



Relatório técnico para o roadmap de cálculo de emissões evitadas no contexto do Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais

Relatório técnico – *Roadmap* de Emissões Evitadas

Versão 1.0

29/12/2025

Sumário

Índice de figuras	5
1. Introdução	6
2. Emissões evitadas	7
2.1. Emissões evitadas no contexto do PLAC-MG	8
3. Metodologias	10
4. Resultados	12
4.1. Baixa complexidade	13
4.1.1. Substituição de combustível fóssil por biocombustíveis	13
4.1.1.1. Meta 1.1. Promover a ampliação da substituição da gasolina e do diesel por biocombustíveis, ampliando em 10% sua participação na demanda energética até 2030 e em 50% até 2050	14
4.1.1.2. Meta 1.2. Alcançar a produção de 180 mil TJ/ano de diesel verde	16
4.1.2. Eficiência energética na indústria	18
4.1.2.1. Meta 1.3. Reduzir o consumo de energia e combustíveis nos segmentos industriais através de medidas de eficiência energética	18
4.1.3. Substituição de veículos à combustão	20
4.1.3.1. Meta 2.1. Alcançar 900 mil veículos movidos por propulsão alternativa à combustão até 2050 na frota veicular registrada no Estado	20
4.1.4. Consumo de energia renovável	22
4.1.4.1. Meta 2.1. Em todas as edificações públicas do Governo estadual, 100% da energia elétrica consumida ter origem em fonte renovável, por autogeração ou através da comercialização	22
4.1.5. Geração de energia renovável	24
4.1.5.1. Meta 3.1. 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.	24
4.1.5.2. Meta 4.1. Expandir a capacidade instalada para geração de 5,9 GW até 2030 e 18,9 GW até 2050, através de Usinas Fotovoltaicas centralizadas	27
4.1.5.3. Meta 4.2. Expandir a capacidade instalada para geração de 4,3 GW até 2030 e 13,5 GW até 2050, através da Geração Distribuída – Solar FV	29
4.1.5.4. Meta 4.3. Expandir a capacidade instalada para geração de 0,2 GW até 2030 e 0,7 GW até 2050, através da Geração Distribuída – Hidro.....	30
4.1.6. Mudança modal no transporte de carga	31

4.1.6.1. Meta 3.3. Atingir, para o transporte de carga, uma transição do uso do modal rodoviário para o ferroviário de 30%.....	31
4.1.7. Reciclagem	33
4.1.7.1. Meta 5.1. Aumentar a recuperação dos materiais recicláveis secos gerados no estado para 20%	33
4.2. Média complexidade	37
4.2.1. Substituição de combustível fóssil por biocombustíveis.....	37
4.2.1.1. Meta 1.1. Alcançar a produção de 41 mil TJ/ano de QAv verde.....	37
4.2.2. Eficiência energética em edifícios.....	39
4.2.2.1. Meta 1.1. Elaborar e executar programa, projetos ou ações de eficiência energética nos prédios públicos do Governo estadual	40
4.2.3. Eficiência energética no transporte.....	41
4.2.3.1. Meta 1.2. Implementar as ações e projetos previstos no Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte voltados para a mobilidade ativa e de eficiência energética na logística de cargas de competência da Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte	41
4.2.4. Captura e Armazenamento de Carbono (CCS)	43
4.2.4.1. Meta 2.3. Alcançar 60% do setor de produção de biocombustíveis com unidades de captura de carbono instaladas	43
4.2.5. Geração de energia renovável.....	44
4.2.5.1. Meta 4.4. Expandir a capacidade instalada para geração de 3,1 GW até 2030 e 3,1 GW até 2050, por Usinas Termelétricas a biomassa	44
4.2.6. Reaproveitamento de biogás.....	46
4.2.6.1. Meta 5.1. Aumentar a produção e o uso de biogás e biometano para consumo energético em substituição ao consumo de energia fóssil	47
4.2.7. Reciclagem e compostagem	50
4.2.7.1. Meta 6.2. Redução da disposição final em aterro sanitário de 50% da fração orgânica dos RSU gerados no estado	51
4.3. Alta complexidade	54
4.3.1. Substituição de combustível fóssil por biocombustíveis.....	54
4.3.1.1. Meta 1.2. Estimular o uso de resíduos agroflorestais, como combustíveis, para a geração de energia	54
4.3.2. Aditivos no cimento	56
4.3.2.1. Meta 3.2. Aumentar o uso de adições e substitutos de clínquer e do uso de combustíveis alternativos na produção de cimento	56

4.3.3. Reciclagem e compostagem	58
4.3.3.1. Meta 6.1. Ampliação da coleta seletiva tríplice (recicláveis, matéria orgânica e rejeitos) e destinação para tratamento e reaproveitamento da fração orgânica dos RSU gerados no estado em 10%.....	58
• Reciclagem	59
• Compostagem.....	62
5. Recomendações.....	64
5.1. Indicadores e informações coletadas	64
5.2. Bases e ferramentas de cálculo	65
5.3. Atualização de dados e avanços metodológicos	65
5.4. Transparência dos resultados.....	65
Referências Bibliográficas	66

Índice de figuras

Figura 1 - Representação de emissões evitadas	7
Figura 2 - Os cinco passos para assegurar uma abordagem consistente de cálculo de emissões evitadas	8
Figura 3 - Critérios de classificação das metas do PLAC-MG	11
Figura 4 - Metas do PLAC-MG passíveis do cálculo de emissões evitadas	13

1. Introdução

As mudanças climáticas impõem desafios crescentes ao planejamento público, impactando diretamente a segurança hídrica, a infraestrutura urbana, os sistemas produtivos e a qualidade de vida das populações. A intensificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), associada principalmente ao uso de combustíveis fósseis, expansão urbana e padrões de produção e consumo, tem contribuído para o aumento da temperatura média global e para a amplificação de eventos climáticos extremos (IPCC, 2023). Nesse cenário, torna-se indispensável avançar na adoção de políticas e instrumentos capazes de reduzir emissões, promover maior eficiência no uso de recursos e apoiar uma transição justa para economias de baixa emissão de carbono.

O Estado de Minas Gerais (MG) assume papel de destaque ao desenvolver e implementar uma ferramenta própria de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) para políticas climáticas. Ao estruturar um sistema integrado, transparente e público para acompanhar metas, indicadores e resultados de mitigação e adaptação, o Estado se posiciona como referência entre governos subnacionais no Brasil. O MRV Climático de MG representa um avanço institucional importante: organiza informações antes dispersas, qualifica a tomada de decisão, fortalece a governança ambiental e cria bases técnicas mais sólidas para o planejamento de longo prazo. Além de apoiar o acompanhamento do Plano Estadual de Ação Climática, a iniciativa demonstra protagonismo ao alinhar o estado às melhores práticas internacionais e abrir caminho para que novas possam ser incorporadas de forma consistente, transparente e verificável.

