

Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais



Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais

© 2021 Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

É permitida a reprodução desde que seja citada a fonte.

Governo do Estado de Minas Gerais

Romeu Zema Neto - Governador

Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD

Marília Carvalho de Melo - Secretária

Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Renato Teixeira Brandão - Presidente

Gabinete

Renata Maria de Araújo - Chefe de Gabinete

Núcleo de Sustentabilidade, Energia e Mudanças Climáticas - NUSEMC

Larissa Assunção Oliveira Santos - Coordenadora

Morjana Moreira dos Anjos - Analista Ambiental

Sumário

SUMÁRIO EXECUTIVO	5
Contextualização	5
Mensagens-Chave e Principais Descobertas	7
INTRODUÇÃO	11
Transição Energética: contexto nacional e estadual	13
METODOLOGIA PARA MODELAGEM DOS CENÁRIOS	15
Desenvolvimento dos cenários e premissas adotadas	15
Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais	17
Avaliação do Programa Mineiro de Energias Renováveis	18
ANÁLISE DOS RESULTADOS	19
Modelagem do Sistema Energético de Minas Gerais no horizonte 2030-2050	19
Demanda de Energia	19
Transformação	24
Geração de Eletricidade	25
Recursos Energéticos	29
Emissões de Gases de Efeito Estufa	30
Análise de custo-benefício	32
Sistema Energético Mineiro 2030-2050	33
Avaliação do Programa Mineiro de Energias Renováveis - PMER no processo de expansão de energias renováveis no estado de Minas Gerais	35
PRODUTOS ESPERADOS	37
Política Estadual de Transição Energética de Minas Gerais - PETE	37
Metas de Transição Energética para o Horizonte 2030-2050	37
Diretrizes da PETE	38
Eixos da PETE	38
Linhas de Ação Política Estadual de Transição Energética de Minas Gerais - PETE	39
Principais Produtos Esperados	42
REFERÊNCIAS	45
ANEXO	55

Lista de Figuras

Figura 1: Estratégia para a promoção da transição energética.....	17
Figura 2: Matriz energética em 2030 - Cenário ETM	34
Figura 3: Matriz energética em 2050 - Cenário ETA.....	35

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Consumo final de energia por setores	20
Gráfico 2: Uso final de energia por combustíveis - REF	21
Gráfico 3: Uso final de energia por combustíveis - ETM	22
Gráfico 4: Uso final de energia por combustível - ETA	23
Gráfico 5: Demanda por eletricidade.....	24
Gráfico 6: Produção de energéticos - REF	25
Gráfico 7: Projeção de geração de eletricidade por cenários	26
Gráfico 8: Matriz elétrica em 2030 por cenários.....	28
Gráfico 9: Matriz elétrica em 2050 por cenários.....	29
Gráfico 10: Importação de recursos energéticos por cenários.....	30
Gráfico 11: Evolução das Emissões de GEE no horizonte 2030-2050 por cenários ...	31

Lista de Tabelas

Tabela 1: Capacidade Instalada (GW) por cenários	27
Tabela 2: Análise de custo-benefício dos cenários alternativos comparados ao cenário de REF	33
Tabela 3: Metas de transição energética para o horizonte 2030-2050	38
Tabela 4: Premissas Gerais - LEAP - caso de Minas Gerais	55
Tabela 5: Dados técnicos para o módulo geração de eletricidade do modelo LEAP para Minas Gerais.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 6: Principais Premissas dos cenários REF, ETM e ETA.....	Erro! Indicador não definido.

SUMÁRIO EXECUTIVO

Contextualização

Planejar um futuro sustentável não é uma tarefa fácil. A condução para uma tomada de decisão pode impactar profundamente os aspectos econômicos, sociais e ambientais de um país. Nesse sentido, energia possui um papel crucial para assegurar o crescimento e desenvolvimento da sociedade. Considerada um insumo vital para todos os setores da economia, além de ser imprescindível para manutenção da qualidade de vida da sociedade moderna, a capacidade de provimento de energia é um quesito de sobrevivência em um mundo globalizado.

Sabe-se que o desenvolvimento está conectado ao consumo de energia e essa interdependência, associada ao crescimento populacional e à expansão das atividades econômicas, faz com que, conseqüentemente, a demanda por energia aumente.

Em face aos riscos relacionados à segurança energética¹ e aos desafios impostos pela mudança do clima, pensar em novas alternativas energéticas, em vista da promoção de uma transição energética, é essencial. Nesse contexto, o Brasil apresentou a sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês, *nationally-determined contribution*) para consecução do Acordo de Paris, firmado na 21ª Conferência das Partes (COP-21), em Paris, em dezembro de 2015, que visa limitar o aumento da temperatura global ao máximo de 2°C em relação aos níveis da era pré-industrial por meio de substancial redução das emissões de GEE. A primeira NDC brasileira foi submetida em 2016 e, ao final de 2020, houve uma atualização da primeira versão. Com relação aos esforços para redução de gases de efeito estufa (GEE) no setor de energia, a primeira NDC brasileira prevê alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição

¹ Segurança energética reflete capacidade de prover energia à população a preços acessíveis (IEA, 2007).

da matriz energética em 2030, incluindo: “expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030” (BRASIL, 2015). A atualização da primeira versão ainda reafirma a meta *economy-wide* de reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030, em comparação com 2005, assim como um indicativo de neutralidade para 2060. (UNFCCC, 2021). Apesar desse indicativo de neutralidade, durante a Cúpula do Clima, realizada em abril de 2021, o Presidente do Brasil antecipou a meta para 2050, porém a antecipação não foi inserida em uma nova versão da NDC. (FORBES ESG, 2021).

No contexto de Minas Gerais, o Estado desde 2015, com o lançamento do Plano de Energia e Mudanças Climáticas, é referência entre os governos subnacionais brasileiros no enfrentamento às mudanças climáticas. Além dos compromissos estabelecidos pelo Governo Federal, o Estado também estabeleceu os seus próprios compromissos ao se tornar a primeira região do sul global a aderir à campanha internacional *Race to Zero*², que tem como compromisso alcançar neutralidade de carbono até 2050, e se tornar membro da ACA Brasil³ e dos Governadores pelo Clima.⁴

Para que as metas da NDC brasileira sejam implementadas de forma efetiva e no prazo acordado é necessário reunir esforços e dividir responsabilidades entre as Unidades Federativas, setor privado e sociedade civil, de modo a promover uma descentralização das metas. Nesse sentido, a Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais tem como foco alcançar as metas do setor de energia da primeira NDC brasileira⁵, em relação à contribuição do Estado de Minas Gerais. Seu objetivo é fornecer suporte ao processo de tomada de decisão em relação a transição para

² Race To Zero é uma campanha global para reunir liderança e apoio de empresas, cidades, regiões, investidores para uma recuperação saudável, resiliente e zero de carbono que evite ameaças futuras, crie empregos decentes e desbloqueie um crescimento inclusivo e sustentável.

³ As alianças para Ação Climática – ACAs são coalizões nacionais dedicadas a empreender medidas sistematizadas e aumentar o apoio público no enfrentamento à crise climática mundial, de modo a contribuir para que os países cumpram com os compromissos pactuados no Acordo de Paris.

⁴ Conselho de governança subnacional que discute sobre o papel que os estados podem desempenhar no NDC brasileiro, tanto na mitigação quanto na adaptação.

⁵ A primeira NDC do Brasil foi escolhida como base da Estratégia Estadual de Transição Energética por apresentar metas específicas para o setor de energia, e também por ser mais ambiciosa do que a NDC atual.

sistemas energéticos sustentáveis e eficientes no âmbito mineiro. Para tanto, foi realizada uma modelagem do sistema energético mineiro em médio e longo prazo, a fim de subsidiar a elaboração de uma Política Mineira de Transição Energética, com vistas à expansão das energias renováveis e à promoção da eficiência energética à nível estadual, bem como o enfrentamento às mudanças climáticas. Também foi feita uma análise de efetividade da principal política de promoção de energias renováveis do estado, o Programa Mineiro de Energias Renováveis - PMER, com intuito de mensurar o alcance dos objetivos propostos pelo programa.

A modelagem considerou premissas-chave baseadas em dados históricos de origem demográfica e econômica, que subsidiaram a elaboração de três cenários: um de Referência (REF), que considera o que irá acontecer se nenhuma política energética de intervenção adicional for criada; e outros dois cenários alternativos que incorporam o cenário REF e contemplam políticas adicionais - o de Transição Energética Moderada (ETM), que tem o objetivo de contribuir com as metas do setor de energia da primeira NDC brasileira, e o de Transição Energética Avançada (ETA), que vai além dos objetivos da primeira NDC brasileira, sendo ainda mais ambicioso em termos de expansão de energias renováveis e inserção de veículos elétricos no setor de transporte.

Mensagens-Chave e Principais Descobertas

Observa-se que vários entes subnacionais ao redor do mundo já tomam medidas descentralizadas para regular o setor de energia, de forma a promover uma transição energética, visando uma economia sustentável e de baixo carbono em seus territórios (STATE & REGIONS, 2005).

Como dito anteriormente, o Brasil possui, como principal resposta aos impactos relacionados às mudanças climáticas a NDC brasileira, entretanto, ainda não houve o compartilhamento de responsabilidades desse compromisso teve definido entre os estados, municípios e sociedade. Adicionalmente, em relação ao setor de energia, os Estados possuem pouca autonomia para regulamentar suas atividades

energéticas em seus territórios. Dessa forma, é razoável discutir a implementação de uma política energética em nível estadual, a fim de verificar a importância e a necessidade da descentralização das competências do setor de energia, em face à transição energética, como uma das ações para o cumprimento de acordos climáticos internacionais, bem como uma forma de garantir uma oferta segura, diversa e sustentável de energia à sociedade mineira.

O Programa Mineiro de Energia Renovável - PMER, lançado em 2013, é o principal esforço do governo de Minas Gerais para o fomento da geração de energia elétrica por fontes renováveis. No entanto, o programa é limitado em seu escopo e não atende ao setor de energia renovável como um todo, uma vez que não contempla todos os biocombustíveis e a geração de energia térmica.

A maior contribuição do PMER ocorreu no eixo dos incentivos fiscais, com a consolidação das isenções fiscais para a geração de eletricidade por fontes renováveis, exceto grandes hidrelétricas. Os resultados analisados demonstram que a geração de energia elétrica por fonte renovável tem crescido em Minas Gerais, no entanto, não é possível fazer uma associação dessa trajetória com o PMER. Os dados mostram que houve diminuição da entrada de pequenas usinas hidrelétricas e térmicas a biomassa nos últimos anos, parcialmente compensada pela instalação de empreendimentos solares fotovoltaicos.

Criar uma Política Estadual de Transição Energética - PETE, que vise atingir metas e objetivos em médio e longo prazo, é de suma importância para resolver um dos principais problemas relacionados à implementação das políticas públicas: a falta de continuidade.

A proposta da PETE apresentada nesse documento estratégico possui metas e objetivos ambiciosos, já que a ambição é um dos fatores-chave para a criação de uma política de transição energética, que vise difundir sistemas de energias sustentáveis. Dessa forma, a instituição de uma política energética estadual é necessária para atuar efetivamente contra as políticas governamentais que não

considerem o médio e longo prazo. Nesse sentido, a proposta da PETE é uma oportunidade para a consolidação de uma política de Estado, garantindo assim o princípio da continuidade, e ao mesmo tempo, a garantia de um suprimento eficiente e sustentável energia a todos.

O desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, por meio da transição energética estadual, dependerá amplamente das políticas energéticas iniciadas e das implementadas no futuro. O modelo desenvolvido para o sistema energético de Minas Gerais, nessa Estratégia de Transição Energética, considerou diversos fatores capazes de influenciar as políticas energéticas no horizonte de 2030-2050.

Os três cenários desenvolvidos (REF, ETM e ETA) trazem perspectivas futuras sobre o que poderá acontecer se nenhuma política adicional for implementada (cenário REF), e se forem adotadas políticas e estratégias visando um caminho de baixo carbono no futuro projetado (cenários ETM e ETA).

No cenário REF é esperado que a demanda de energia aumente 55% em 2030, e que esse montante quase triplique em 2050. A matriz elétrica será composta majoritariamente por combustíveis fósseis, 75%, até o fim do período analisado. Além disso, o cenário REF é altamente dependente de importação de recursos energéticos, e as emissões de GEE nesse cenário crescem consideravelmente, aumentando mais que o dobro em relação ao ano base.

Os cenários ETM e ETA se mostraram opções viáveis, pois promovem a mudança de perspectivas futuras, com relação à intensidade de carbono e aos custos elevados, por meio da implantação de políticas de médio e longo prazo visando sistemas energéticos mais sustentáveis.

A proposta de uma PETE tem por objetivo promover a adoção integrada e aprimorada da modelagem de cenários energéticos no médio e longo prazo, para desenvolver e acelerar a transição energética no estado de Minas Gerais.

Nesse sentido, cenário ETA, que demonstra maior viabilidade diante os parâmetros avaliados nessa Estratégia, deverá ser integrado ao processo de tomada de decisão, uma vez que fornece metas e diretrizes do planejamento do sistema energético do estado de Minas Gerais para o horizonte 2030-2050.

O cenário ETA demonstrou que é razoável estabelecer uma política que vise alcançar uma matriz elétrica em 2050 com 60% de energias renováveis, excluindo grandes hidrelétricas; atingir ganhos de eficiência energética no sistema elétrico na ordem 15%; e conseqüentemente, reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 28%, comparado ao cenário de referência.

