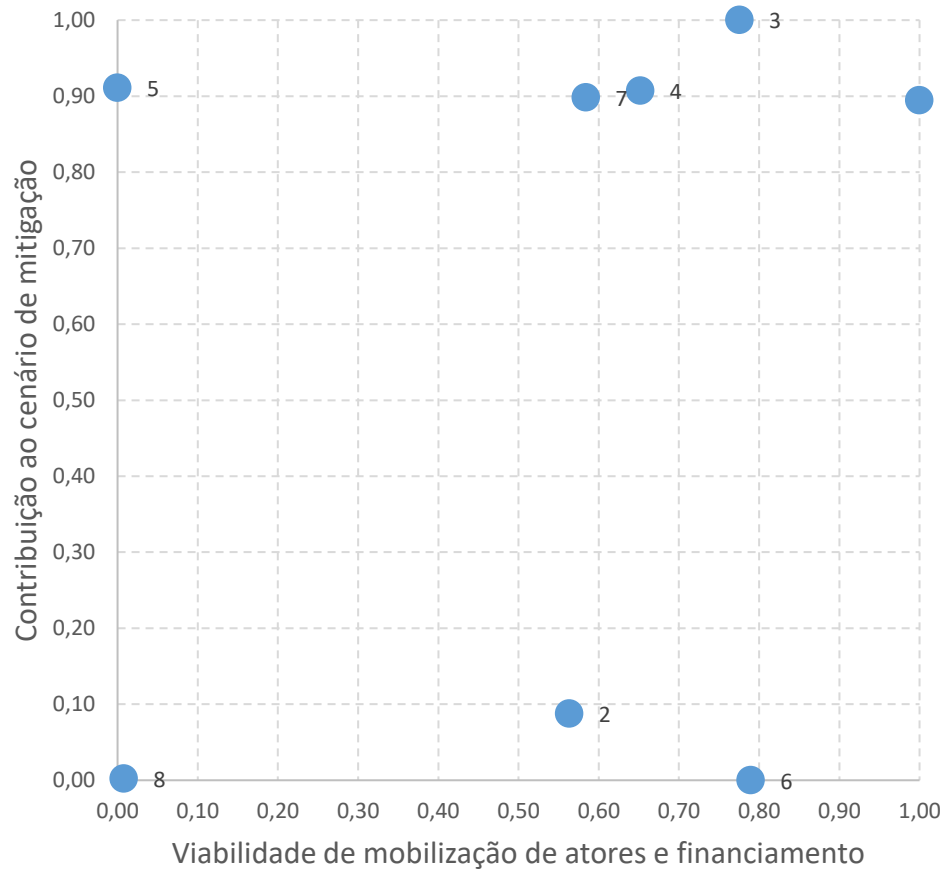
Ressalta-se que o método de ordenação das recomendações com base nos critérios elencados não esgota todos os aspectos relevantes que poderiam ser considerados para fins de priorização. Existem dimensões de complexidade que não se expressam exclusivamente pela diversidade de atores ou pelo custo das tecnologias 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, a recomendação 3 foi priorizada em relação à 4 porque, na relação entre contribuição para a mitigação e viabilidade, ela apresenta menor complexidade institucional e maior potencial de redução das emissões, o que a torna mais estratégica no curto prazo, mesmo que ambas tenham impacto climático relevante.

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 referem-se às seguintes recomendações: (1) Regulação estadual complementar para tecnologias emergentes; (2) Fortalecer articulação intergovernamental e planejamento estratégico; (3) Criar mecanismos de financiamento e incentivos fiscais; (4) Investir em infraestrutura e logística para CO₂, biomassa e energia; (5) Fomentar P&D e produção nacional de tecnologias emergentes; (6) Atualizar planos estaduais e integrar políticas setoriais; (7) Implementar campanhas informativas e superar barreiras culturais; (8) Criar políticas estaduais específicas para tecnologias emergentes.

Regulação estadual complementar para tecnologias emergentes (1)

Contribuição entre as mais altas. Viabilidade também elevada, sustentada por baixa diversidade de atores (alta autonomia decisória), apesar de tecnologias associadas com atração econômica abaixo da média. Adequada para decisões executivas rápidas, com impacto setorial amplo e menor necessidade de coordenação.