Adicionalmente, a definição de metodologias claras e transparentes permite qualificar o desenho de políticas públicas, orientar investimentos e ampliar a credibilidade das ações implementadas. Sob esse contexto, o desenvolvimento de um *roadmap* de emissões evitadas surge como etapa complementar para organizar conceitos, processos, critérios e fluxos de cálculo, preparando o caminho para que essas estimativas possam, no futuro, ser integradas ao sistema estadual de MRV.

Nesse sentido, o objetivo deste relatório é apresentar diretrizes técnicas e operacionais para o cálculo de emissões evitadas associadas a políticas, programas e projetos priorizados. O *roadmap* busca alinhar premissas metodológicas, identificar lacunas de dados, propor indicadores e sugerir caminhos de aprimoramento contínuo, de modo a favorecer a harmonização entre diferentes iniciativas e garantir consistência nas estimativas ao longo do tempo. Ao avançar nesse processo, pretende-se fortalecer a governança climática, apoiar decisões baseadas em evidências e ampliar a transparência das ações públicas voltadas à mitigação.

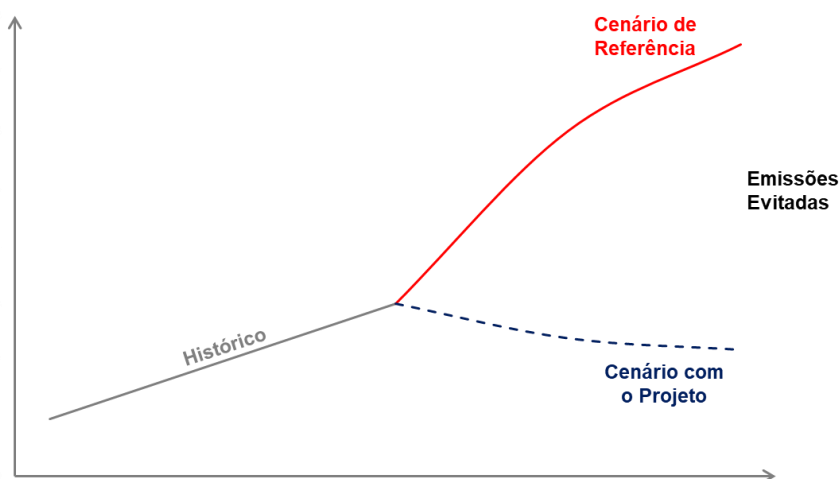
Desse modo, este relatório apresenta os fundamentos conceituais, o escopo da atividade, as etapas desenvolvidas e as principais recomendações para a consolidação do *roadmap* de emissões evitadas, tendo como horizonte sua futura incorporação ao MRV climático de Minas Gerais. Para isso, o relatório se divide em quatro capítulos, para além da presente introdução. O segundo capítulo define, de forma breve, as emissões evitadas e as contextualiza no âmbito do Plano de Ação Climática de Minas Gerais (PLAC-MG). O terceiro capítulo apresenta as metodologias de classificação das metas do PLAC-MG passíveis de mensuração de emissões evitadas, além da

metodologia adotada para classificação de baixa, média e alta complexidade. O quarto capítulo apresenta o detalhamento necessário para o cálculo de cada meta com base no nível de complexidade. O quinto capítulo descreve as recomendações e oportunidades de incorporação e melhorias nos processos para futura incorporação do cálculo de emissões evitadas no MRV Climático de MG.

2. Emissões evitadas

A compreensão das emissões evitadas de GEE é importante para apoiar o planejamento estratégico e a tomada de decisões a longo prazo. As emissões evitadas podem ser definidas como o impacto em redução de GEE que determinadas soluções contribuem quando comparadas a um cenário de referência alternativo, no qual a solução não seria utilizada. Em outras palavras, as emissões evitadas são emissões que teriam sido liberadas se uma determinada intervenção, produto ou serviço mais eficiente, não ocorresse. A Figura 1 representa a definição de emissões evitadas.

Figura 1 - Representação de emissões evitadas



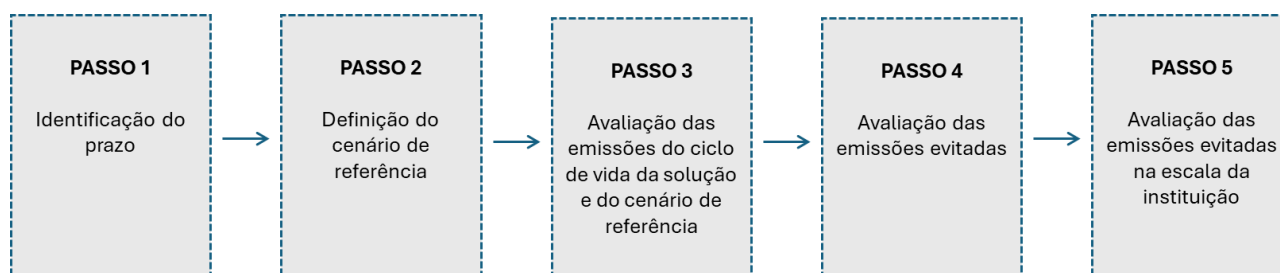
Fonte: Elaboração própria com base em WBCSD (2023).

Nesse sentido, a emissão evitada pode ser determinada como a diferença entre as emissões que teriam sido geradas sem a solução (cenário de referência ou linha de base) e as emissões de GEE geradas por ela (WBCSD, 2023).

O *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2023) destaca a importância de tal mensuração para a análise crítica e o alinhamento das estratégias e soluções institucionais em um contexto de transição para o Net Zero, ao prover um instrumento essencial para desenvolver e dimensionar soluções de descarbonização. Desse modo, a estimativa de emissões evitadas decorrentes de ações de descarbonização configura-se como uma ferramenta estratégica para a escalabilidade de soluções, bem como para a avaliação do impacto e da eficácia das metas de mitigação das mudanças climáticas.