Os principais Produtos Esperados para subsidiar a Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais:

- Política Estadual de Transição Energética de Minas Gerais - PETE, instituída por Lei;
- Programa Estadual de Expansão de Energias Renováveis, regulamentado por Decreto;
- Programa Estadual de Tecnologias de Baixo Carbono e Eficiência Energética, regulamentado por Decreto;
- Estratégia de Governança da Transição Energética;
- Estratégia de financiamento para implementação da PETE.
- Relatório Anual de Monitoramento & Progresso da PETE.

INTRODUÇÃO

O mundo tem voltado sua atenção para os esforços relacionados ao enfrentamento às mudanças climáticas. O setor de energia desempenha um importante papel como o principal emissor de GEE em todo mundo, cerca de 34,6% das emissões totais mundiais (IPCC, 2014). No Brasil e em Minas Gerais, o setor contribuiu para o balanço total de emissões no ano de 2014 com o montante de 26% (IEMA, 2016) e 37% (FEAM, 2016), respectivamente. É inegável o papel da energia como impulsionador do desenvolvimento da economia e da vida moderna. Os efeitos das mudanças climáticas podem trazer consequências catastróficas aos sistemas econômicos, sociais e ambientais (SANCHEZ, 2009). Dessa forma, torna-se necessário encontrar um equilíbrio para assegurarmos o desenvolvimento econômico e social e o suprimento energético para tal, e ao mesmo tempo, atuar no enfrentamento às mudanças climáticas.

Ainda que existam benefícios inegáveis em relação ao uso de combustíveis fósseis para geração de energia, e conseqüentemente ao desenvolvimento econômico trazido por sua utilização, também existem diversas questões associadas a essas fontes e suas formas de produção, como por exemplo, que são fontes de energia fósseis que utilizam, portanto, recursos limitados. Além disso, estima-se que entre os anos de 1970 até 2010, a emissão de CO₂, por meio da queima de combustíveis fósseis e processos industriais, representou cerca de 78% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) totais em todo mundo (IPCC, 2014). Esse dado permite inferir que combustíveis fósseis são os principais responsáveis pelas emissões de GEE, e por isso contribuem substancialmente para intensificação do aquecimento global, e conseqüentemente, para aceleração dos efeitos das mudanças climáticas.

Diante dos riscos relacionados à segurança energética e dos desafios impostos pela mudança do clima, pensar em novas alternativas energéticas, em vista da promoção de uma transição energética, é essencial. Nesse contexto, o Brasil apresentou a sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês, *nationally-*

determined contribution) para consecução do Acordo de Paris, firmado na 21ª Conferência das Partes (COP-21), em Paris, em dezembro de 2015, que visa limitar o aumento da temperatura global ao máximo de 2°C em relação aos níveis da era pré-industrial por meio de substancial redução das emissões de GEE. A primeira NDC brasileira foi submetida em 2016 e, ao final de 2020, houve uma atualização da primeira versão. Com relação aos esforços para redução de gases de efeito estufa (GEE) no setor de energia, a primeira NDC brasileira prevê alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, incluindo: “expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030” (BRASIL, 2015). A atualização da primeira versão ainda reafirma a meta *economy-wide* de reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030, em comparação com 2005, assim como um indicativo de neutralidade para 2060. (UNFCCC, 2021). Apesar desse indicativo de neutralidade, durante a Cúpula do Clima, realizada em abril de 2021, o Presidente do Brasil antecipou a meta para 2050, porém a antecipação não foi inserida em uma nova versão da NDC. (FORBES ESG, 2021).

A primeira NDC do Brasil foi escolhida como base da Estratégia Estadual de Transição Energética por apresentar metas específicas para o setor de energia, e também por ser mais ambiciosa do que a NDC atual. Dessa forma, para que as metas da primeira NDC brasileira sejam implementadas de forma efetiva e no prazo acordado é necessário reunir esforços e dividir responsabilidades entre os Estados, setor privado e sociedade civil, de modo a promover uma descentralização das metas. Assim, essa estratégia baseia-se na modelagem de cenários do sistema energético de Minas Gerais para médio e longo prazo, a fim de subsidiar uma política de transição energética com vistas à expansão das energias renováveis e promoção da eficiência energética em nível, bem como o enfrentamento às mudanças climáticas. Também foi realizada uma análise de efetividade da principal política de promoção de energias renováveis do estado, o Programa Mineiro de Energias Renováveis - PMER, com intuito de mensurar o alcance dos objetivos propostos pelo programa.

Transição Energética: contexto nacional e estadual

O Brasil, quando comparado a outros países que possuem matrizes energéticas intensivas em combustíveis fósseis, possui um perfil energético bem diferente. Segundo o último balanço de energia do Brasil (EPE, 2020), que traz dados relativos à 2017, a matriz energética do País é composta por 57,1% de combustíveis fósseis, e os 42,9% restantes são oriundos de fontes renováveis, das quais as fontes hídricas, lenha e produtos da cana-de-açúcar representam 37% desse montante. Outras fontes renováveis, como eólica e solar, possuem participação praticamente inexpressiva, alcançando uma ordem de 1,2% do total da produção de energia primária nacional.

Um pouco diferente do cenário nacional, o balanço energético do estado de Minas Gerais (CEMIG, 2018), para o mesmo período, revela que do total da demanda energética estadual, 52,7% referiram-se às fontes de energia renováveis e o restante às fontes não renováveis. Os derivados da cana-de-açúcar representaram 36,1% da demanda por energias renováveis.

O cenário energético atual encontra-se distante do cenário futuro almejado pela primeira NDC brasileira, que prevê um suprimento energético total de 30% advindo de fontes de energia renovável até 2030, excetuando-se a hídrica, bem como expandir o uso das fontes eólica, solar e biomassa no fornecimento de energia elétrica para uma participação de 23% para o mesmo período (BRASIL, 2015).

A exemplo de outros países que já engajam políticas públicas para combater as mudanças climáticas e promover uma transição energética para uma matriz mais limpa, na Esfera Federal brasileira, nota-se a ausência de um plano efetivo para consecução das metas do Acordo de Paris. As ações para o fomento das fontes de energias renováveis concentram-se basicamente em programas, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA (ANEEL, 2015a), o Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011) e o RENOVA BIO (MME, 2017). O primeiro possui ações para o fomento das fontes de energias renováveis, que abrange as fontes eólica e solar; o segundo possui premissas e diretrizes para aumento da

eficiência energética na matriz energética brasileira; já o último, prevê incentivos para os biocombustíveis. No contexto estadual, Minas Gerais possui como estratégia o Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais - PEMC (FEAM, 2015) e o Programa Mineiro de Energia Renovável (ALMG, 2013), que abordam ações para o desenvolvimento de energias renováveis e eficiência energética. Ainda, o Decreto nº 47.231, de 4 de agosto de 2017 estabelece isenção do ICMS para mini e microgeração, a partir de fontes renováveis de energia.

No que se refere a regulamentação do setor energético no Brasil, principalmente o setor elétrico, as competências se concentram basicamente no âmbito federal, sendo o Ministério de Minas e Energia - MME, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, o Conselho Nacional de Política Energética e o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, os principais responsáveis pelo planejamento estratégico e formulação de políticas públicas do setor de energia. Estados e municípios não possuem autonomia para legislarem em termos de geração, distribuição, transmissão e comercialização de energia, sendo essa competência direta, mas não exclusiva, da ANEEL (ANEEL, 2015b).

METODOLOGIA PARA MODELAGEM DOS CENÁRIOS

O modelo foi desenvolvido por meio da ferramenta de modelagem LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System), que é amplamente utilizada nos níveis de organização internacional, nacional, subnacional e local para modelar sistemas energéticos e explorar suas implicações relativas às diferentes políticas energéticas para o futuro (Roiniot et al. (2012), Park et al. (2013), Emodi et al. (2017), Hu et al. (2019)). LEAP é uma ferramenta de modelagem sob o viés energético e ambiental, que foi desenvolvida pelo Instituto de Meio Ambiente de Estocolmo - *Stockholm Environment Institute* (SEI) - para avaliar os efeitos - físicos, ambientais e econômicos - de políticas alternativas de energia, inserção de tecnologias e outras iniciativas. O sistema possui uma base de dados tecnológica e ambiental, que oferece informações extensivas sobre características técnicas, custos e impactos ambientais de diversas tecnologias de energia, incluindo tecnologias existentes, melhores práticas atuais e próximos dispositivos de geração (SEI, 2011).

A modelagem permitiu avaliar os impactos da demanda e geração de energia do sistema energético de Minas Gerais, em um horizonte de médio e longo prazo. Os dados e premissas para subsidiarem os cenários foram obtidos por meio da literatura disponível.

Desenvolvimento dos cenários e premissas adotadas

Foram elaborados três cenários, que têm como objetivo principal orientar a tomada de decisão para elaboração de políticas energéticas, no âmbito do estado de Minas Gerais para o horizonte 2030-2050. O primeiro cenário, chamado de Referência (REF), foi baseado nos planos do governo do Brasil, com um recorte para o estado de Minas Gerais, em relação a expansão da capacidade de geração de energia elétrica, demanda e consumo final de energia, e serviços de energia. A maioria da formulação do cenário REF foi feita com base no Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 (PDE

2027) e no Plano Nacional de Energia para os anos de 2030 e 2050 (PNE 2030 e PNE 2050), assim como na análise de séries históricas correspondente ao sistema energético do estado, que estão disponíveis no banco de dados da ANEEL, e nos balanços energéticos do estado de Minas Gerais, disponibilizados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Esse cenário realiza projeções baseadas no que acontecerá se nenhum esforço adicional for realizado para criação de novas políticas energéticas, que visem sistemas energéticos mais sustentáveis.

A partir do cenário REF foram elaborados dois cenários alternativos, o primeiro tem o objetivo de contribuir com as metas do setor de energia da primeira NDC brasileira e é chamado de Transição Energética Moderada (ETM). O segundo cenário, denominado de Transição Energética Avançada (ETA), tem como objetivo ir além dos objetivos da primeira NDC, sendo ainda mais ambicioso que o ETM.

Os cenários alternativos consideram o aumento gradual de políticas estratégicas que busquem garantir a segurança energética, ao mesmo tempo que contribuem para a redução das emissões de GEE. Assim sendo, o cenário ETM possui políticas moderadas, que visam atender os acordos climáticos firmados em âmbito internacional pelo Brasil, relativos ao potencial de contribuição de Minas Gerais para o alcance das metas. O cenário ETA possui estratégias políticas mais ambiciosas para construir um sistema energético baseado majoritariamente em energias renováveis, assim como uma troca gradual dos combustíveis do setor de transporte para biocombustíveis e eletricidade.

O ano de 2010 foi selecionado como o ano-base dos cenários, principalmente pela disponibilidade de dados demográficos e econômicos. A escolha também se deu em consonância com o ano-base escolhido pelo Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC para elaboração dos cenários que subsidiaram a primeira NDC do Brasil.

Todas premissas usadas para modelar os cenários estão no Anexo I.

Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais

Os cenários têm como principal objetivo fundamentar a elaboração de uma Política Estadual de Transição Energética - PETE, que é o principal produto esperado e sugerido por essa Estratégia.

A modelagem de sistemas energéticos permite uma avaliação integrada que considere segurança de suprimento, acesso ao sistema a preço justo, dimensionamento dos impactos ambientais e estratégias de financiamento (IRENA, 2017b). Dessa forma a Política Estadual de Transição Energética - PETE, é baseada na modelagem de cenários em médio e longo prazo desenvolvidos para o sistema energético do Estado de Minas Gerais. A PETE também é fundamentada por meio das medidas sugeridas por ESTIF, 2007, em que são sugeridas estratégias efetivas que devem se basear em metas ambiciosas, apoiadas em mecanismo de pesquisa e desenvolvimento, financiamento, treinamento, exemplaridade de projetos, sensibilização e regulação, conforme ilustrado na Figura 1.

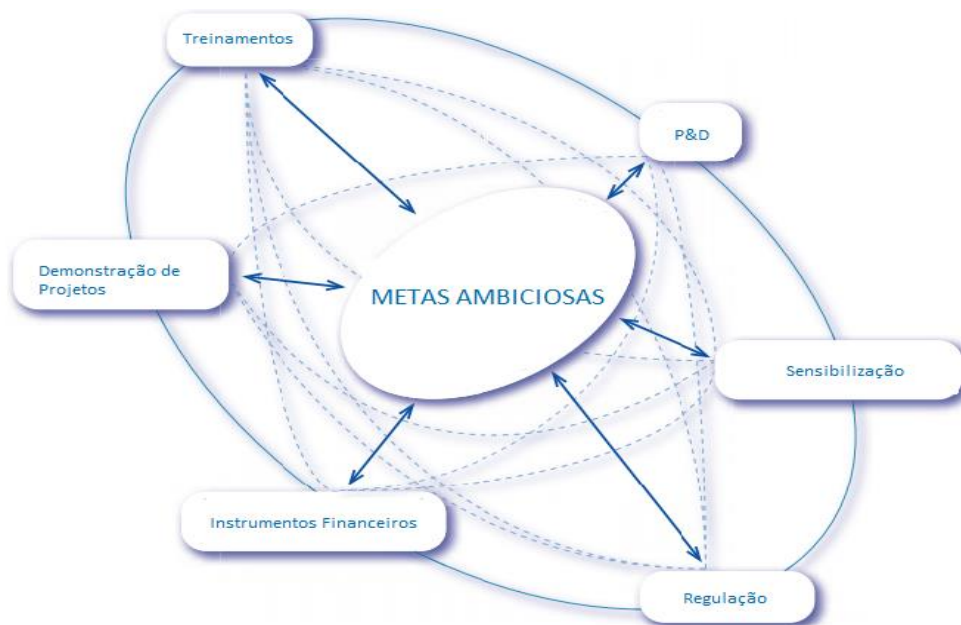


Figura 1: Estratégia para a promoção da transição energética

Fonte: Adaptada: ESTIF, 2007

Avaliação do Programa Mineiro de Energias Renováveis

Atualmente, o Programa Mineiro de Energias Renováveis - PMER é a principal política pública do Estado para promoção de fontes de energia renovável para geração de energia elétrica e produção de biogás ⁶. Para verificar sua efetividade em promover a transição energética no Estado, foi realizada uma análise dos instrumentos que compõe o Programa, correlacionando-os aos seguintes indicadores:

1. Número de projetos implementados pelo PMER;
2. Inovação;
3. Criação de Empregos; e
4. Mitigação de gases de efeito estufa.