Criar mecanismos de financiamento e incentivos fiscais (3)

Maior contribuição relativa ao abarcar quase todo o potencial de mitigação atrelado ao conjunto de tecnologias avaliadas. Viabilidade acima da média: a diversidade de atores é intermediária, favorecendo desenho e execução, embora a atração econômica das tecnologias associadas seja próxima à média.

Investir em infraestrutura e logística para CO₂, biomassa e energia (4)

Contribuição muito alta, próxima ao topo do conjunto. Viabilidade alta, ainda que com diversidade de atores acima da média, compensada por atratividade econômica relativamente superior às demais recomendações de grande impacto.

Implementar campanhas informativas e superar barreiras culturais (7)

Contribuição alta, mas menor viabilidade de todo o setor. Requer mobilização social ampla e está associada a tecnologias com atratividade econômica entre as mais baixas.

Fomentar P&D e produção nacional de tecnologias emergentes (5)

Contribuição alta, porém, viabilidade baixa no grupo: diversidade de atores entre as mais elevadas e atratividade econômica inferior às demais recomendações, envolvendo empresas do setor privado, concessionárias e instituições de pesquisa.

Atualizar planos estaduais e integrar políticas setoriais (6)

Baixa contribuição direta ao cenário, mas viabilidade entre as mais altas: diversidade moderada e boa atratividade econômica no conjunto tecnológico associado.

Fortalecer articulação intergovernamental e planejamento estratégico (2)

Contribuição baixa. Viabilidade intermediária: diversidade de atores acima da média eleva a coordenação necessária, somada a atratividade econômica abaixo da média nas tecnologias associadas.

Criar políticas estaduais específicas para tecnologias emergentes (8)

Contribuição muito baixa. Viabilidade também baixa: diversidade média combinada a atratividade econômica entre as mais baixas do conjunto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada de barreiras e políticas públicas voltadas à promoção de tecnologias priorizadas no Cenário Rota no setor de Energia 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.

No eixo político-regulatório, destaca-se a necessidade de regulação estadual complementar para tecnologias emergentes e da criação de políticas estaduais específicas para esse tipo de tecnologia. Essas medidas promovem o fortalecimento da segurança jurídica e são fundamentais para reduzir incertezas e atrair investimentos em tecnologias como UHR, BESS, cogeração em usinas de biodiesel e captura de carbono no refino.

Além disso, a atualização de planos e sua integração com políticas setoriais garantem que as metas climáticas estejam alinhadas com a realidade indústria e a criação de políticas específicas para tecnologias emergentes é vital para sinalizar ao mercado o compromisso com a inovação e o cumprimento das metas climáticas.

A articulação intergovernamental é outro eixo crítico. A limitação das competências estaduais sobre ativos regulados federalmente, como a Regap, exige a criação de fóruns de diálogo entre os diferentes níveis de governo. Essa coordenação é essencial para garantir coerência entre planos e metas climáticas, especialmente diante da necessidade de alinhar os cenários produtivos locais com os instrumentos de planejamento estadual.

No contexto econômico, destaca-se a importância de se criar mecanismos de financiamento e incentivo fiscal voltados para tecnologias de alto custo inicial, como UHR, BESS, BECCS e cogeração. Porém, é fundamental que os incentivos econômicos sejam acompanhados por investimentos em pesquisa e desenvolvimento, visando a maturidade e sustentabilidade dessas tecnologias no cenário nacional, e a consequente redução da dependência de soluções e equipamentos estrangeiros.

Em relação à infraestrutura e a logística, é necessário planejamento estratégico. A viabilidade de tecnologias como captura e armazenamento de carbono e cogeração depende da estruturação de cadeias de suprimento de biomassa e da expansão da rede de gasodutos e hubs de armazenamento de CO₂. Além disso, a integração entre fontes renováveis e sistemas de armazenamento, como UHRs e BESS, é essencial para garantir a estabilidade da matriz energética.

Já a adoção de campanhas informativas voltadas à sociedade civil, comunidades locais e tomadores de decisão é fundamental para o enfrentamento de barreiras culturais e a

ampliação da aceitação pública de tecnológicas emergentes ou que possuam percepções negativas, como é o caso da captura de carbono e das UHRs. A construção de uma narrativa positiva sobre a transição energética e a economia verde é fundamental para mobilizar apoio político e social.

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 regulação estadual complementar para tecnologias emergentes, à criação de mecanismos de financiamento e incentivos fiscais e ao investimento em infraestrutura e logística, por reunirem alto potencial de contribuição para a descarbonização e elevada viabilidade de execução.