Adicionalmente, o guia do WBSCD contempla que uma abordagem consistente de cálculo e de avaliação de emissões evitadas necessita de 5 passos, conforme representado na Figura 2. O passo inicial aborda a identificação do prazo a ser calculado, ou seja, se as emissões evitadas serão calculadas numa base de prospecção futura (todas as emissões evitadas do ciclo de vida futuro são avaliadas no ano de início da execução do projeto) ou numa base anual (as emissões evitadas são avaliadas todos os anos a partir de ano de início da execução do projeto, até ao fim da vida útil da solução). No segundo passo, define-se o cenário de referência, ou de linha de base, que deve refletir a situação sem a solução dada, com base em pressupostos reconhecidos e bem documentados. No passo 3, são realizadas as avaliações das emissões numa situação com a solução e no cenário de linha de base, onde a solução não é utilizada. O passo 4 é estabelecido por meio do cálculo da diferença de emissões de uma atividade em ambos os cenários. Por fim, o quinto passo aborda os casos em que há mais de uma solução para cálculo de emissões evitadas, de modo que nesse momento são agregadas todas as emissões avaliadas conforme os passos anteriores (WBSCD, 2023).

Figura 2 - Os cinco passos para assegurar uma abordagem consistente de cálculo de emissões evitadas



Fonte: Elaboração própria baseada em WBSCD (2023).

No caso do escopo deste projeto, propõe-se a base anual para que a avaliação possibilite o acompanhamento contínuo da meta e considerando a multiplicidade de iniciativas e o monitoramento regular dos indicadores.

2.1. Emissões evitadas no contexto do PLAC-MG

O Estado de Minas Gerais tem se destacado na realização de estudos e na implementação de políticas e ações voltadas para o enfrentamento das mudanças climáticas, passos necessários para o avanço do estado nas fases na campanha global *Race to Zero*, a exemplo do lançamento da ferramenta de MRV Climático. Nesse contexto, tem-se o Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais (PLAC-MG) com o objetivo de auxiliar na gestão climática do estado a partir da integração de ações de mitigação e adaptação, envolvendo setores como energia, transporte, resíduos, indústria, agropecuária, biodiversidade, segurança hídrica e alimentar, saúde, gestão de riscos e vulnerabilidade climática.

O PLAC-MG contempla 190 metas associadas a ações de mitigação das emissões de GEE e de enfrentamento às mudanças climáticas, orientadas à aceleração do desenvolvimento urbano de baixo carbono por meio da incorporação de novas tecnologias e inovações. Dentre essas, 130 metas apresentam vinculação direta com iniciativas de mitigação das emissões de GEE. Considerando que

as emissões evitadas constituem um instrumento estratégico para fomentar a inovação e ampliar a escala de soluções em mercados com elevado potencial de mitigação, ao viabilizar a quantificação dos benefícios climáticos, as avaliações de emissões evitadas oferecem às instituições líderes os meios necessários para o desenvolvimento e a expansão de soluções nos contextos com maior potencial de descarbonização.

Esse processo favorece a consolidação de uma nova forma de liderança climática, na qual atores pioneiros se diferenciam ao desenvolver e investir em soluções alinhadas ao alcance ao *Net Zero* (WBCSD, 2023). Nesse cenário, a avaliação das emissões evitadas associadas às ações de mitigação do PLAC-MG posiciona o Estado de Minas Gerais em evidência na agenda climática. Entretanto, para fins de comunicação, é importante ter atenção às melhores práticas para assegurar clareza e transparência. De acordo com o guia do WBCSD (2023), a comunicação de emissões evitadas deve seguir alguns princípios com o intuito de garantir total transparência das suas declarações:

- **As emissões evitadas serão sempre relatadas separadamente de:**
 - i. Pegadas de inventário de GEE
 - ii. Sumidouros de carbono
 - iii. Contribuições financeiras para a transição (redução, evasão ou remoções) fora da cadeia de valor.
- **As emissões evitadas não devem ser utilizadas para reivindicar a neutralidade de carbono e/ou emissões líquidas nulas.**
- Ao comunicar e reportar a nível da solução, deve-se fornecer a descrição e as emissões de GEE da(s) solução(s) e do(s) cenário(s) de referência em que se baseiam as emissões evitadas.
- A abordagem adotada deve ser explicitada, indicando se a perspectiva empregada é de caráter prospectivo ou se corresponde a uma avaliação anual destinada à quantificação das emissões evitadas.
- Quaisquer emissões evitadas comunicadas devem cumprir os três critérios de elegibilidade:
 - i. Credibilidade de ação climática
 - ii. Alinhamento com metodologia alinhada à ciência mais recente
 - iii. Contribuição legítima
- Quaisquer efeitos colaterais negativos identificados da(s) solução(ões) em termos de compensações ambientais e metas de sustentabilidade, além do impacto dos GEE, devem ser comunicados publicamente, assim como uma descrição das ações empreendidas para mitigar esses efeitos.

Adicionalmente, no âmbito da quantificação das emissões evitadas associadas às ações do PLAC, torna-se necessária a adoção de simplificações e delimitações metodológicas para a definição do cenário de linha de base e do cenário com a implementação das ações de mitigação. Ressalta-se que estimativas mais precisas são obtidas em nível de projeto, contudo, em função da abrangência das metas do plano, o nível de detalhamento das especificidades de cada cálculo torna-se limitado, configurando-se como um desafio adicional para o processo de mensuração no contexto do PLAC-MG.

Por fim, embora as avaliações de emissões evitadas possam integrar uma alavanca para o Net Zero, tais emissões não correspondem, necessariamente, a uma redução absoluta das emissões e, portanto, não devem ser adotadas como a única métrica de mitigação. Sua análise deve ser realizada de forma integrada ao inventário de emissões do estado, o qual possibilita a avaliação efetiva da evolução das emissões ao longo do tempo. Nesse sentido, evidencia-se a necessidade de uma abordagem analítica abrangente, fundamentada no uso combinado de múltiplos indicadores.

Dado o desafio da mensuração e a importância da sua análise, com o apoio técnico da WayCarbon, o presente projeto busca definir um *roadmap*, ou roteiro estratégico, a ser seguido para a viabilização da estimativa para as ações previstas no PLAC-MG. O *roadmap* se desdobra em cinco etapas que incluem análise das metas do PLAC-MG e dos indicadores presentes no MRV Climático do estado, avaliação das metodologias alinhadas à ciência, definição de recorte a ser considerado no cálculo, especificação dos indicadores necessários para o cálculo e, por fim, a classificação das metas conforme o nível de complexidade de implementação do cálculo.