Os indicadores foram mensurados por meio de pesquisas bibliográficas e de dados disponibilizados por instituições governamentais, com recorte para Minas Gerais. A avaliação foi desenvolvida justamente para verificar a necessidade de uma nova política para promoção de energias renováveis e eficiência energética no Estado.

⁶ “Decreto Estadual nº 46.296 de 14 de agosto de 2013”, <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=257589>.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados gerados fornecem uma visão geral do sistema energético atual de Minas Gerais, tanto em termos de demanda de energia, capacidade de suprimento, recursos disponíveis, dependência externa, quanto de potencial de oferta energética do Estado em médio e longo prazo. Como base nesses resultados, é possível traçar uma estratégia para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)⁷, atrelados com as metas da primeira NDC brasileira.

Modelagem do Sistema Energético de Minas Gerais no horizonte 2030-2050

A seguir, são apresentados os resultados obtidos da modelagem do sistema energético de Minas Gerais, realizada no *software* LEAP para o período 2030-2050.

Demanda de Energia

Baseado nas premissas gerais, que envolvem critérios econômicos e demográficos, a evolução do consumo final de energia por setores econômicos é mostrado no Gráfico 1, para o horizonte 2030-2050. Os valores refletem como o consumo evoluirá no cenário REF⁸.

⁷ Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade.

⁸ Uma vez que o objetivo dessa pesquisa é prover alternativas e diversidade de suprimento energético, os cenários ETM e ETA possuem o mesmo consumo final de energia, em termos de tonelada equivalente de petróleo (tep).

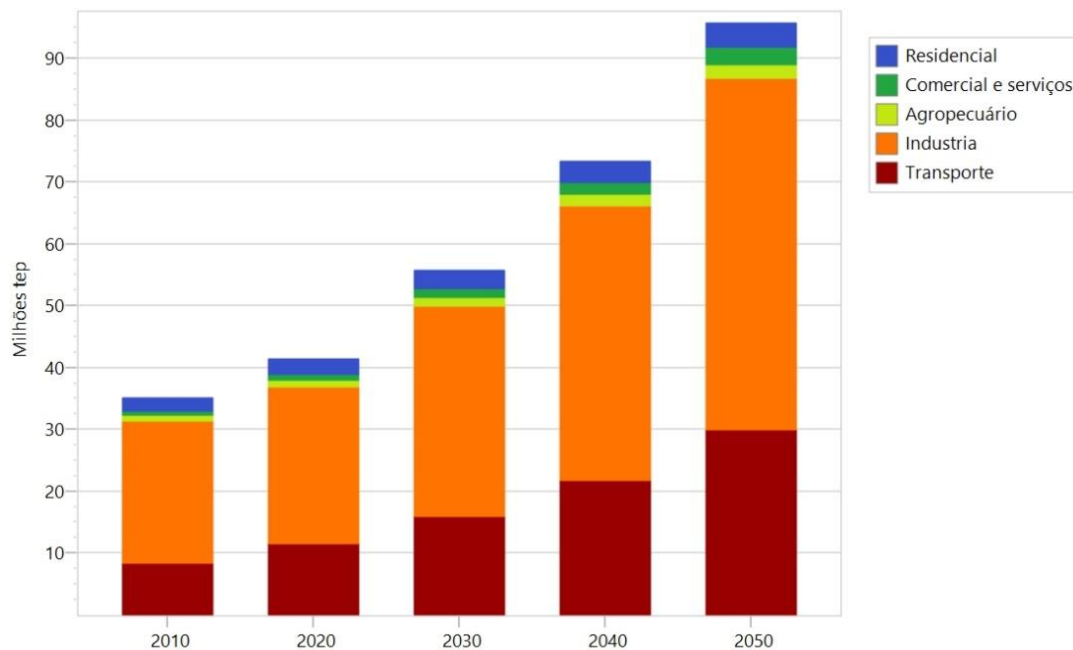


Gráfico 1: Consumo final de energia por setores

Fonte: Elaboração própria

Em geral, o consumo final de energia aumenta consideravelmente em um período de 40 anos, saindo de 35 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) em 2010 para 95,7 milhões de tep em 2050, quase triplicando em seu valor base. Os setores da Indústria, com 65,4% e o de Transporte, com 24% somaram mais de 89% do total da energia consumida em 2010. Para 2030 e 2050, espera-se que o setor de transporte tenha uma maior participação, 28,5% e 31,3%, respectivamente, devido ao aumento populacional e à perspectiva de crescimento econômico mais conservadora. Dessa forma, a indústria passaria a representar, 61,2%, em 2030, e 59,4% em 2050.

A elevada participação desses dois setores no consumo energético estadual é em razão das atividades dos setores serem energointensivas.

Uso final de energia por combustíveis

Como pode ser observado, o uso final de energia no cenário REF é apresentado no Gráfico 2, e aponta que os combustíveis de origem fóssil representam mais de 50% da demanda final de energia no ano de 2010. Para o período de 2030-2050 essa participação tem tendência de aumento de 54% em 2030 e 55% em 2050.

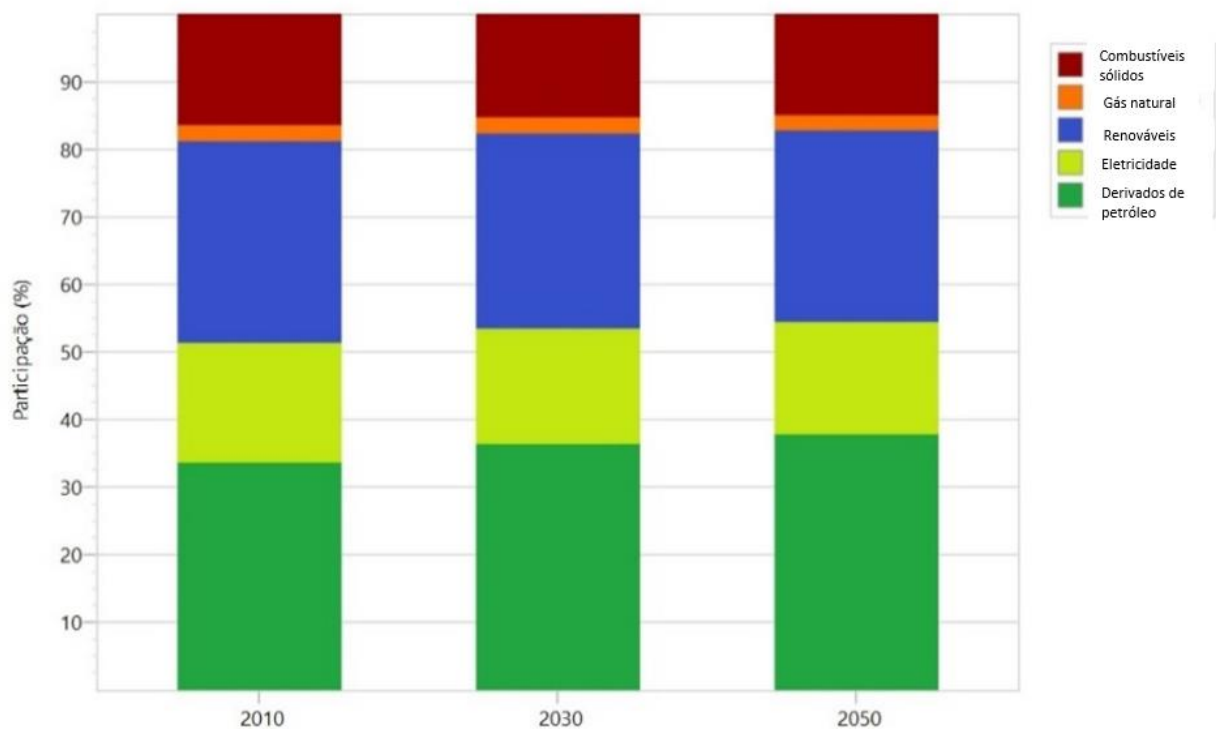


Gráfico 2: Uso final de energia por combustíveis - REF

Fonte: Elaboração própria

Nos cenários alternativos, políticas que visem uma transição gradual dos derivados de petróleo no setor de transportes para veículos elétricos e biocombustíveis são propostas. Sendo assim, o Gráfico 3, que apresenta o cenário ETM, possui uma leve diminuição da participação de combustíveis fósseis, com 50% de participação na matriz energética em 2030, e 47% em 2050.

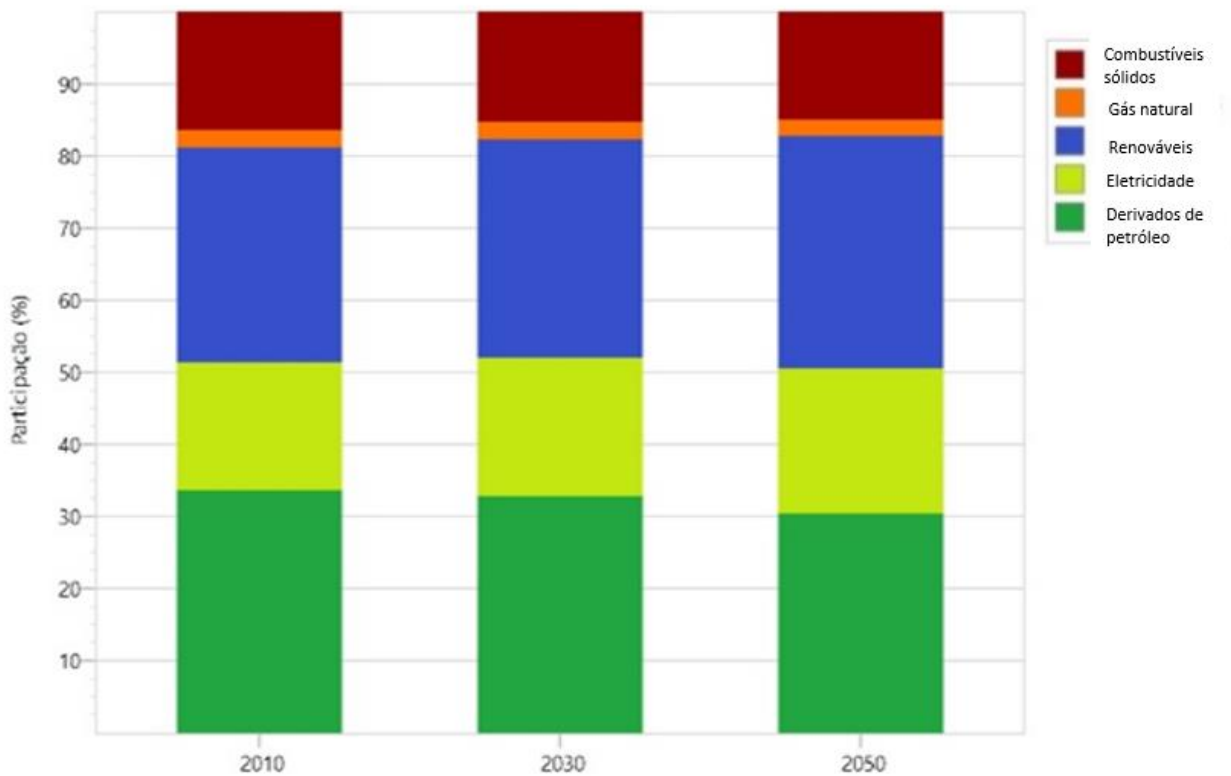


Gráfico 3: Uso final de energia por combustíveis - ETM

Fonte: Elaboração própria

Já o Gráfico 4, apresenta o cenário ETA que prevê uma política mais audaciosa, com uma grande inserção de veículos elétricos na matriz, diminuindo a demanda de combustíveis fósseis para 43% em 2030, e para 36% em 2050. Nesse cenário, em 2050, a eletricidade representará 32% da demanda final de energia, tendo um aumento de 100% quando comparado ao mesmo período do cenário REF.