Além disso, recomendações que envolvem maior diversidade de atores e tecnologias com menor atratividade em termos do potencial de emissão, como o fomento à pesquisa e desenvolvimento, o fortalecimento da articulação intergovernamental e o planejamento estratégico, embora essenciais para a sustentabilidade de longo prazo, demandam maior esforço de coordenação e mobilização institucional. Portanto, a priorização proposta não exclui essas ações, pois ainda devem ser tratadas como habilitadoras, por contribuírem 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 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

ABDIN, Z.; KHALILPOUR, K.; CATCHPOLE, K. Projecting the levelized cost of large scale hydrogen storage for stationary applications. **Energy Conversion and Management**, v. 270, p. 116241, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116241>. Acesso em: 15 out. 2025.

ANEEL. **Nota Técnica Conjunta nº 13/2025 SGM-SCE-STD-STE-STR-SFT/ANEEL**. [S. l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2025. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=55945&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp. Acesso em: 6 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.

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. **Captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS): experiências internacionais e o potencial brasileiro**. , 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. Acesso em: 24 set. 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.

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.

MINAS GERAIS. **Institui o Comitê Intragovernamental de Energia e Mudança do Clima**, 2024. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/48896/2024/?cons=1>

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						
Expansão da geração hidrelétrica por Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR)	Falta de políticas regulatórias específicas ^[GT]	-	Falta de incentivos e custos de manutenção elevados ^[GT]	-	Regiões mais adequadas, tecnicamente, para UHRs são desconhecidas ^[GT]	Dificuldade de convencimento institucional, comparativamente às outras fontes ^[GT]
Expansão da geração hidrelétrica	-	-	-	Potencial de expansão localizado em regiões com restrições sociais e ambientais ^[P2.1]	-	-
Medidas de eficiência energética	PD-MG é anterior ao anúncio e não prevê expansão da produção na REGAP ^[P2.1]	-	-	-	-	Dificuldade em engajar efetivamente o setor de óleo e gás na agenda climática ^[GT]
Substituição de combustíveis fósseis	-	-	-	Inadequação dos equipamentos para combustíveis de baixo carbono ^[P2.1]	-	-

^[GT] Fonte: Consulta aos Grupos de Trabalho

^[P2.1] Fonte: P2.1 - Diagnóstico setorial Energia

Captura e armazenamento de carbono nas unidades de FCC e UGH	-	-	-	Transporte e armazenamento é complexo e necessita de infraestrutura ^[P2.1]	-	-
Sistemas de cogeração em usinas de biodiesel	Ausência de políticas estaduais específicas ^[P2.1]	-	Requer investimentos e adaptação de equipamentos é custosa ^[P2.1]	Coleta e fornecimento contínuo de resíduos agroflorestais podem ser desafiadores ^[P2.1]	-	-
Implementação de BECCS na produção de biocombustíveis	Ausência políticas estaduais específicas ^[P2.1] ^[GT]	-	Altos custos e longa duração do licenciamento ambiental de gasodutos ^[GT]	Aplicação e mercado em desenvolvimento ^[P2.1] Faltam gasodutos e baixa maturidade ^[GT]	Poucas informações sobre os biocombustíveis para o público geral ^[GT]	Baixa aceitação e percepção ruim sobre gás e gasodutos, de modo geral ^[GT]
Tecnologias não incluídas na MACC						
Uso de hidrogênio verde para geração de eletricidade	Necessidade de maior apoio governamental que favoreça sua competitividade ^[P2.1]	-	Baixa competitividade em relação a outros tipos de produção ^[P2.1]	Ainda se encontra em desenvolvimento e requer infraestrutura adequada ^[P2.1]	-	-
Uso de usinas eólicas para fornecimento de energia para sistemas de armazenamento	Desatualização do Energia de Minas ^[P2.1]	-	Dificuldade de instalação das turbinas em regiões montanhosas ^[P2.1]	Infraestrutura insuficiente ¹ e necessidade de torres mais elevadas ^[P2.1]	-	-