3. Metodologias

Como abordado anteriormente, o objetivo do *roadmap* é contribuir para o desenvolvimento de uma mensuração de emissões evitadas pelas ações de mitigação definidas no PLAC, para auxiliar em avaliações de impacto da estratégia climática. Para isso, ele foi estruturado seguindo a seguinte metodologia:

1. Análise das metas: o primeiro passo envolveu a análise de todas as metas de mitigação do PLAC-MG (130 das 199) e dos indicadores presentes no MRV Climático para entender quais metas poderiam ter emissões evitadas diretamente atreladas. Ou seja, metas que representam atividades que provocam um deslocamento de emissões direto, e, com isso, poderiam ser aplicáveis ao cálculo de emissões evitadas;
2. Análise de metodologias: o segundo passo consistiu na avaliação de metodologias de cálculo existentes e, possivelmente, aplicáveis, para uso como referência de cálculo e análise de deslocamento de emissões. Foram avaliadas metodologias consolidadas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima para aprovação de projetos vinculados ao Mecanismo de Desenvolvimento limpo (MDL). Nesta etapa as metas aplicáveis foram validadas, sendo selecionadas 21;

3. Definição do recorte: com a definição das metas aplicáveis foram estabelecidos os recortes a serem considerados. Como a avaliação não será feita a nível de projeto, é necessário definir a abrangência dos cenários de linha de base e de projeto;
4. Análise de indicadores: após essa definição, é possível identificar, por meio da análise dos indicadores do MRV, quais seriam aplicáveis e pertinentes para cada cálculo. Embora a Ferramenta do MRV Climático já possua indicadores úteis para analisar emissões, pode ser necessário incluir novos indicadores para viabilizar a avaliação e/ou torná-la mais completa e precisa;
5. Estruturação do *roadmap*: Por fim, com base nas etapas anteriores, foi desenvolvida uma classificação das metas cobertas, por nível de dificuldade, que viabilizou a definição do *roadmap*, priorizando o desenvolvimento de cálculos, primeiramente, para as metas classificadas como de baixa complexidade, seguidas pelas de média complexidade e, por fim, as de alta. A metodologia de classificação é explicada a seguir.

Para a estruturação do *roadmap*, as metas abrangidas foram classificadas segundo o nível de dificuldade, considerando-se a complexidade de metodologias potencialmente aplicáveis e a existência dos dados necessários para a realização dos cálculos. A classificação seguiu os seguintes critérios:

- Baixa complexidade: existência de metodologia clara para o cálculo das emissões evitadas e disponibilidade da maior parte dos dados necessários para a execução dos cálculos.
- Média complexidade: ausência de metodologia definida para o cálculo das emissões evitadas ou falta da maioria dos dados necessários para o cálculo.
- Alta complexidade: ausência de uma metodologia definida para calcular as emissões evitadas, ou disponibilidade de metodologias com elevado grau de complexidade, somada à indisponibilidade da maior parte dos dados necessários para a realização do cálculo.

A Figura 3, a seguir, apresenta esquematicamente os critérios, considerando a atribuição dos níveis de complexidade “alto”, “médio” e “baixo” para os critérios observados.

Figura 3 - Critérios de classificação das metas do PLAC-MG

		Complexidade			
		Baixa	Média	Média	Alta
Critérios	Há metodologia clara disponível?	●	●	●	●
	Há grande parte dos dados necessários?	●	●	●	●

Fonte: Elaboração própria.

É importante ressaltar que os cálculos são realizados com base em dados e indicadores disponíveis, bem como em premissas para fins de simplificação, estando, portanto, sujeitos à acuracidade desses insumos e devendo ser interpretados em conformidade. Nesse sentido, foi conduzida uma análise crítica dos indicadores incorporados na ferramenta de MRV Climático, incluindo a avaliação da viabilidade de sua aplicação. Nesse contexto, ressalta-se que nem todos os indicadores disponíveis são adequados para a quantificação das emissões evitadas, assim como nem todas as metas dispõem dos indicadores essenciais para a realização dos cálculos, o que eleva o nível de complexidade do processo de mensuração.

As limitações e premissas associadas ao cálculo de cada meta são detalhadas nas seções correspondentes. Com base nesse delineamento, as metas foram agrupadas em 13 categorias, classificadas conforme o tipo de deslocamento das emissões, a saber:

- Eficiência energética no transporte;
- Mudança modal no transporte de carga;
- Substituição de veículos à combustão;
- Captura e Armazenamento de Carbono (CCS);
- Geração de energia renovável;
- Reaproveitamento de biogás;
- Eficiência energética na indústria;
- Reciclagem + compostagem;
- Eficiência energética em edifícios;
- Aditivos no cimento;
- Substituição de combustível fóssil por biocombustíveis;
- Consumo de energia renovável;
- Reciclagem.

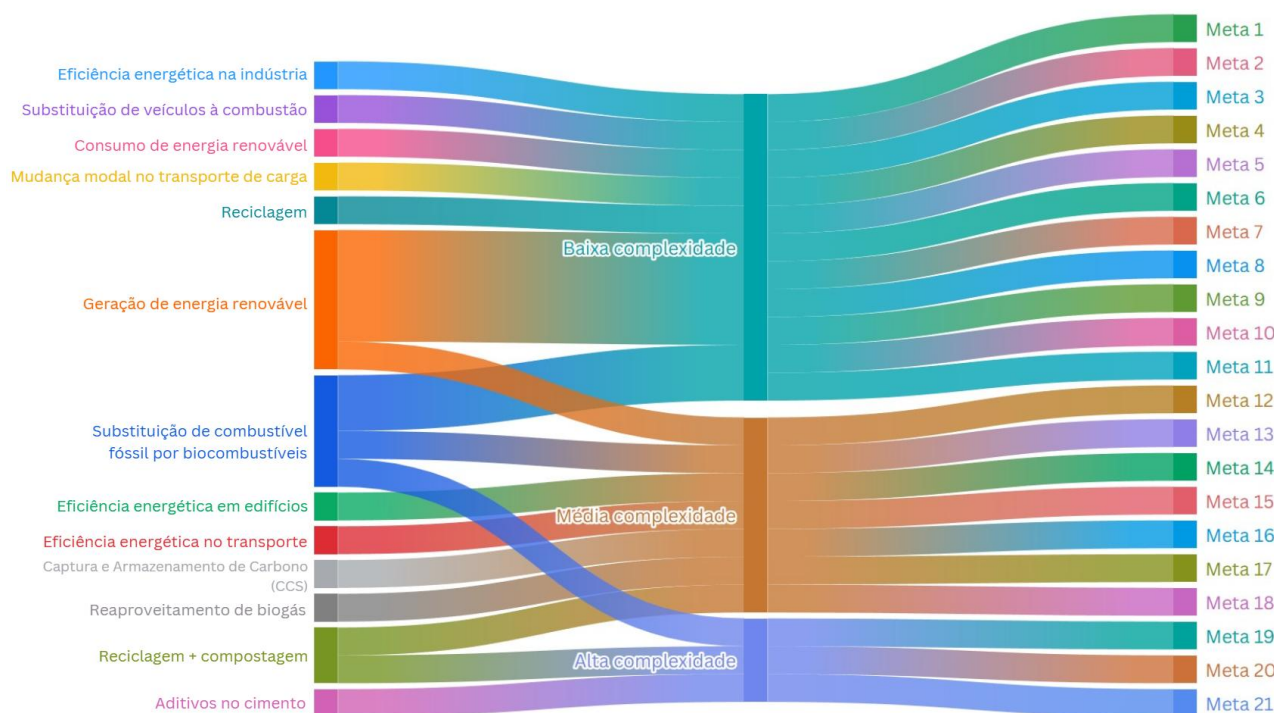
A seção a seguir apresenta as principais informações sobre cada uma das metas analisadas, por nível de complexidade e por agrupamento.