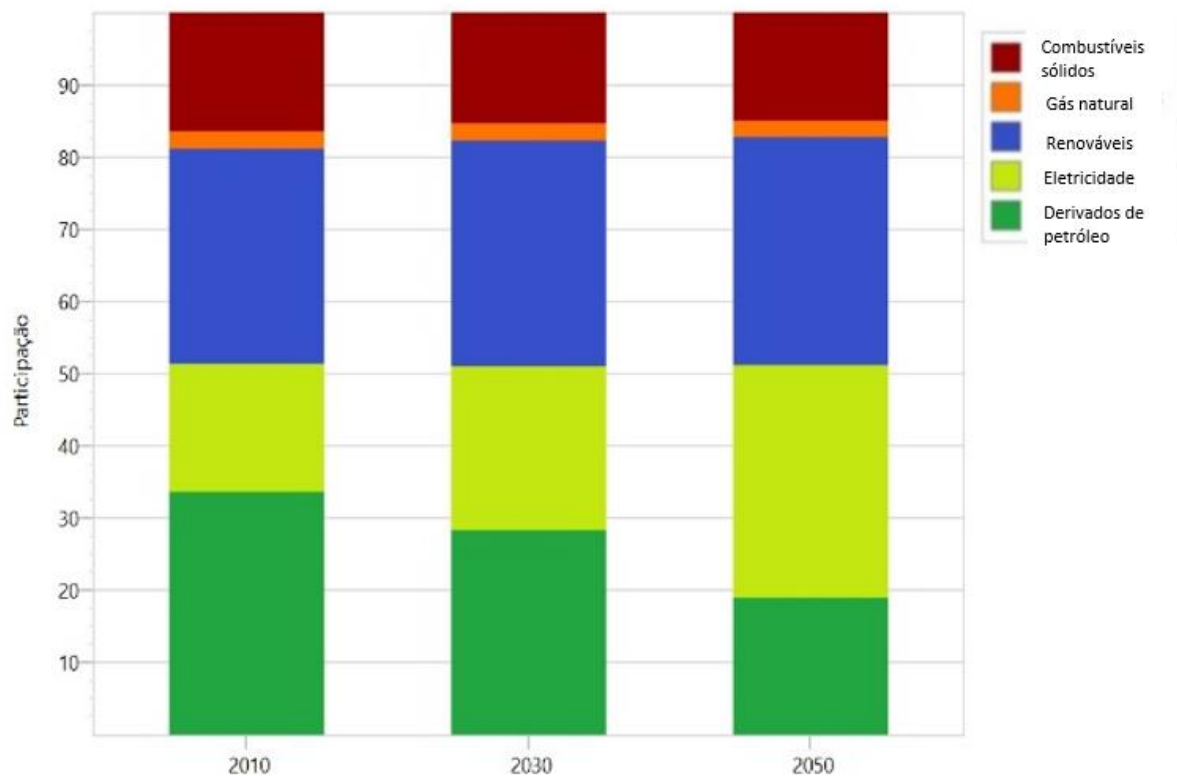


Gráfico 4: Uso final de energia por combustível - ETA

Fonte: Elaboração própria

A demanda de eletricidade para todos os cenários é mostrada no Gráfico 5: Demanda por eletricidade. Como já esperado, o cenário ETA é o que mais demanda por esse energético, com uma necessidade 148 mil GWh em 2030, e mais que o dobro em 2050, com 359 mil GWh. Essa grande diferença é principalmente em consequência da transição da utilização de combustíveis fósseis para eletricidade no setor de transporte, denotando, portanto, que uma inserção intensiva de veículos elétricos impactará consideravelmente na demanda por eletricidade.

Em relação aos cenários REF e ETM, quando comparado um ao outro, não há uma diferença tão significativa quanto o ETA, já que o ETM possui um aumento em torno de 20% da participação da eletricidade em sua demanda final de energia, em relação ao REF.

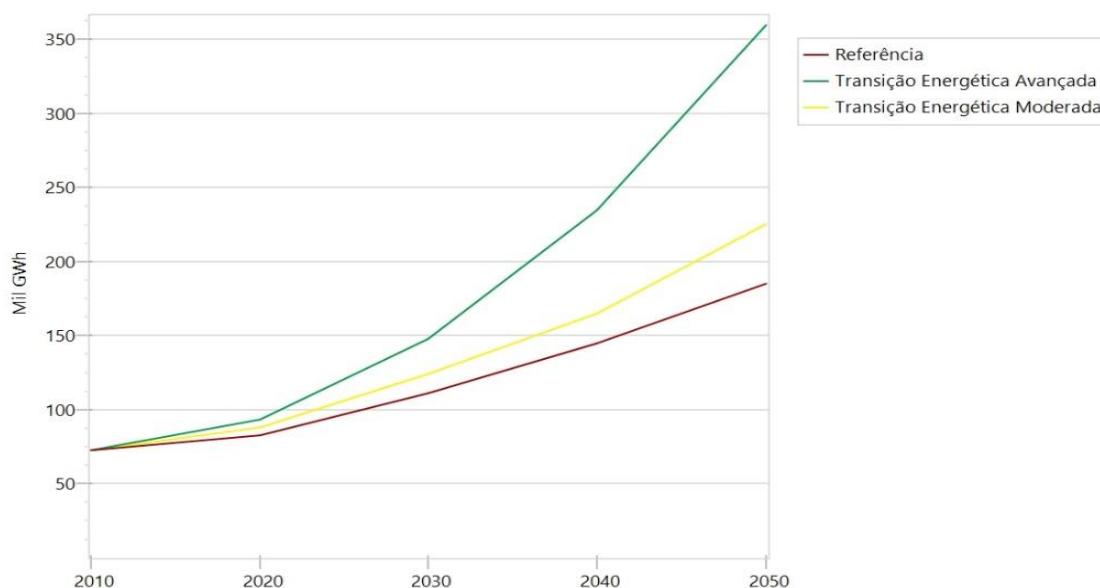


Gráfico 5: Demanda por eletricidade

Fonte: Elaboração própria

Transformação

Os módulos de transformação avaliam os recursos energéticos disponíveis, assim como sua conversão, e são programados para produzir eletricidade e recursos de origem renovável, conforme a demanda por esses. No entanto, quando se trata de recursos de origem fóssil, o sistema é completamente limitado às capacidades já existentes no ano-base, e permanece assim no período projetado, uma vez que não há planos de expansão de refinarias de petróleo, nem de coquearias no planejamento do Governo Federal, e não é um objetivo desse estudo a promoção desses energéticos. O Gráfico 6 indica que, no cenário REF, os módulos com maior capacidade de produção são os de geração de eletricidade e as carvoarias, com 23 e 12 milhões de tep, respectivamente, até 2050. Os cenários preveem o aumento nas perdas de transmissão e distribuição de 17% para 18,5% até 2030, conforme o PDE 2027.

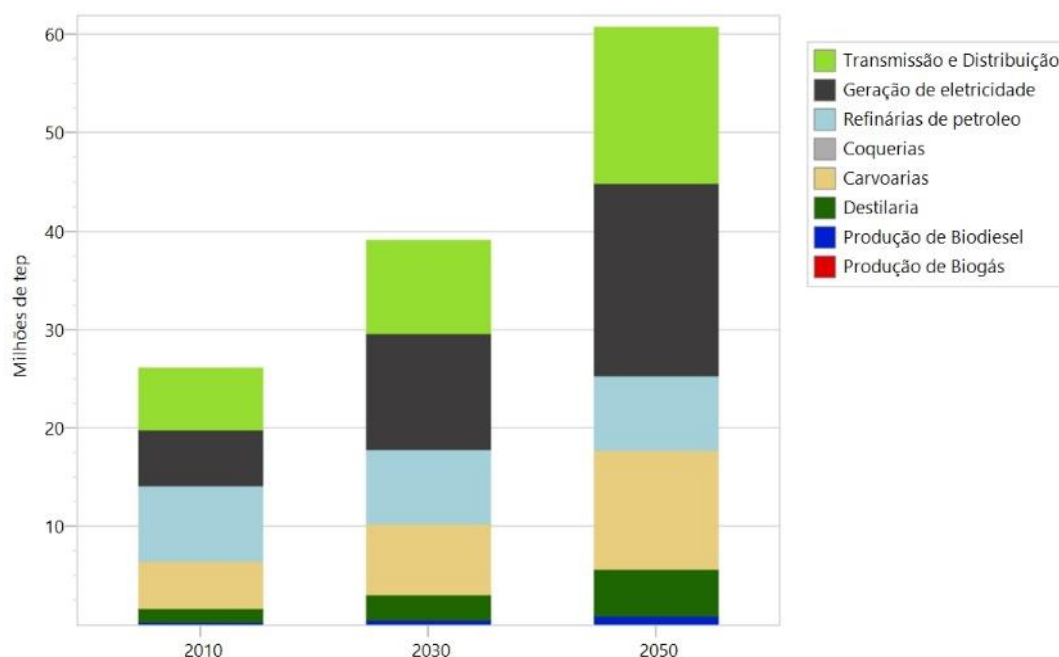


Gráfico 6: Produção de energéticos - REF

Fonte: Elaboração própria

Os cenários alternativos ETM e ETA, além de permanecerem com uma produção significativa de eletricidade e carvão vegetal, também introduzem a produção de biocombustíveis (biogás, biodiesel e etanol) de forma considerável para fornecer matéria-prima para produção de eletricidade e atender a demanda do setor de transportes. Nesse sentido, será necessário que em 2050 sejam produzidos 12,9 milhões de tep de biocombustíveis, para atender à demanda do sistema energético do cenário ETM, e 14,1 milhões de tep do cenário ETA.

Geração de Eletricidade

Para atender à crescente demanda por eletricidade, o cenário REF prevê uma expansão na capacidade geração elétrica que permitirá gerar o montante de 136 TWh até 2030, e 227 TWh até 2050, como mostrado no Gráfico 7. Os cenários alternativos ETM e ETA possuem uma capacidade maior de geração de eletricidade, podendo gerar

até 149 TWh e 177,5 TWh até 2030, e 267 TWh e 426 TWh até 2050, respectivamente. Esse montante elevado é devido à inserção de veículos elétricos e das tecnologias de geração de energia por fontes intermitentes (solar e eólica), principalmente no cenário ETA, que possui uma inserção mais agressiva dessas tecnologias.

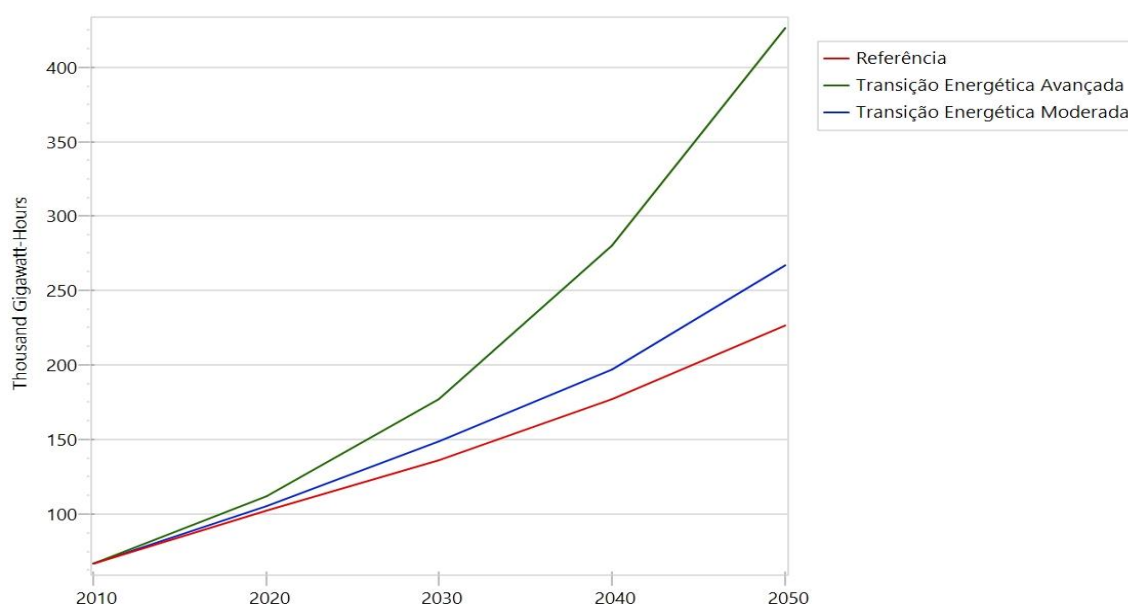


Gráfico 7: Projeção de geração de eletricidade por cenários

Fonte: Elaboração própria

No ano-base 2010, mais de 80% da matriz elétrica do estado de Minas Gerais era composta por hidrelétricas. Os resultados da modelagem do sistema de geração de eletricidade para o período analisado podem ser vistos na Tabela 1, que traz os valores de capacidade instalada por cenários, bem como no Gráfico 8 e Gráfico 9. **Fonte de referência não encontrada.**, que mostram a composição de cada cenário. Nas projeções desenhadas para o período 2030, o cenário REF possui capacidade instalada de 42,2 GW, sendo composto majoritariamente por usinas hidrelétricas (UHE) e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) (32,3%), seguidos das usinas termelétricas (UTE) movidas a gás natural (24,5%), à óleo combustível (22,8%) e à carvão mineral (13,5%). Já o cenário ETM, possui uma maior capacidade instalada,

com 49,6 GW, e sua composição difere de forma significativa do cenário REF, sendo composto majoritariamente de fontes de energias renováveis. Nesse cenário, as UTE de ciclo combinado movidas a gás natural são a base da matriz, com 34,4%, seguidas pelas UHE, com 27,9%, e pelas UTE movidas à biomassa, que somam o montante de 24,6%. Nesse cenário, a tecnologia solar fotovoltaica possui uma participação mais expressiva, respondendo por 10,1% da composição da matriz. O cenário ETM possui a maior capacidade instalada quando comparado aos demais, com 64,8 GW, em que as UTE de ciclo combinado respondem por 27,8%, e às movidas à biomassa possuem um papel mais expressivo do que as hídricas, com 24,3% e 21,5%, respectivamente. A participação solar fotovoltaica também cresce, chegando a 15,4% e, nesse cenário, são inseridas as usinas eólicas, que representam 7,7% da matriz.