^[P2.1] Fonte: P2.1 - Diagnóstico setorial Energia

^[GT] Fonte: Consulta aos Grupos de Trabalho

¹ FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). Estudos dos aspectos do desenvolvimento sustentável para geração de eletricidade por meio de fonte eólica no estado de Minas Gerais. Nota Técnica N° 1/2015. Belo Horizonte: FEAM, 2015. Disponível em:

https://feam.br/documents/d/feam/nt_1-2015_-

[_estudos_dos_aspectos_do_desenvolvimento_sustentavel_para_geracao_de_eletricidade_por_meio_de_fonte_eolica_no_estado_de_minas_gerais](https://feam.br/documents/d/feam/nt_1-2015_-estudos_dos_aspectos_do_desenvolvimento_sustentavel_para_geracao_de_eletricidade_por_meio_de_fonte_eolica_no_estado_de_minas_gerais)

Redução do FUT da Regap	-	Avanços dependem muito mais de políticas federais e da Petrobras ^[GT]	-	-	Acesso limitado às informações específicas da refinaria ^[GT]	-
Transição gradual da Regap para uma biorrefinaria	-	Avanços dependem muito mais de políticas federais e da Petrobras ^[GT]	-	-	-	-
Geração de hidrogênio verde na Regap	-	Avanços dependem muito mais de políticas federais e da Petrobras ^[GT]	-	-	-	-
Elevação da síntese do etanol	Ausência de políticas e incentivos, PD-MG aponta atendimento da demanda no estado ^[P2.1]	Não há usinas implementando etanol de 2ª geração, sugerindo falta de capacidade técnica ^[P2.1]	-	-	Potenciais usuários não dispõem de informação suficiente para avaliar a viabilidade ²	-

^[GT] Fonte: P2.1 - Diagnóstico setorial Energia

^[P2.1] Fonte: Consulta aos Grupos de Trabalho

² MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Relatório final do Grupo de Trabalho – Especificação do Combustível do Futuro. Brasília: MME, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-combustivel-do-futuro/relatorio_final_gt___especificacao-combustivel-do-futuro.pdf

ANEXO B – Classificação de atores

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		
Ministério dos Transportes	2		
MMA	2		

Atores	Classificação	Atores	Classificação
MME	2		
Órgãos fiscalizadores e reguladores do setor	2		

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO C – Mapeamento e classificação de políticas

As políticas energéticas analisadas abordam a expansão de fontes renováveis (solar e eólica), eficiência energética e descarbonização da matriz elétrica. Instrumentos distributivos e estruturantes predominam, sendo aplicados nos níveis estadual e nacional. Muitas políticas contam com financiamento via programas orçamentários e possuem alinhamento com metas de longo prazo para a neutralidade climática. Tecnologias como energia solar fotovoltaica, eólica terrestre e infraestrutura de transmissão são frequentemente citadas.

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	Decreto Estadual nº 46.296/2013 (Programa Mineiro de Energia Renovável)	2013
Contextualização:		
<p>Institui o Programa Mineiro de Energia Renovável – Energias de Minas, com o objetivo de promover e incentivar a produção e o consumo de energia proveniente de fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa, biogás e pequenas centrais hidrelétricas. O decreto prevê incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado para empreendimentos relacionados à geração de energia renovável, abrangendo desde a produção de equipamentos até a infraestrutura de conexão e transmissão.</p>		

Caracterização do instrumento		
		
Âmbito	Tipo de Instrumento	Etapa
Estadual	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		





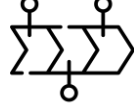
Expansão da geração de energias renováveis (transversalidade de fontes) (d)

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. Decreto nº 46.296, de 14 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Programa Mineiro de Energia Renovável – Energias de Minas – e medidas para incentivo à produção e uso de energia renovável. Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/46296/2013/>. Acesso em: 26 jun. 2025

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	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		



Gás natural em substituição do óleo combustível (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:

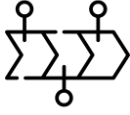
BRASIL. Decreto nº 12.153, de 26 de agosto de 2024. Altera o Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021, que regulamenta a Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021, sobre atividades relativas ao transporte de gás natural. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 ago. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Decreto/D12153.htm. Acesso em: 26 jun. 2025

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais	2021

Contextualização:

O objetivo é dar suporte ao processo de tomada de decisão em relação a transição para sistemas energéticos sustentáveis e eficientes no âmbito do estado. Para tanto, foi realizada uma modelagem do sistema energético mineiro no médio e longo prazo, a fim de subsidiar a elaboração de uma Política de Transição Energética, com vistas à expansão das energias renováveis e à promoção da eficiência energética à nível estadual e municipal, bem como o enfrentamento às mudanças climáticas.