4. Resultados

Esta seção visa apresentar os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita anteriormente. Conforme detalhado, as metas foram organizadas em 13 categorias, de acordo com o tipo de deslocamento das emissões, e posteriormente classificadas por nível de complexidade. A

Figura 4 ilustra a relação entre os agrupamentos temáticos e as metas correspondentes, evidenciando a distribuição entre baixa, média e alta complexidade.

Figura 4 - Metas do PLAC-MG passíveis do cálculo de emissões evitadas



Fonte: Elaboração própria.

A partir dessa estrutura, busca-se facilitar a compreensão das etapas de análise, bem como permitir a visualização integrada das diferentes frentes de mitigação avaliadas. Nos tópicos seguintes, são apresentadas as principais informações associadas a cada meta, considerando seu enquadramento por nível de complexidade e por agrupamento temático.

4.1. Baixa complexidade

Conforme abordado, a metodologia de classificação por nível de complexidade utiliza uma abordagem baseada na disponibilidade de metodologias e de parâmetros específicos para calcular as emissões evitadas em cada recorte. Desse modo, a seguir, são apresentadas as metas consideradas de baixa complexidade de mensuração subclassificadas em agrupamentos.

4.1.1. Substituição de combustível fóssil por biocombustíveis

O grupo relacionado a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis engloba duas metas principais de baixa complexidade, sendo elas:

- 1.1. Promover a ampliação da substituição da gasolina e do diesel por biocombustíveis, ampliando em 10% sua participação na demanda energética até 2030 e em 50% até 2050

- 1.2. Alcançar a produção de 180 mil TJ/ano de diesel verde

4.1.1.1. Meta 1.1. Promover a ampliação da substituição da gasolina e do diesel por biocombustíveis, ampliando em 10% sua participação na demanda energética até 2030 e em 50% até 2050

A Meta 1.1 tem como objetivo promover a ampliação da substituição da gasolina e do diesel por biocombustíveis no setor de transporte rodoviário, aumentando em 10% a participação desses combustíveis na demanda energética até 2030 e em 50% até 2050. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.1.2.1, que busca promover a redução do uso de combustíveis fósseis no estado por meio de incentivos à utilização de biocombustíveis.

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE associadas ao consumo de combustíveis fósseis no estado. Além disso, o órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a substituição de combustíveis fósseis, gasolina ou diesel, por biocombustíveis, como etanol de cana-de-açúcar ou biodiesel, no transporte rodoviário. As metodologias direcionadoras adotadas são AMS-III.S (versão 04.0), voltada à introdução de veículos e tecnologias de baixa emissão em frotas comerciais, e do AMS-III.AK (versão 03.0), que trata da produção e do uso de biodiesel para aplicações no transporte, ambas do MDL. Tais metodologias são aplicáveis a biocombustíveis consumidos além dos regulamentos obrigatórios, ou seja, enquadram-se a produção de etanol que irá substituir a gasolina e a produção de biodiesel que irá substituir o diesel.

No cenário de linha de base, observa-se o consumo de combustíveis de origem fóssil no transporte rodoviário, resultando na emissão de GEE. Já no cenário com o projeto de mitigação, ocorre o consumo de biocombustíveis, cujas emissões de CO₂ são de origem biogênica, contribuindo para a redução líquida das emissões de GEE.

A principal premissa considerada é que os biocombustíveis comercializados são efetivamente utilizados em substituição aos combustíveis fósseis no transporte. Além disso, a exportação de combustível produzido não é elegível ao cálculo. Por fim, destaca-se que as metodologias são desenvolvidas a nível de projeto, sendo simplificadas para o cálculo a nível de tecnologia e meta.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, o parâmetro necessário é o volume anual de biocombustível comercializado, expresso em litros por ano. Entre os parâmetros já monitorados destacam-se: o volume anual de gasolina comercializada, o volume anual de óleo diesel destinado ao transporte, o volume anual de etanol comercializado, a variação do volume de etanol em relação ao ano base, a variação do volume de gasolina em relação ao ano base e a ampliação da participação percentual dos biocombustíveis na demanda energética do transporte no estado, analisada por meio de série histórica. Ressalta-se que alguns desses

indicadores são considerados relevantes para o cálculo das emissões evitadas, enquanto outros possuem caráter complementar.

Emissões evitadas

A mitigação de emissões de GEE é dada pela substituição de combustíveis fósseis com maior intensidade de carbono pelo uso de biomassa renovável. O cálculo estima as emissões no cenário de linha de base (uso de combustíveis fósseis) e as emissões no cenário de projeto (uso de biocombustíveis). A diferença entre elas é a quantidade de GEE evitada pela tecnologia da meta.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y - calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y - calculado

Emissões na linha de base

As emissões de linha de base são calculadas com base na quantidade de combustível comercial substituído. O cálculo é dado pela seguinte equação:

$$EB_y = BC_y \times PCI_{BC,y} \times FE_{CC,y}$$

Onde,

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

BC_y = quantidade de biocombustível elegível no ano y - *input*

$PCI_{BC,y}$ = poder calorífico inferior do biocombustível produzido no ano y – GHG Protocol

$FE_{CC,y}$ = fator de emissão do combustível comercial (considerando o % de biocombustível) – GHG Protocol

Entende-se por *combustível comercial* o combustível fóssil acrescido de determinado percentual de biocombustível conforme estabelecido, no caso da gasolina, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e, no caso do diesel, pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).

Esses valores percentuais são relevantes para o cálculo e devem ser monitorados. Atualmente, o teor de etanol anidro é de 27% em volume para gasolina C Comum e 25% para gasolina C premium

conforme Portaria MAPA nº 75/2015. Já o percentual de biodiesel presente no diesel é de 15%, valor vigente desde agosto de 2025. Essas especificações percentuais podem ser acompanhadas através da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)¹.