Tabela 1: Capacidade Instalada (GW) por cenários

Cenários	2030	2050
Referência		
(REF)	42,2	69,8
Transição Energética		
Moderada (ETM)	49,6	90,9
Transição Energética		
Avançada (ETA)	64,8	155,0

Fonte: Elaboração própria

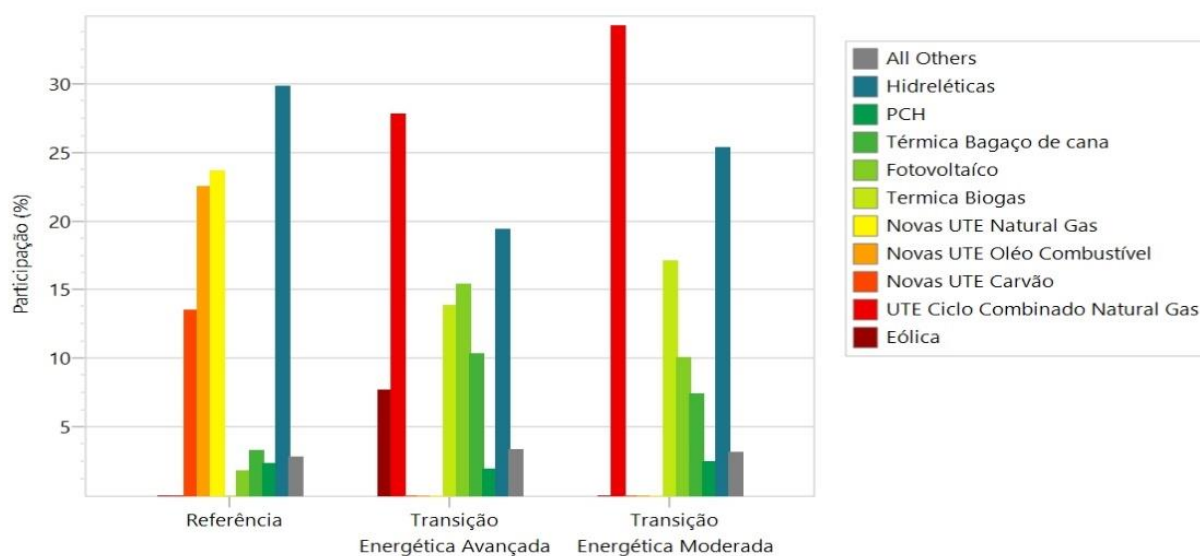


Gráfico 8: Matriz elétrica em 2030 por cenários

Fonte: Elaboração própria

Já para a matriz elétrica em 2050, o cenário REF possui um aumento significativo da participação de tecnologias movidas à combustíveis de origem fóssil (75,7%), tornando-se a principal base do sistema. Os cenários ETM e ETA se mantêm por meio de uma geração majoritária de fontes renováveis de energia, porém observa-se uma redução expressiva da fonte hídrica, 15,8 % e 9,4%, respectivamente. Nesses cenários, as UTE à biomassa e as usinas solares fotovoltaicas passam a corresponder por uma grande parte do sistema, sendo no cenário ETM, 25,8% e 14,3%, e no cenário ETA, 26,4% e 16,8%, respectivamente.

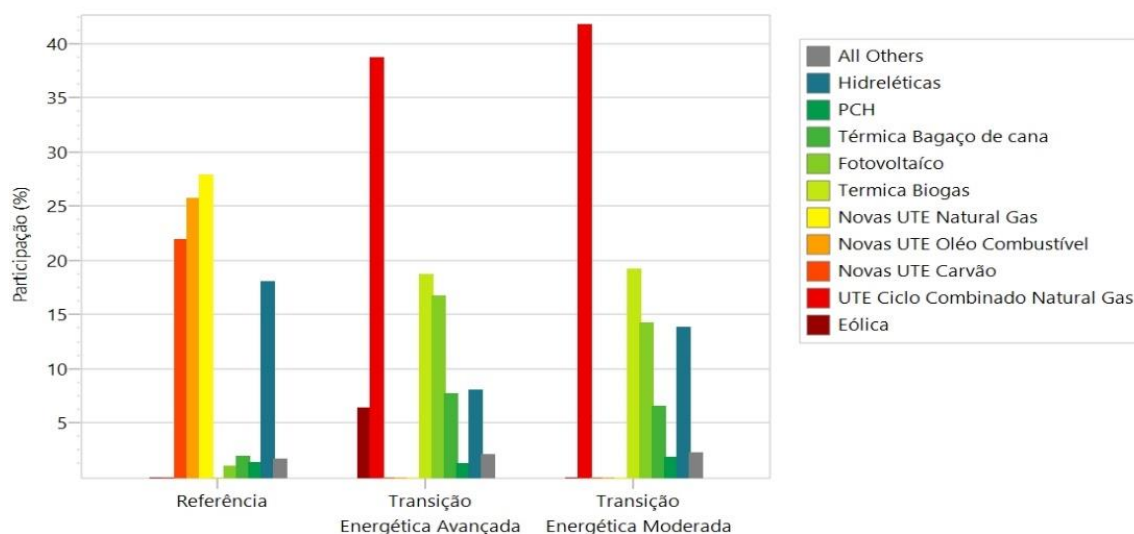


Gráfico 9: Matriz elétrica em 2050 por cenários

Fonte: Elaboração própria

Recursos Energéticos

Como já esperado, no horizonte 2050, o cenário ETA é o que mais necessita de recursos energéticos para suprir o seu sistema energético, com uma demanda da ordem de 160 milhões de tep. No entanto, até 2030 ambos cenários REF e ETM possuíam suas respectivas demandas por recursos energéticos praticamente iguais, com uma ordem de 85 milhões de tep. O cenário que apresenta menor intensidade de recursos em todo o período projetado, é o cenário ETM, com 79 milhões de tep em 2030, e 141 tep em 2050. Isso representa uma diferença de aproximadamente 20 milhões de tep entre os cenários ETM e ETA.

Embora o cenário ETA seja o mais intensivo em recursos energéticos, é o cenário menos dependente da importação de recursos, uma vez que seu sistema é predominantemente de fontes renováveis, que são produzidas no território mineiro. Em contrapartida, o cenário REF, que é intensivo em energéticos não renováveis,

possui larga dependência da importação, uma vez que Minas Gerais não possui reservas de petróleo e nem expressivas reservas de carvão mineral e gás natural. Como pode ser observado no Gráfico 10, os cenários ETM e ETA possuem necessidades de importações similares ao longo do período analisado. No entanto, o cenário REF possui uma diferença da ordem de quase 40 milhões de tep, no ano 2050, quando comparado aos outros dois cenários.

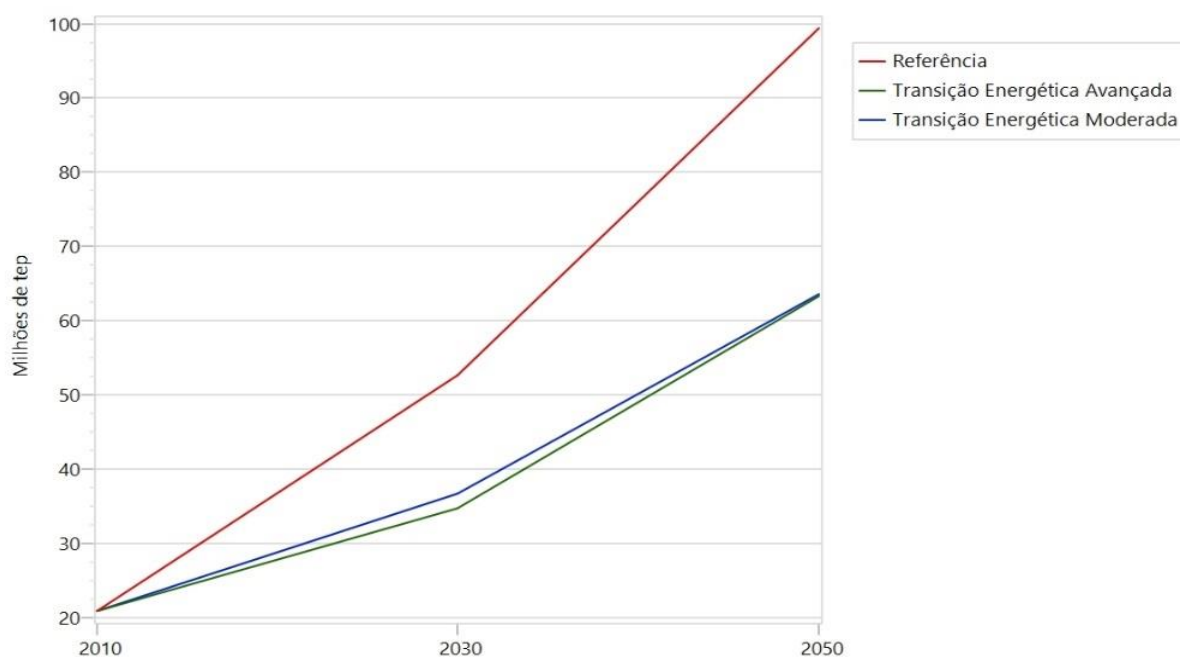


Gráfico 10: Importação de recursos energéticos por cenários

Fonte: Elaboração própria

Emissões de Gases de Efeito Estufa

A evolução das emissões de GEE referentes ao setor de energia para os três cenários, no período 2030-2050, no âmbito do estado de Minas Gerais, são mostradas no Gráfico 11. No cenário REF, é previsto que haverá um aumento das emissões de GEE de aproximadamente 36 milhões de tCO₂e até 2030, quando comparadas ao ano-base, e para 2050, a quantidade de emissões mais que triplica, chegando ao montante de

109 milhões de tCO₂e. Nos cenários alternativos, devido ao aumento de participação de fontes renováveis, as emissões são reduzidas quando comparadas ao cenário REF, sendo o cenário ETA o menos intensivo em carbono, com um aumento de 23 tCO₂e em 2030, e 54 tCO₂e em 2050. Esse último, quando comparado ao cenário REF, apresenta uma redução de aproximadamente 50% das emissões de GEE.

Já o ETM, possui previsão de um aumento de 31 milhões de tCO₂e até 2030, e 87 milhões de tCO₂e, em 2050, apresentando uma redução em torno de 30% comparado ao cenário REF, portanto, quando se trata de redução de emissões de GEE, o cenário mais interessante é o ETA.

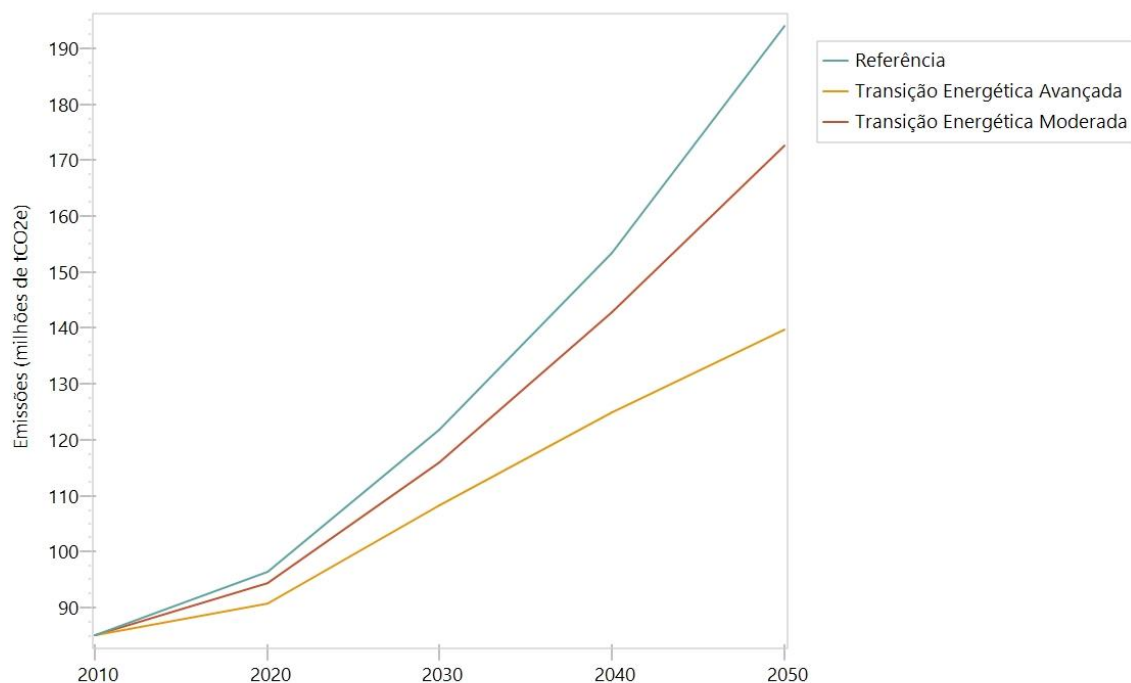


Gráfico 11: Evolução das Emissões de GEE no horizonte 2030-2050 por cenários

Fonte: Elaboração própria

Análise de custo-benefício

Uma análise de custo-benefício dos cenários projetados foi realizada, e os resultados são apresentados na Tabela 2. Os resultados são baseados nos custos de produção de eletricidade e nos custos de importação de recursos energéticos, bem como no Valor Presente Líquido - VPL dos cenários alternativos (ETM e ETA), em comparação com o cenário de referência (REF). O VPL representa todos os custos descontados, em 2010, a taxa foi de 8%, e benefícios acumulados na diferença entre os cenários alternativos com o cenário referência. Sendo assim, podemos observar que, no período de 2010 a 2050 o cenário ETM custará em torno de 18,1 bilhões de dólares a mais que o cenário REF, em relação aos custos de geração de eletricidade, enquanto esse valor para o cenário ETA será em torno de 34,8 bilhões. Essa diferença de valores já era esperada, uma vez que os cenários alternativos além de possuírem uma capacidade instalada maior, também possuem tecnologias de geração com custos associados mais elevados quando comparado ao cenário REF.