Caracterização do instrumento



Âmbito	Tipo de Instrumento	Etapa
Estadual	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



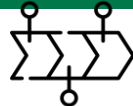



Expansão da geração de energias renováveis (transversalidade de fontes) (d)

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. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). *Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais*. Belo Horizonte: FEAM, 2021.

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	Lei Estadual nº 13.199/1999 (Política Estadual de Recursos Hídricos)	1999
<p>Contextualização: Estabelece os princípios básicos e diretrizes para o planejamento e controle do uso da água em Minas Gerais. A outorga e a utilização de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica ficam condicionadas a sua adequação ao Plano Nacional de Recursos Hídricos.</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

Expansão da geração hidrelétrica (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.

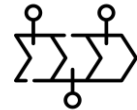
Fonte:

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/13199/1999/?cons=1>. Acesso em: 26 jun. 2025

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	Lei Estadual nº 24.625/2023 (Política Estadual de Energia Rural Renovável)	2023

Contextualização:

O objetivo dessa política é ampliar a geração e distribuição de energia elétrica no meio rural a partir da utilização de fontes renováveis, em especial a energia solar e a biomassa, para estímulo à agropecuária, à agricultura familiar e à agroecologia.

Caracterização do instrumento

Âmbito	Tipo de Instrumento	Etapa
Estadual	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


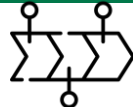
Expansão da geração de energias renováveis (transversalidade de fontes) (d)

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 24.625, de 27 de dezembro de 2023. Dispõe sobre a política estadual de energia rural renovável e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/24625/2023/>. Acesso em: 26 jun. 2025

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	Lei nº 10.438/2002 (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia - PROINFRA)	2002
<p>Contextualização:</p> <p>O programa incentiva a geração de energia a partir de fontes como a eólica, a biomassa e a solar, oferecendo contratos de compra de energia a longo prazo e condições favoráveis para o desenvolvimento de projetos. O PROINFRA tem como objetivo promover a diversificação da matriz energética, reduzir a dependência de fontes não renováveis e contribuir para a sustentabilidade ambiental.</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



Expansão da geração de energias renováveis (transversalidade de fontes) (d)

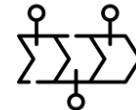
Nota: As tecnologias identificadas com (d) referem-se àquelas diretamente associadas à política pública em questão, enquanto (i) indica tecnologias cuja associação com a política ocorre de forma indireta.

Fonte:

BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfra), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 29 abr. 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10438.htm. Acesso em: 26 jun. 2025

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	Lei nº 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos)	1997
Contextualização: Esta política visa a gestão sustentável dos recursos hídricos, promovendo o uso eficiente e responsável da água para a geração de energia.		

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



Expansão da geração hidrelétrica (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 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 26 jun. 2025

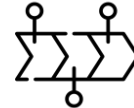
Setor	Política Pública	Ano de publicação
-------	------------------	-------------------

Energia	Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-MG)	2010
---------	---	------

Contextualização:

O PERH-MG aborda a gestão sustentável dos recursos hídricos, incluindo a operação de hidrelétricas. O plano enfatiza a necessidade de mitigar os impactos ambientais das hidrelétricas, promover a sustentabilidade na geração de energia, e integrar a gestão de recursos hídricos com a operação dessas usinas. Além disso, inclui diretrizes para o planejamento e controle do uso da água, programas de monitoramento da qualidade da água, e a participação dos Comitês de Bacias Hidrográficas no planejamento de projetos hidrelétricos, garantindo a conservação dos recursos hídricos nas áreas afetadas.

Caracterização do instrumento



Âmbito	Tipo de Instrumento	Etapa
--------	---------------------	-------

Estadual	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



Expansão da geração hidrelétrica (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.

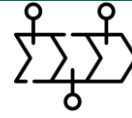
Fonte: MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH-MG. IGAM – Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2010. Disponível em: <https://igam.mg.gov.br/plano-estadual-de-recursos-h%C3%ADricos>. Acesso em: 26 jun. 2025

Setor	Política Pública	Ano de publicação
-------	------------------	-------------------

Energia	Plano Estadual de Saneamento Básico (PESB-MG)	2021
---------	---	------

Contextualização: 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.

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



Produção de biometano através de resíduos do estado (principalmente sucroenergéticos) (i);
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. 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.