Emissões com o projeto

Para estimar as emissões do projeto, somam-se as emissões “*field-to-tank*”, emissões relacionadas ao cultivo de matéria-prima de biomassa e à produção e distribuição dos biocombustíveis, com as emissões “*tank-to-wheel*”, provenientes da combustão do biocombustível.

As emissões de CO_2 da combustão do biocombustível são biogênicas, ou seja, o gás carbônico emitido foi originalmente removido da atmosfera pelos processos de fotossíntese realizados durante o cultivo da matéria-prima da biomassa e são, portanto, desconsideradas. No entanto, as emissões de CH_4 e N_2O devem ser contabilizadas.

O cálculo das emissões no cenário com o projeto, de maneira simplificada, é obtido por meio da equação:

$$EP_y = BC_y \times FE_{BC}$$

Onde:

EP_y = emissões do projeto no ano y – calculado

BC_y = quantidade de biocombustível elegível no ano y – *input*

FE_{BC} = fator de emissão “*field-to-wheel*” do biocombustível – GHG Protocol e fontes específicas

4.1.1.2. Meta 1.2. Alcançar a produção de 180 mil TJ/ano de diesel verde

A Meta 1.2 tem como objetivo alcançar a produção de 180 mil TJ por ano de diesel verde para a substituição do diesel de origem fóssil por biocombustível avançado do tipo HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) ou o, também denominado, diesel verde. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.3.2.1, que visa fomentar a produção de biocombustíveis avançados no estado, com ênfase no bioquerosene para aviação e no diesel verde. Ademais, a Meta 1.2 se

¹ **Especificação do biodiesel:** <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/especificacao-do-biodiesel>

Especificação da gasolina: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/gasolina>

relaciona diretamente com a Meta 1.1, que trata da ampliação da substituição da gasolina e do diesel por biocombustíveis no setor de transportes.

Essa estratégia contribui para a redução das emissões de GEE associadas ao consumo de combustíveis fósseis, ao estimular a produção e o uso de combustíveis de menor intensidade de carbono. O órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a substituição do combustível fóssil diesel por biocombustível do tipo HVO. A metodologia direcionadora adotada é a ACM0017 (versão 04.0) do MDL, aplicável a projetos de produção de biocombustíveis que resultem na substituição de combustíveis fósseis. Essa metodologia permite a contabilização das reduções de emissões decorrentes do uso de biocombustíveis, cujas emissões de CO₂ são consideradas de origem biogênica, desde que o combustível produzido seja efetivamente utilizado em substituição ao diesel fóssil.

No cenário de linha de base, observa-se o consumo de diesel de origem fóssil, resultando na emissão de GEE. No cenário com o projeto de mitigação, ocorre o consumo de diesel verde (HVO), o que promove a redução líquida das emissões de GEE em função da substituição do combustível fóssil por um biocombustível de menor intensidade de carbono.

A principal premissa considerada é que o biocombustível produzido é efetivamente utilizado em substituição ao diesel fóssil. Ressalta-se ainda que, assim como destacado na meta anterior, a metodologia originalmente desenvolvida para aplicação em nível de projeto é adaptada e simplificada para fins de estimativa das emissões evitadas no nível da meta.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, o parâmetro necessário é a quantidade anual de biocombustível do tipo HVO elegível, expressa em toneladas por ano. Entre os parâmetros já monitorados destacam-se o percentual de diesel verde produzido no estado, considerado um indicador relevante para o cálculo das emissões evitadas, e as estratégias executadas para o desenvolvimento da produção de diesel verde, que possuem caráter complementar. Ressalta-se que a lista de indicadores não é exaustiva, podendo ser incorporados novos parâmetros conforme a evolução da política pública e da disponibilidade de dados.

Emissões evitadas

De forma análoga ao cálculo desenvolvido para a Meta 1.1, a meta associada à produção de diesel verde também permite a quantificação das emissões evitadas. Nesse contexto, a estimativa das emissões evitadas, bem como das emissões de linha de base e das emissões do projeto, será realizada de maneira equivalente à abordagem metodológica apresentada na seção anterior.

4.1.2. Eficiência energética na indústria

O grupo relacionado a eficiência energética na indústria engloba uma meta de baixa complexidade, sendo ela:

- 1.3. Reduzir o consumo de energia e combustíveis nos segmentos industriais através de medidas de eficiência energética.

4.1.2.1. Meta 1.3. Reduzir o consumo de energia e combustíveis nos segmentos industriais através de medidas de eficiência energética

A Meta 1.3 tem como objetivo promover a ampliação da eficiência energética nos segmentos industriais visando a redução no consumo de energia e de combustíveis na atividade. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.5.1.1, que busca promover a ampliação da eficiência energética nos empreendimentos do segmento industrial. Ademais, a Meta 1.3 relaciona-se, diretamente, com as metas 1.1, que trata da realização de ações continuadas de fomento à implementação de medidas de eficiência energética nos segmentos industriais; 1.2, voltada à provisão de instrumentos tributários, financeiros e creditícios que ampliem a viabilidade econômica de ações de eficiência energética na indústria; e 2.2, que prevê a elaboração de estudos e o apoio ao desenvolvimento de projetos, políticas e programas destinados à ampliação da eficiência energética no setor industrial.

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE associadas ao consumo de combustíveis e energia elétrica em atividades industriais no estado. Além disso, o órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera a redução no consumo de energia em processos industriais por adoção de medidas de eficiência energética. A metodologia direcionadora adotada é a AMS-II.D (versão 13.0) do MDL, aplicável a projetos de eficiência energética, como motores, caldeiras e bombas eficientes para processos industriais que resultem na economia de combustíveis e energia elétrica.

No cenário de linha de base, observa-se o elevado consumo de eletricidade proveniente do Sistema Interligado Nacional (SIN) e/ou de combustíveis em processos industriais, resultando na emissão de GEE. Já no cenário com o projeto de mitigação, ocorre a diminuição do consumo de eletricidade e/ou de combustíveis, contribuindo para a redução líquida das emissões de GEE.