No entanto, quando a análise é feita para os recursos energéticos, o cenário REF é mais oneroso quando comparado aos cenários alternativos, por possuir maior dependência de importação, sendo o cenário ETM 159,2 bilhões de dólares mais econômico do que o cenário REF, e o cenário ETA, 182 bilhões de dólares. Uma vez que o custo de importação de recursos energéticos ultrapassa os custos de produção de energia elétrica, temos que o VPL para os cenários ETM e ETA é negativo, ou seja, o cenário REF é mais oneroso do que os cenários alternativos. Em outras palavras, o sinal negativo do VPL denota o quanto os cenários alternativos ETM e ETA são mais baratos esses são em relação ao cenário REF. Para esse estudo, o cenário ETM é 141,1 bilhões mais barato que o REF, já para cenário ETA esse montante equivale a 147,2 bilhões. Além do cenário ETA apresentar o melhor custo-benefício, também é o menor emissor de GEE, apresentando 746 milhões de tCO₂e de emissões evitadas em relação ao cenário REF.

Tabela 2: Análise de custo-benefício dos cenários alternativos comparados ao cenário de REF

Custos e benefícios cumulativos: 2010-2050. Relativos ao Cenário: Referência. Taxa de desconto 8% para o ano 2010. Unidade: Bilhões U.S. Dólar		
	Transição Energética Moderada	Transição Energética Avançada
Transformação	18,1	34,8
Geração de eletricidade	18,1	34,8
Recursos	-159,2	-182,0
Produção	-	-
Importação	-159,2	-182,0
Exportação	-	-
Valor Presente Líquido - VPL	-141,1	-147,2
Emissões evitadas (Milhões de tCO ₂ e)	286,6	746,2

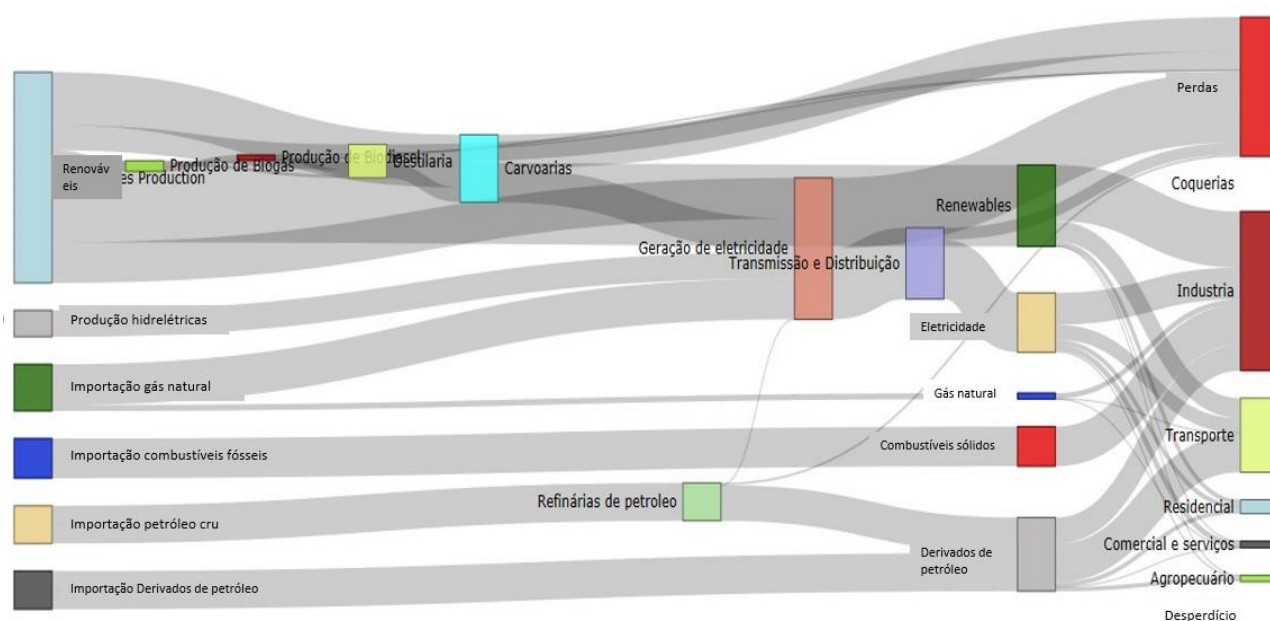
Fonte: Elaboração própria

Sistema Energético Mineiro 2030-2050

Como demonstrado no cenário REF, é esperado um aumento significativo do consumo de energia no horizonte 2030-2050, devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, ainda que tímido. Os resultados demonstram que o

cenário ETA é o mais promissor quanto ao atendimento a crescente demanda de energia, indicando menor dependência de importação de recursos energéticos no horizonte analisado, e que também é o mais efetivo para a mitigação das emissões de GEE do setor energético. O cenário ETA também é mais acessível comparado ao cenário REF, ao relacionar a geração de eletricidade associada a importação de recursos energéticos. Dessa forma, o cenário ETA foi escolhido como cenário-base para subsidiar o processo de tomada de decisão relativa à construção de diretrizes da política de transição energética para o estado de Minas Gerais.

A Figura 2 e a Figura 3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustram a matriz energética do estado de Minas Gerais, sob o cenário ETA, para os anos de 2030 e 2050, respectivamente. No primeiro período, percebe-se que as fontes renováveis,



além da hídrica, representam a principal base do sistema, e que os combustíveis de origem fóssil, ainda que possuam uma participação expressiva, são utilizados basicamente para atender o setor de transportes e a indústria

Figura 2: Matriz energética em 2030 - Cenário ETM

Fonte: Elaboração própria

Em 2050, espera-se que as fontes renováveis se expandam ainda mais, principalmente devido inserção de veículos elétricos na frota, demandando maior geração de eletricidade e aumento do uso de biocombustíveis. Para assegurar a confiabilidade do sistema elétrico, o gás natural se torna o principal combustível de origem fóssil utilizado no sistema, uma vez que as térmicas de ciclo combinado são mais eficientes comparada às convencionais, e o gás natural mais ambientalmente amigável, quando comparado aos demais, já que é o combustível fóssil que possuem o menor fator de emissão de GEE.

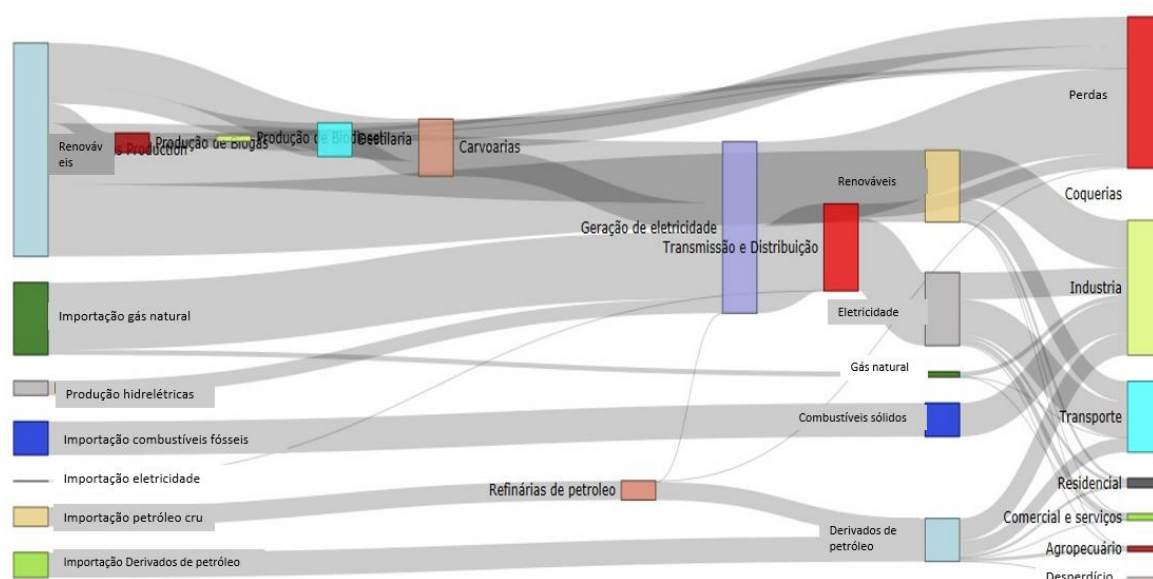


Figura 3: Matriz energética em 2050 - Cenário ETA

Fonte: Elaboração própria

Avaliação do Programa Mineiro de Energias Renováveis - PMER no processo de expansão de energias renováveis no estado de Minas Gerais

A Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais também avaliou a contribuição do Programa Mineiro de Energias Renováveis no processo de expansão de energias renováveis na matriz mineira, avaliando número de projetos implementados, inovação e criação de empregos.

A principal descoberta da análise é que o programa é limitado em seu escopo e não atende ao setor de energia renovável como um todo, uma vez que não contempla todos os biocombustíveis e a geração de energia térmica. Sua maior contribuição ocorreu no eixo dos incentivos fiscais, com a consolidação das isenções fiscais para a geração de eletricidade por fontes renováveis, exceto grandes hidrelétricas.

Os resultados analisados demonstram que a geração de energia elétrica por fonte renovável tem crescido em Minas Gerais, no entanto, não é possível fazer uma associação dessa trajetória com o PMER, que é um programa atualmente inoperante.

A análise de efetividade do PMER revelou que o aumento da geração e consumo de energia renovável tendo em vistas o combate às mudanças climáticas e o desenvolvimento sustentável depende fortemente de políticas públicas que melhorem o mercado e incentivem os investimentos do setor. Para o desenvolvimento das fontes renováveis seja acelerado no Estado, é importante que as ações previstas pelo PMER sejam fortalecidas e retomadas. Ações complementares também são necessárias, no sentido de melhor definir os objetivos do programa, incluir outras fontes renováveis não contempladas e prever novos instrumentos de fomento. Assim, julga-se necessária a reformulação do PMER para que esse possa assumir o papel de fortalecer as ações do Governo Estadual para promoção da energia renovável e a descentralização das metas para cumprimento do Acordo de Paris, firmado em âmbito federal.

A análise completa da efetividade do PMER foi publicada em dois jornais internacionais, [Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems](#) e Global [Journal of Energy Technology Research Updates](#), e podem ser acessada clicando nos links.

PRODUTOS ESPERADOS

Espera-se que essa Estratégia possa embasar e conduzir o diálogo da transição energética no âmbito do executivo e legislativo do Estado de Minas Gerais, a fim de que seja criada uma Política Estadual de Transição Energética. A criação dessa política é fundamental para estabelecer uma governança de transição energética no contexto mineiro, bem como para apoiar a elaboração e implementação dos instrumentos transitórios.

Política Estadual de Transição Energética de Minas Gerais - PETE

A Política Estadual de Transição Energética de Minas Gerais - PETE, tem por objetivo promover a adoção integrada e aprimorada da modelagem de cenários energéticos em médio e longo prazo, para desenvolver e acelerar a transição energética no estado de Minas Gerais. Nesse sentido, cenário ETA, que demonstra maior viabilidade diante os parâmetros avaliados nesse documento estratégico, deverá ser integrado ao processo de tomada de decisão, de modo a fornecer as metas e diretrizes do planejamento do sistema energético do estado de Minas Gerais no horizonte 2030-2050.

Metas de Transição Energética para o Horizonte 2030-2050

As metas que poderão nortear a PETE correspondem à composição do cenário ETA e são listadas na Tabela 3

Tabela 3: Metas de transição energética para o horizonte 2030-2050

	2030	2050
Energias Renováveis	50%, excluindo grandes hidrelétricas.	60%, excluindo grandes hidrelétricas.
Eficiência Energética no setor elétrico	10% de ganhos no setor elétrico	15% de ganhos no setor elétrico
Redução de Emissões de GEE	12% comparado ao cenário REF.	28% comparado ao cenário REF.

Fonte: Elaboração própria

Diretrizes da PETE

A PETE estabelece as seguintes diretrizes:

- Identificar e solucionar desafios que dificultem o cumprimento de metas relacionadas à energia renovável e à eficiência energética;
- Reduzir a dependência de combustíveis fósseis, como fonte de energia primária para atendimento as demandas energéticas do estado;
- Prover instrumentos tributários, financeiros e creditícios, que aumentem a viabilidade econômica de empreendimentos de energia renovável e ações de eficiência energética no estado;
- Promover o investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação em energia renovável e eficiência energética para contribuir com o desenvolvimento socioeconômico do estado.

Eixos da PETE

A PETE visa diversificar a matriz energética e efficientizar os sistemas elétricos de Minas Gerais, por meio dos principais eixos:

- Eficiência energética no setor elétrico;
- Eficiência energética no consumo final de energia;

- Tecnologias de baixo carbono;
- Expansão de geração por energia solar fotovoltaica;
- Expansão de geração de por energia eólica;
- Expansão do aproveitamento energético da biomassa.

Linhas de Ação Política Estadual de Transição Energética de Minas Gerais - PETE

A Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais foi desenhada com a finalidade de implementar políticas públicas que garantam os marcos propícios, para que as ações governamentais e do setor privado que visam o cumprimento das metas propostas, estejam apoiadas por regulamentações e mecanismos de desenvolvimento sustentável. Nessa perspectiva, a Política Estadual de Transição Energética pode ser dividida em seis categorias:

- Regulação;
- Sensibilização;
- Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação;
- Demonstração de Projetos;
- Capacitação de Recursos Humanos;
- Mercados e financiamento;
- Cooperação Internacional.

Regulação

Fornecerá o arcabouço legal que tem por objetivo prover as regras que normatizam as atividades econômicas e sociais envolvidas no processo de transição energética. Inicialmente, sugere-se que o quadro de regulamentação seja composto por pelos menos três instrumentos legais:

- Lei que estabeleça a Política Estadual de Transição Energética de Minas Gerais - PETE, regulamentada por dois decretos:
 - Programa Estadual de Expansão de Energias Renováveis;
 - Programa Estadual de Tecnologias de baixo carbono e Eficiência Energética;

Sensibilização

Sensibilizar todos os atores envolvidos nas discussões, por meio de uma Estratégia de Governança que demonstre de forma clara e objetiva, a importância da transição energética em âmbito ambiental, social e econômico, bem como a necessidade de comprometimento de toda a sociedade com esse processo.