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	Plano Nacional de Energia (PNE) 2050	2024

Contextualização:

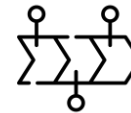
O PNE 2050 propõe estratégias para garantir segurança energética e sustentabilidade no Brasil até 2050. Enfatiza a transição para fontes renováveis, descarbonização e inovação tecnológica. Aborda cenários de crescimento energético, propondo modernização da infraestrutura e políticas de governança para atrair investimentos e integrar redes digitais. O plano visa transformar o Brasil em um exportador de energia limpa.

Caracterização do instrumento**Âmbito**

Nacional

**Tipo de Instrumento**

Estruturantes

**Etapa**

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

Expansão da geração de energias renováveis (transversalidade de fontes) (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.

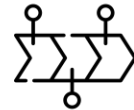
Fonte:

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2034. Brasília: MME/EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2034>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	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

Gás natural em substituição do óleo combustível (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 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
Energia	Resolução SEDE nº 34/2023 (Condições e critérios para comercialização e distribuição de biometano no Estado)	2023
Contextualização: Estabelece as condições e critérios para a comercialização e distribuição de biometano por redes estruturantes e redes de gás canalizado no estado de Minas Gerais.		

Caracterização do instrumento



Âmbito

Estadual



Tipo de Instrumento

Regulatórias



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



Captura de carbono na produção de biometano (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 Estado de Desenvolvimento Econômico. Resolução SEDE nº 34, de 5 de setembro de 2023. Dispõe sobre as condições e critérios para comercialização e distribuição de biometano por redes estruturantes e redes de gás canalizado no Estado. Diário Oficial de Minas Gerais, 6 set. 2023. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=449408>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	Lei Estadual nº 24.396/2023 (Política Estadual do Biogás e do Biometano)	2023

Contextualização:

A lei estabelece a política estadual do biogás e do biometano, incluindo a produção de biogás a partir de resíduos agrícolas. A lei define a cadeia produtiva do biogás e do biometano, que envolve atividades ligadas à produção, industrialização, distribuição e comercialização de produtos derivados da biodigestão de resíduos sólidos e efluentes. Entre os objetivos da lei estão incrementar a participação do biogás na matriz energética estadual, promover a gestão eficiente dos resíduos sólidos, enfrentar as mudanças climáticas e fomentar o desenvolvimento tecnológico voltado à produção de biogás.

Caracterização do instrumento



Âmbito	Tipo de Instrumento	Etapa
Estadual	Distributivas	Implementação

Caracterização econômico-financeira

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

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



Biometano em substituição do gás natural (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.

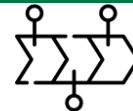
Fonte: MINAS GERAIS. Lei nº 24.396, de 13 de julho de 2023. Dispõe sobre a Política Estadual do Biogás e do Biometano. Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/24396/2023/>. Acesso em: 26 jun. 2025

Setor	Política Pública	Ano de publicação
Energia	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.

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



Produção de biometano através de resíduos do Estado (principalmente sucroenergéticos) (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
Energia	Lei nº 14.993/2024 (Lei do Combustível do Futuro)	2024

Contextualização: 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.


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



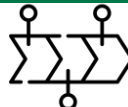
Tecnologias associadas e respectivo grau de associação à política pública em questão


 Implementação de CCUS na produção de biocombustíveis - BECCS (d); Captura de carbono nas unidades de FCC e UGH (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 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
Energia	PDMG	2022
<p>Contextualização:</p> <p>O PDMG traz para o setor medidas como o aumento da eficiência energética, expansão do uso de fontes renováveis (biocombustíveis, solar e eólica) e geração distribuída, substituição do óleo combustível por gás natural nas refinarias, instalação de captura de carbono na produção de hidrogênio, produção de biodiesel e etanol, uso de resíduos agroflorestais para a produção de biodiesel, captura de carbono em nas usinas de etanol, entre outros.</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		



); 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
-------	------------------	-------------------

Energia	PLAC-MG	2023
---------	---------	------

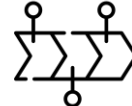
Contextualização:

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.

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.

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.

Caracterização do instrumento



Âmbito	Tipo de Instrumento	Etapa
--------	---------------------	-------

Estadual	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



Captura de carbono nas unidades de FCC e UGH (d); Captura de carbono nas usinas de cogeração a bagaço de cana (d); Captura de carbono na produção de biometano (d); Sistemas de cogeração em usinas de biodiesel (d); Biometano em substituição do gás natural (d); Medidas de eficiência energética (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. Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais: sumário executivo. Belo Horizonte: SEMAD, 2023.

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