A principal premissa considerada é que a produção industrial não deve sofrer redução em decorrência da diminuição do consumo energético, assegurando que os ganhos obtidos estejam associados exclusivamente ao aumento da eficiência dos processos. Adicionalmente, considera-se que a energia elétrica consumida, tanto anteriormente quanto após a implementação da atividade de projeto, é integralmente suprida pelo SIN. Assume-se, ainda, que a tecnologia de eficiência energética empregada não corresponde a equipamento transferido de outra atividade, bem como

que os equipamentos substituídos não são realocados para outras operações. Ressalta-se, por fim, que a metodologia é desenvolvida no âmbito de projetos, sendo posteriormente adaptada para o cálculo em nível de tecnologia e de meta

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, os parâmetros necessários são o tipo de combustível economizado, assim como a respectiva quantidade anual economizada, e a quantidade de energia elétrica economizada, expressa em kWh por ano. Entre os parâmetros já monitorados destaca-se a economia de energia proporcionada pelos projetos de eficiência realizados viabilizados pela Cemig como indicador relevante para o cálculo das emissões evitadas.

Emissões evitadas

O cálculo é baseado, portanto, na redução no consumo de energia por meio do uso de equipamentos mais eficientes ou outras mudanças que promovam eficiência energética, levando, assim, à redução das emissões de CO₂. De forma simplificada, a mensuração, para energia elétrica, demanda a quantidade de energia economizada (em MWh/ano) com a implementação da meta e o fator médio anual de emissão de CO₂ (em tCO₂/MWh) do Sistema Interligado Nacional do Brasil, divulgado, anualmente, pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, s.d.).

Além disso, devem ser consideradas as perdas técnicas médias de transmissão e distribuição para consumo de eletricidade, visando capturar também a redução de emissões associada à redução nas perdas, consequência da menor demanda energética. Para a inclusão das perdas, pode ser utilizado o dado de perda técnica, fornecido, anualmente, pela ANEEL (s.d.).

Dessa forma, o cálculo de redução de emissões de eficiência energética para eletricidade é dado pela equação a seguir:

$$RE = \frac{EE}{(1 - PTD)} \times FE$$

Onde:

RE: reduções de emissão ligadas à economia de energia elétrica – calculado

EE: energia elétrica economizada em decorrência da atividade de projeto, ou seja, diferença entre a eletricidade consumida anteriormente à implementação da atividade de projeto e a eletricidade consumida com a implementação da atividade de projeto (MWh/ano) – *input*

PTD: perdas técnicas médias de transmissão e distribuição para consumo de eletricidade (%) – ANEEL

FE: fator de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil (tCO₂/MWh) – MCTI

É válido destacar que, com a descarbonização da matriz elétrica nacional, a tendência é que o fator de emissão do SIN seja cada vez menor, reduzindo também o potencial de emissões evitadas por projetos de eficiência energética elétrica, ao longo do tempo.

No caso dos combustíveis, o cálculo realizado é o mesmo com exceção da consideração de perdas de transmissão. O cálculo é baseado, portanto, na redução no consumo do combustível por meio do uso de equipamentos mais eficientes ou outras mudanças que promovam eficiência energética, levando, assim, à redução das emissões de CO₂. De forma simplificada, a mensuração demanda a quantidade de combustível economizado por ano com a implementação da meta e o fator de emissão de CO₂ do combustível, disponibilizado pelo GHG Protocol.

4.1.3. Substituição de veículos à combustão

O grupo relacionado a substituição de veículos à combustão engloba uma meta de baixa complexidade, sendo ela:

- 2.1. Alcançar 900 mil veículos movidos por propulsão alternativa à combustão até 2050 na frota veicular registrada no Estado.

4.1.3.1. Meta 2.1. Alcançar 900 mil veículos movidos por propulsão alternativa à combustão até 2050 na frota veicular registrada no Estado

A Meta 2.1 tem como objetivo alcançar, até 2050, um total de 900 mil veículos movidos por propulsão alternativa à combustão na frota veicular registrada no Estado. Essa meta está inserida no grupo de substituição de veículos à combustão e visa promover a transição tecnológica no setor de transportes, com foco na redução das emissões de GEE associadas ao uso de combustíveis fósseis.

No contexto programático, a Meta 2.1 está vinculada à subação 7.1.2.2, que busca promover a ampliação de veículos movidos por propulsão alternativa à combustão na frota registrada no Estado. O órgão líder responsável pela coordenação e implementação dessa meta é a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

O recorte considerado para fins de estimativa de emissões evitadas abrange a substituição de veículos convencionais movidos a combustíveis fósseis por veículos híbridos ou elétricos. No cenário de linha de base, observa-se o consumo de combustíveis de origem fóssil pelos veículos à combustão interna, resultando na emissão de GEE. Já no cenário com o projeto de mitigação, ocorre a adoção de veículos híbridos e elétricos, com consumo de energia elétrica, o que promove a redução das emissões de GEE em função da menor intensidade de carbono associada a essa forma de propulsão.

Para a quantificação das emissões evitadas, adota-se como metodologia direcionadora a AMS-III.C (Versão 16.0) do MDL, aplicável a projetos que envolvem a introdução de veículos elétricos e híbridos em substituição a veículos convencionais. Desse modo, a mitigação de emissões é dada pela substituição de veículos movidos a gasolina e/ou etanol por veículos movidos por outras fontes

energéticas menos intensivas em carbono. Assim como nos cálculos das demais metas, trata-se de uma metodologia originalmente desenvolvida para aplicação em nível de projeto, que é adaptada e simplificada para fins de estimativa das emissões evitadas no nível da meta.

A principal premissa adotada na mensuração consiste na não incorporação de um fator anual de melhoria tecnológica no cenário de linha de base, bem como na exclusão das emissões associadas à produção dos combustíveis, sendo consideradas apenas as emissões decorrentes de seu consumo. Ademais, o cálculo não se aplica à aquisição de veículos leves comerciais e, no caso dos veículos híbridos, é considerado o ganho de eficiência no rendimento energético.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrentes dessa ação, os parâmetros necessários incluem a variação anual na quantidade total de veículos híbridos e elétricos e a distância anual média percorrida pelos veículos, expressa em quilômetros por ano. Entre os parâmetros já monitorados destacam-se o número de veículos movidos à combustão na frota veicular emplacada no Estado, o número de veículos movidos por propulsão alternativa à combustão na frota registrada e a representatividade desses veículos no contexto estadual. Ressalta-se que a lista de indicadores não é exaustiva, podendo ser incorporados novos parâmetros conforme a evolução da política pública e a ampliação da disponibilidade de dados.