Também é necessário o envolvimento das instituições, governamentais e não governamentais, de modo a coordenar o desenho, implementação, operação, e avaliação das políticas, programas e projetos relacionados à transição energética estadual.

Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I)

O apoio à PD&I visa ampliar e difundir o conhecimento sobre os aspectos relacionados à transição energética, assim como promover a inovação ao fornecer incentivos diretos para projetos específicos, propiciando tanto o aprimoramento técnico e econômico das tecnologias já existentes, quanto a criação de novas tecnologias.

Demonstração de Projetos

O Estado deverá se valer do princípio da exemplaridade, e promover projetos de energias renováveis e de eficiência energética no âmbito de sua competência, a

fim de demonstrar tecnologias sustentáveis, bem como seus impactos sociais, ambientais e econômicos. Isso não só demonstra o compromisso do Estado para com os seus cidadãos e atores internos e externos envolvidos, mas também estimula o desenvolvimento econômico pelo exemplo.

Capacitação de Recursos Humanos

O processo de transição energética consiste em uma adoção maciça de tecnologia e boas práticas que evoluem e se alteram constantemente, gerando novas oportunidades e necessidades. Dessa forma, é fundamental contar com recursos humanos suficientes e capacitados, para garantir a implementação da transição energética, tanto em termos tecnológicos, assim como em termos de coordenação da política, programas e projetos associados a essa.

Mercados e financiamento

Essa categoria tem como objetivo promover mecanismos de financiamento e incentivos tributários, para estabelecimento do mercado de energias renováveis e de eficiência energética no Estado de Minas Gerais. O mercado deverá ter condições de fluir, atrelado aos menores custos de transação, e de acordo com as oportunidades que o câmbio regulatório e tecnológico permita.

Cooperação

A cooperação é um importante instrumento de desenvolvimento para o Estado, que permite a transferência de recursos, conhecimentos, experiências de sucesso e tecnologias, colaborando efetivamente com a capacitação de recursos humanos e fortalecimento das instituições do estado receptor.

Principais Produtos Esperados

Essa estratégia deverá servir para subsidiar a criação dos seguintes instrumentos:

- Política Estadual de Transição Energética de Minas Gerais - PETE, instituída por Lei;
- Programa Estadual de Expansão de Energias Renováveis, regulamentado por Decreto;
- Programa Estadual de Tecnologias de Baixo Carbono e Eficiência Energética, regulamentado por Decreto;
- Estratégia de Governança da Transição Energética;
- Estratégia de financiamento para implementação da PETE.
- Relatório Anual de Monitoramento & Progresso da PETE.

PRÓXIMOS PASSOS

A Estratégia de transição energética é o primeiro passo que o Estado de Minas Gerais adota para prosseguir com seus objetivos de neutralização de carbono e transição para sistemas energéticos mais sustentáveis. Embora as metas aqui propostas sejam mais ambiciosas do que as propostas na NDC brasileira, entende-se que ainda são necessários mais esforços para frear o aquecimento global, em ordem de evitar consequências de ordem catastróficas. Para isso, governos e organizações de todo o mundo vêm se comprometendo para alcançar emissões *net zero*⁹ até 2050. No cenário nacional e estadual a linha adotada é a mesma, o Brasil prometeu alcançar a neutralidade nas emissões até 2060 e Minas, por meio da adesão à campanha internacional *Race to Zero*, até 2050.

Dessa forma, é imprescindível que o comecemos a nos organizar para cumprir as metas não somente para o setor de energia, como também para todos os outros setores. Assim, é preciso garantir a continuidade de todas as ações já iniciadas e que seja previsto o aumento da ambição das mesmas, por isso, essa Estratégia deverá ser aprimorada e atualizada nos próximos anos, para que o setor energético coopere com o alcance à neutralidade de GEE até 2050. Portanto, identifica-se a necessidade de realização das seguintes atividades, para que as ações do setor de energia, rumo ao *net zero*, sejam escolhidas por meio de um processo de tomada de decisão baseado em informações científicas e técnicas, como:

- Diagnóstico de eficiência energética para setores-chave e esferas governamentais - São muitas as oportunidades de economizar energia por meio de ações de eficiência e conservação de energia, essas são

⁹ Net zero refere-se ao equilíbrio entre a quantidade de gás de efeito estufa produzida e a quantidade removida da atmosfera.

primordiais para operacionalização de um plano de ação para sistemas de energia *net zero*.

- Cenários de Eficiência Energética - Após o diagnóstico, é necessário a criação de cenários para subsidiar a escolha das ações para compor o plano de promoção de eficiência energética do Estado. As ações devem ter viés técnico e político, focando em ações específicas para os setores-chave, mas também ações de regulação e governança sob competências do governo.
- Revisão contínua dos Cenários de Transição de Transição Energética - É necessário atualizar os cenários de transição energética desenvolvidos nessa estratégia de forma contínua, para que esses possam ser compatíveis com as metas que o Estado se comprometeu para 2050, por meio da campanha internacional *Race to Zero*. Dessa forma, espera-se que a predominância de energias renováveis na matriz energética mineira seja ainda mais expressiva, chegando ao máximo possível para alcançar a meta. Isso implica não somente a implementação de vários empreendimentos energéticos de fontes renováveis, como também em investimento massivo em P, D&I, para que se crie tecnologias disruptivas, que visem eficiência e inovação.

REFERÊNCIAS

ABELSON, H. **Energy Independence**. 1973. Disponível em: <https://science-sciencemag-org.ez27.periodicos.capes.gov.br/content/sci/182/4114/779.full.pdf> . Acesso em 18 de abril 2018.

ABRAHAM, S.; MILLS, M.P. **Sovereign Energy Independence - Properly Understood and Effectively Achieved in the 21st Century**. 2013. Disponível em: https://www.tech-pundit.com/wp-content/uploads/2013/07/GeorgetownJournal_2013_Abraham_Mills.pdf?5bc6cb. Acesso em 18 de abril 2018.

AGORA, Agora Energiewende. **Understanding the *Energiewende***. 2015. Disponível em: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2015/Understanding_the_EW/Agora_Understanding_the_Energiewende.pdf. Acesso em 18 de abril 2017.

ALMG - Assembleia Legislativa de Minas Gerais - **Decreto Estadual nº 46.296 de 14 de Agosto de 2013** - Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=257589>. Acesso em 29 de novembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica - **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas** - Brasília, 2015a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/proinfra>. Acesso em 29 de novembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica - **Regulação do Setor Elétrico** - Brasília, 2015b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/mercado-de-eletricidade>. Acesso em 29 de novembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica - **Sala de Imprensa** - Brasília, 2018. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/leilao-de-geracao-n-03-2018-tem-desagio-de-46-89-e-contrata-168-twh/656877?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsa-la-de-imprensa-exibicao%3Fp_id%3D101_INSTANCE_XGPXSqdMFHrE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D3. Acesso em 18 de janeiro 2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica - **Banco de Informações de Geração - BIG**. Brasília, 2019. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.

Acesso em 29 de novembro de 2018.

BICALHO, R.; QUEIROZ, R. **Segurança Energética e Mudança Climática: Estruturando o Debate Energético**. Centro de Excelência em Economia da Energia: Rio de Janeiro, 2012.

BMWI, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. **The Energy Transition**. 2015. Disponível em: <http://www.bmwi.de/EN/Topics/Energy/energy-transition.html>. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

BMWI, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. **The Federal Government's Energy Concept of 2010 and the Transformation of the Energy System of 2011**. 2011 Disponível em: <https://cleanenergyaction.files.wordpress.com/2012/10/german-federal-governments-energy-concept1.pdf>. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL%20iNDC%20portugues%20FINAL.pdf> Acesso em 15 de fevereiro de 2019.

BRÜGGEMEIER, R. F. Sol, água, vento: **O Desenvolvimento da Transição Energética na Alemanha**. 2017. Disponível em: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/brasilien/12076-20151203.pdf>. Acesso em 18 de janeiro 2018.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **32° Balanço Energético do Estado de Minas Gerais - BEEMG 2017: Ano Base 2016**. Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte: Cemig, 2018.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Atlas de Biomassa de Minas Gerais**. Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte: Cemig, 2017.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Atlas Eólico de Minas Gerais**. Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte: Cemig, 2010.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais - Volume II**. Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte: Cemig, 2016.

CHVANOVA, E. **System Integration of Renewable Energies, Grid Development & Flexibilization**. 2019. Disponível em: https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/EN/Publications/Presentations/190528-erfolg-ir-suedkorea-02.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Acesso em 20 de junho 2019.

EMODI, N. V.; EMODI, C. C.; MURTHYC, G. P.; EMODI, A. S. A. **Energy Policy for Low Carbon Development in Nigeria: A Leap Model Application**. 2017. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68 (2017) 247-261.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balço Energético Nacional 2018: Ano Base 2017**. 2018. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_Int.pdf. Acesso em 18 de abril 2018.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20An%C3%A1lise%20Retrospectiva.pdf>. Acesso em 18 de abril 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Plano Nacional de Energia 2050**. 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em 18 de abril 2019.

ESTIF, European Solar Thermal Industry Federation. **Solar Thermal Action Plan for Europe Heating & Cooling from the Sun**. 2007. Disponível em: http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/policies/STAP/Solar_Thermal_Action_Plan_2007_A4.pdf. Acesso em 18 de abril 2019.

ETP, Energy Transition Platform. **Briefing: Energy and Climate Policy in North Rhine-Westphalia** - North Rhine-Westphalia, 2016a. Disponível em: https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/etp_partnerprofile_california.pdf. Acesso em 15 de novembro de 2017.

ETP, Energy Transition Platform. **Partner Region Profile - California** - Califórnia, 2016c. Disponível em: https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/etp_partnerprofile_california.pdf. Acesso em 15 de novembro de 2017.

ETP, Energy Transition Platform. **Partner Region Profile - Hauts-de-France** - Hauts-de-France, 2016b. Disponível em: https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/etp_partnerprofile_california.pdf. Acesso em 15 de novembro de 2017.

FCCC, Framework Convention on Climate Change. **Conference of the Parties - Adoption of the Paris Agreement**. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>. Acesso em 18 de abril 2018.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas. **Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais: Resumo Executivo** / Fundação Estadual do

Meio Ambiente; com apoio de Agência Francesa do Meio Ambiente e da Gestão de Energia, Conselho Regional de Nord Pas-de-Calais. Belo Horizonte, 2015.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais. **Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais Período de Referência: 2005-2014. 2016.** Disponível em: http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/Estimativas_GEE_2005_2014_MG_FEAM_v02-1.pdf Acesso em 29 de novembro de 2017.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Potencial de Energias Renováveis.** Fundação Estadual do Meio Ambiente; com apoio de Agência Francesa do Meio Ambiente e da Gestão de Energia, Conselho Regional de Nord Pas-de-Calais. - Belo Horizonte: FEAM, 2014a. 75 p. il.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais: Setor Energia /** Fundação Estadual do Meio Ambiente; com apoio de Agência Francesa do Meio Ambiente e da Gestão de Energia, Conselho Regional de Nord Pas-de-Calais. Belo Horizonte: FEAM, 2014.

FJP, Fundação João Pinheiro. **Produto Interno Bruto (PIB) de Minas Gerais: Relatório Anual | 2010-2013. 2014.** Disponível em: <http://fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/informativos-cei-eventuais/590-monitor-fjp-relatorio-anual-do-pibmg-2010-2013-atualizacao-dez-20152/file>. Acesso em 25 de janeiro 2019.

FORBES ESG. **Bolsonaro antecipa meta brasileira de neutralidade climática para 2050, pede recursos internacionais.** FORBES. 2021. Disponível em <https://forbes.com.br/forbesesg/2021/04/bolsonaro-antecipa-meta-brasileira-de-neutralidade-climatica-para-2050-pede-recursos-internacionais/> . Acesso em 20 de julho 2021

FORTIN, M.J. **The Landscapes of Energy Transition: A Political Perspective.** 2015. Disponível em <https://online.unisc.br/seer/index.php/redes/article/view/6722/pdf>. Acesso em 18 de abril 2019.

FRANCE. **Loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.** 2015. Disponível em: <https://www.gouvernement.fr/action/la-transition-energetique-pour-la-croissance-verte> Acesso em 25 de janeiro 2018.

FRANCÉS, E. G. **Market or Geopolitics the Europeanization of Eu's Energy Corridors.** International Journal of Energy Sector Management, United Kingdom, v. 5, n. 1, p. 39 - 59, 2011.

HU, G.; MAA, X.; JIA, J. **Scenarios and Policies for Sustainable Urban Energy Development Based on Leap Model - A Case Study of a Postindustrial City: Shenzhen China.** 2019. Applied Energy 238 (2019) 876-886.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Projeção da População do Brasil e das Unidades da Federação.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. 2019. Acesso em 25 de janeiro 2019.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **Technology Brief Coal-Fired Power.** (2010a). Disponível em: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **Technology Brief Gas-Fired Power.** (2010b). Disponível em: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **TECHNOLOGY BRIEF HYDROPOWER.** (2010c). Disponível em: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **Technology Brief Biomass for Heat and Power.** (2010d). Disponível em: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **Technology Brief Combined Heat and Power.** (2010e). Disponível em: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **Technology Brief Photovoltaic Solar Power.** (2013a). Disponível em: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **Technology Brief Biogas and Bio-Syngas Production.** (2013b). Disponível em: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **Technology Brief Production of Liquid Biofuels.** (2013c). Disponível em:

http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA ETSAP, International Energy Agency - Energy Technology Systems Analysis Program. **Technology Brie Biomass Production & Logistics**. (2013d). Disponível em: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEA, International Energy Agency. **Contribution of Renewables To Energy Security**. 2007. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/so_contribution.pdf Acesso em 25 de janeiro 2018.

IEMA, Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Emissões de GEE do Setor de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos**. Disponível em: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/FINAL-16-09-23-RelatoriosSEEG-PIUP_.pdf. Acesso em 15 de setembro de 2017.

INDEX MUNDI. **Preço das Mercadorias**. 2019. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/>. Acesso em 25 de janeiro 2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **O Futuro que Queremos Economia Verde, Desenvolvimento Sustentável e Erradicação da Pobreza**. 2012. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/RIO+20-web.pdf>. Acesso em 18 de abril 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers**. 2014. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf. Acesso em 29 de setembro de 2017.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **Renewable energy: A Key Climate Solution**. 2017a. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/IRENA_A_key_climate_solution_2017.pdf?la=en&hash=A9561C1518629886361D12EFA11A051E004C5C98. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **Planning for the Renewable Future: Long-Term Modelling and Tools to Expand Variable Renewable Power in Emerging Economies**. 2017b. Disponível em: <https://www.irena.org/energytransition/Energy-Planning-Support/National-Energy-Master-Plan-Development>. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

IRENA, International Renewable Energy Agency, **Accelerating Off-Grid Renewable Energy: Key Findings and Recommendations from IOREC 2016**, Abu Dhabi - United Arab Emirates, 2017c.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **DASHBOARD: Patents Evolution**. 2018a. Disponível em: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=1019&subTopic=1058>. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **DASHBOARD: Employment Time Series**. 2018b. Disponível em: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=1019&subTopic=1058>. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **Renewable Power Generation Costs in 2017**. 2018c. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **Featured Dashboard - Capacity and Generation**. 2018d. Disponível em: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=17>. Acesso em 15 de fevereiro de 2018.

JACOBI, P.R; GUERRA, A.F.S; SULAIMAN , S.N; NEPOMUCENO,T. **Mudanças Climáticas Globais: A Resposta da Educação**. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbedu/v16n46/v16n46a08.pdf>. Acesso em 18 de abril 2018.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Trajетórias de Mitigação e Instrumentos de Políticas Públicas Para Alcance das Metas Brasileiras no Acordo De Paris / Régis Rathmann [et al.]** -- Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017. 64 p.: il. - (Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil)

MCTIC, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Trajетórias de Mitigação e Instrumentos de Políticas Públicas Para Alcance das Metas Brasileiras no Acordo de Paris**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017

MCTIC, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Cálculo dos Fatores de Emissão de Co2 pela Geração de Energia Elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil**. 2018. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0019/19707.pdf. Acesso em 29 de novembro de 2018

MME, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional De Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas** - Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%AAncia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>. Acesso em 29 de novembro de 2017.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Renova Bio** - Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>. Acesso em 29 de novembro de 2017.

MME/EPE, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. 2018. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202027_aprovado_OFICIAL.pdf. Acesso em 18 de abril 2019.

MME/EPE, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**. 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2021>. Acesso em 18 de abril 2019.

MORAES, M. V. E. **Políticas Inovadoras em Gestão no Brasil**, in III Congresso Consad de Gestão Pública, Brasília, Brazil, 2010.

MORRIS, C; PEHNT, M. **Energy Transition: The German Energiewende**. 2015. Heinrich Böll Foundation, 2015. Disponível em: <http://energytransition.de>. Acesso em: 01/12/2015.

MOURA, G. **Long-term Power Systems Integration Using Osemosys Samba - South America Model Base - and the Bargaining Power of Countries: A Cooperative Games Approach**. Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

MUINZER, T; ELLIS, G. **Subnational governance for the low carbon energy transition: Mapping the UK's 'Energy Constitution'**. 2017. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2399654416687999>. Acesso em 20 de junho 2019.

OZTURK, I. **Energy Dependency and Energy Security: The Role Of Energy Efficiency and Renewable Energy Sources**. 2013. Disponível em: <http://go-galegroup.ez27.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?id=GALE%7CA404753837&v=2.1&u=capes&it=r&p=AONE&sw=w>. Acesso em 25 de janeiro 2018.

PARK, NB.; YUN, SJ.; JEON, E-C. **An Analysis of Long-Term Scenarios for the Transition to Renewable Energy in the Korean Electricity Sector.** 2013. *Energy Policy* 52 (2013) 288-296.

PLANALTO, Presidência da República. **Decreto nº 9.073, de 5 de Junho de 2017.** Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D9073.htm. Acesso em 29 de novembro de 2017.

RADEMAEKERS, K.; VAN NUFFEL, L.; YEARWOOD, J. **Eu Energy Independence, Security of Supply and Diversification of Sources.** 2017. Disponível em: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/595367/IPOL_STU\(2017\)595367_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/595367/IPOL_STU(2017)595367_EN.pdf). Acesso em 18 de abril 2018.

ROINIOTI A.; KORONEOS, C.; WANGENSTEEN, I. **Modeling the Greek Energy System: Scenarios of Clean Energy Use and Their Implications.** 2012. *Energy Policy* 50 (2012) 711-722.

SANCHEZ, A. **Atividades Humanas e Mudanças Climático-Ambientais: Uma Relação Inevitável.** São Paulo, 2009. Disponível em: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/130/43130587.pdf. Acesso em 29 de setembro de 2017.

SEF, Secretaria de Estado de Fazenda. **Decreto Estadual nº 47.231, de 4 de Agosto de 2017** - Belo Horizonte, 2017. Disponível em: http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/decretos/2017/d47231_2017.htm. Acesso em 29 de novembro de 2017.

SEI, Stockholm Environment Institute. **User Guide, Leap: Long Range Energy Alternative Planning System.** Stockholm Environment Institute, Boston; 2011.

SEI, Stockholm Environment Institute. **Sistema de Planejamento de Longo Prazo de Alternativas Energéticas Exercícios Utilizando LEAP.** Stockholm Environment Institute, Boston; 2012.

STATE AND REGIONS, The Climate Group / STATES & REGIONS ALLIANCE. **Declaration of the Federated States and Regional Governments on Climate Change.** Montreal, 2005. Disponível em: <https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/Montreal-Declaration-Signatories-as-of-Jan2010.pdf>. Acesso em 29 de setembro de 2017.

TERZIC, B. **Energy Independence and Security: A Reality Check.** 2013. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/energy-independence/Energy-Independence-and-Security_A-reality-check.pdf. Acesso em 18 de abril 2018.

UN, United Nations. **Energy, Strengthening Public-Private Partnerships to Accelerate Global Electricity Technology Deployment**, (2011).

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change, **Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC)**. Disponível em: [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20\(Updated%20submission\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20(Updated%20submission).pdf) . Acesso em 23 de setembro de 2021.

WEF, World Energy Forum. **Energy Vision 2013 Energy Transitions: Past and Future**. 2013 Disponível em <https://www.weforum.org/reports/energy-vision-2013-energy-transitions-past-and-future>. Acesso em 18 de abril 2019.

YARROS, J. **Fact Sheet: What is Energy Independence? 2013**. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/126259595/What-is-Energy-Independence>. Acesso em 18 de abril 2018.

YOPHYA, H.; JEFFREY, B.Y.; CHIEH-YUC, P. **The Long-Term Forecast of Taiwan's Energy Supply and Demand: LEAP Model Application**. 2011. Energy Policy 39 (2011) 6790-6803.

ANEXO

Tabela 4: Premissas Gerais - LEAP - caso de Minas Gerais

Premissas Gerais	Cenários REF - ETM - ETA		
	2010	2030	2050
População (milhões)	20	22,2	22,05
Crescimento pop. (%)	-	0,29	-0,29
PIB (Bilhões R\$)	351,4	439,6	613,3
Crescimento PIB (%)	-	2,2	1,6
Renda Per capita (mil R\$)	17,6	19,5	26,3
Tx crescimento VA - Agropecuário	-	1,7	1,6
Tx crescimento VA - Serviços	-	1,7	1,2
Tx crescimento VA - Industria	-	2,5	2,0

Fonte: IBGE, 2019; FJP, 2014; MCTIC, 2017

Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais

Tabela 1: Dados técnicos para o módulo geração de eletricidade do modelo LEAP para Minas Gerais

Tipo de tecnologia	Regra de despacho	Eficiência (%)	Capacidade de Instalada (MW)	Produção (mil tep)	Fator de Disponibilidade (%)	de Vida útil	Custo de Capital (US\$/KW)	Custo Fixo (US\$/KW)	Capacidade de Crédito*
Hidrelétrica	Base	95	12500	5025	95	60	1750	35	100
PCH e CGH	Base	95	519	350	95	60	2000	45	100
Térmica - Gás natural	Pico	35	334	108	85	30	900	36	100
UTE - Lenha	Pico	25	200	7,25	85	25	3000	100	100
UTE - Bagaço de Cana	Pico	25	874	200	66 ¹	25	3000	100	100
UTE Combustível Óleo	Pico	25	131	1,5	85	25	1400	25	100

¹ - A disponibilidade 66% é devido ao período de entressafra da cana-de-açúcar.

Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais

UTE - Outras fontes primárias	Pico	25	260	56	85	25	1400	25	100
UTE Biogás	Pico	25	-	-	85	25	3000	100	100
UTE Carvão Mineral	Pico	46	-	-	85	40	2200	88	100
Novas UTE - Gás Natural	Base	35	-	-	85	30	900	36	100
o - Gás Natural	Base	65	-	-	85	30	1100	44	100
Fotovoltaico	Base	15	-	-	42 ²	25	2500	30	30
Eólica	Base	95	-	-	35 ³	30	1620	36	30

*A capacidade de crédito é utilizada para calcular a margem reserva do sistema, fontes intermitentes não são firmes o suficiente, portanto, possuem baixa capacidade de crédito (SEI,2018).

² - Foi considerado um período de disponibilidade máxima de sol de 10 horas por dia.

³ - Por ser uma fonte intermitente, a média de disponibilidade da eólica é 35% (SEI, 2012).

Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais

Fonte: Adaptado de: CEMIG, 2018; ANEEL, 2019; IEA ETSAP, 2010a; IEA ETSAP, 2010b; IEA ETSAP, 2010c; IEA ETSAP, 2010d; IEA ETSAP, 2010e; IEA ETSAP, 2013; MOURA, 2017.

Tabela 2: Principais Premissas dos cenários REF, ETM e ETA

Principais Premissas		
REF	ETM	ETA
<ul style="list-style-type: none">• Expansão a mínimo custo, com a inserção de hidrelétricas e combustíveis de origem fóssil.• Desconsideração de políticas adicionais de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.• Manutenção da margem de reserva por meio UTE a carvão mineral, gás natural e óleo combustível	<ul style="list-style-type: none">• Metas da NDC do Brasil, recortadas para Minas Gerais;• 27% a 33% de fontes renováveis na matriz elétrica, excetuando a fonte hídrica até 2030, e 40 a 42% até 2050.• Capacidade instalada fotovoltaica de 5 GW e 13 GW até 2030 e 2050, respectivamente.	<ul style="list-style-type: none">• Liberdade de seleção da evolução do perfil tecnológico e da otimização da matriz energética;• Substituição de veículos movidos a diesel e gasolina por veículos elétricos, movidos a biocombustíveis ou híbridos.• Mínimo de 50% de fontes renováveis na matriz elétrica,

Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais

(Capacidade instalada 300 MW, 500 MW, 500 MW, respectivamente);

- Premissas de expansão da capacidade previstas no PNE e no BIG ANEEL.
- Redução do custo de capital da tecnologia eólica de 30%, em 2030, e 40%, 2050, comparada ao ano base (IRENA, 2018c)
- Redução do custo de capital da tecnologia fotovoltaica de 50%, em 2030, e 60%, 2050, comparado ao ano base (IRENA, 2018c).
- Para demais tecnologias é esperada uma redução de 10% do custo

- Capacidade instalada de UTE a biogás de 7 GW e 15 GW até 2030 e 2050, respectivamente.
- Obter ganhos de eficiência energética no setor elétrico de 10% até 2030 e 15% até 2050.
- Participação de 7% de veículos elétricos e 24% de biocombustíveis no setor de transporte até 2030.
- Manutenção da margem de reserva por meio de UTE a biogás, PCH, e UTE de ciclo combinado a gás natural (Tamanho médio 500

excetuando a fonte hídrica até 2030 e 60% até 2050.

- Capacidade instalada fotovoltaica de 10 GW e 26 GW até 2030 e 2050, respectivamente.
- Capacidade instalada de UTE a biogás de 9 GW e 26 GW até 2030 e 2050, respectivamente.
- Capacidade instalada de eólica de 5 GW e 10 GW até 2030 e 2050, respectivamente.
- Participação de 20% de veículos elétricos e 27% de biocombustíveis no setor de transporte até 2030.
- Participação de 50% de veículos

Estratégia de Transição Energética de Minas Gerais

de capital no horizonte 2030-2050, uma vez que são consideradas tecnologias maturadas.

- É esperado que no período analisado os combustíveis de origem fóssil dobrem em seu valor, devida a limitação dos recursos.

MW, 15 MW, 1000 MW, respectivamente);

- Assume-se que os custos são os mesmos do cenário REF.

elétricos e 29% de biocombustíveis no setor de transporte até 2050.

- Assume-se que os custos são os mesmos do cenário REF.

Fonte: Elaboração própria

feam
FUNDAÇÃO ESTADUAL
DO MEIO AMBIENTE



**MINAS
GERAIS**

GOVERNO DIFERENTE.
ESTADO EFICIENTE.