Emissões evitadas

A mitigação de emissões de GEE é dada pela substituição de combustíveis fósseis com maior intensidade de carbono. O cálculo estima as emissões no cenário de linha de base (uso de combustíveis fósseis) e as emissões no cenário de projeto (uso de propulsão alternativa). A diferença entre elas é a quantidade de GEE evitada pela tecnologia da meta.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y – calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

As emissões de linha de base são calculadas com base na utilização de veículos de passeio comparáveis, possivelmente mais intensivo em GEE, que seriam utilizados para fornecer o mesmo serviço de transporte. Para esse cenário, considera-se o rendimento médio e o fator de emissão médio para carros de passeio. Para tanto, considera-se os percentuais da frota circulante de automóveis de passeio por tipo de combustível em Minas Gerais, além de 30% de etanol hidratado e 70% de gasolina comum para os veículos flex. Desse modo, o cálculo é dado por:

$$E_{BL,y} = n_{i,y} \times DD_{i,y} \times \frac{1}{R_{BL}} \times FE_{BL}$$

$E_{BL,y}$: Emissões no cenário de linha de base no ano avaliado, em tCO₂/ano – calculado

$n_{i,y}$: Quantidade total de veículos do projeto operacionais na categoria i no ano avaliado – *input*

$DD_{i,y}$: Distância anual média percorrida pelos veículos da categoria i no ano avaliado, em km/ano – *input*

R_{BL} : Rendimento energético médio para carros de passeio, em km/L – fontes específicas

FE_{BL} : Fator de emissão médio para carros de passeio, em gCO₂/L, estimado com base na frota circulante de automóveis de passeio por tipo de combustível em Minas Gerais, além de 30% de etanol hidratado e 70% de gasolina comum para os veículos flex – GHG Protocol

Emissões com o projeto

Por fim, as emissões no cenário com projeto consideram o consumo de eletricidade e combustíveis associado à operação dos veículos do projeto. Desse modo, o cálculo é realizado de modo análogo ao realizado na linha de base, porém, considera-se o ganho de eficiência no rendimento energético. Além disso, utilizou-se o fator de emissão da rede de distribuição de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional, em caso de aquisição de veículos elétricos e o fator de emissão de veículos híbridos. Para os veículos híbridos, considera-se 30% de etanol hidratado e 70% de gasolina comum para os veículos flex.

4.1.4. Consumo de energia renovável

O grupo relacionado ao consumo de energia renovável engloba apenas uma meta de baixa complexidade, sendo ela:

- 2.1. Em todas as edificações públicas do Governo estadual, 100% da energia elétrica consumida ter origem em fonte renovável, por autogeração ou através da comercialização.

4.1.4.1. Meta 2.1. Em todas as edificações públicas do Governo estadual, 100% da energia elétrica consumida ter origem em fonte renovável, por autogeração ou através da comercialização

A Meta 2.1 tem como objetivo promover a ampliação da substituição do consumo de energia elétrica por energia elétrica totalmente de origem renovável, por autogeração ou por comercialização, nas edificações públicas. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.3.2.2, que busca fomentar o consumo de energia elétrica de fonte renovável em edificações públicas.

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE associadas ao consumo de energia elétrica no estado. Além disso, o órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão de Minas Gerais (SEPLAG).

Para o cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a substituição do consumo de energia do SIN por energia renovável. No cenário de linha de base, observa-se o consumo de energia elétrica do SIN, que não é 100% de origem renovável, resultando na emissão de GEE. Já no cenário com o projeto de mitigação, ocorre o consumo de energia de fonte totalmente renovável, contribuindo para a redução das emissões de GEE. A metodologia direcionadora adotada é AMS-III.AE. (versão 02.0) do MDL, voltada à introdução de tecnologias de eficiência energética e consumo de energia renovável. Essa metodologia é aplicável apenas à determinação das emissões evitadas associadas a alterações no consumo de eletricidade da rede entre instalações do projeto e as instalações de referência (linha de base). Ressalta-se que, para possibilitar o cálculo a nível de meta, pode ser necessário simplificações e adoção de premissas específicas.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, o parâmetro necessário é a variação anual no consumo de energia renovável, expresso em MWh por ano. Entre os parâmetros já monitorados destacam-se o percentual de consumo de energia proveniente de fontes renováveis em edificações públicas do Governo estadual e o percentual de energia elétrica contratada proveniente de fontes renováveis. De tais indicadores, o primeiro é considerado relevante para o cálculo de emissões evitadas, enquanto o segundo possui caráter complementar para o acompanhamento da meta.

Emissões evitadas

A mitigação de emissões de GEE é dada pela substituição de energia elétrica distribuída pelo SIN para o uso de energia renovável. O cálculo estima as emissões no cenário de linha de base e as emissões no cenário de projeto. A diferença entre elas é a quantidade de GEE evitada pela tecnologia da meta.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y – calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

Para projetos onde a energia consumida é proveniente do SIN as emissões no cenário base são estimadas pela equação:

$$EB_y = \left(\frac{EG_{BL,y} \times FE_{CO_2,y}}{1 - PTD} \right)$$

Onde:

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y (tCO_2e) – calculado

$EG_{BL,y}$ = quantidade de energia deslocada devido à implementação do projeto, ou seja, quantidade de energia gerada pelo projeto financiado, no ano de atividade y (MWh/ano) – *input*

$FE_{CO_2,y}$ = fator de emissão da rede (SIN) – MCTI

PTD = perdas técnicas médias de transmissão e distribuição para consumo de eletricidade – ANEEL

Emissões com o projeto

As emissões associadas a projetos relacionados ao consumo de energia proveniente de fontes solar, eólica e hidrelétrica são consideradas nulas. Adicionalmente, o consumo de energia a partir de biomassa não é considerado no cálculo desta meta.

4.1.5. Geração de energia renovável

O grupo relacionado à geração de energia renovável engloba quatro metas de baixa complexidade, sendo elas:

- 3.1. 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;
- 4.1. Expandir a capacidade instalada para geração de 5,9 GW até 2030 e 18,9 GW até 2050, através de Usinas Fotovoltaicas centralizadas;
- 4.2. Expandir a capacidade instalada para geração de 4,3 GW até 2030 e 13,5 GW até 2050, através da Geração Distribuída – Solar FV;
- 4.3. Expandir a capacidade instalada para geração de 0,2 GW até 2030 e 0,7 GW até 2050, através da Geração Distribuída – Hidro.

4.1.5.1. Meta 3.1. 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 Meta 3.1 tem como objetivo ampliar a capacidade instalada de autogeração de energia elétrica a partir de fontes renováveis em consumidores de grande porte, bem como fomentar a cogeração

com fonte não fóssil e o aproveitamento de energia residual na indústria. Essa meta busca promover a substituição do consumo de energia elétrica proveniente do SIN por geração própria de origem renovável no setor industrial. Essa estratégia contribui para a redução das emissões de GEE ao incentivar a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis em substituição à energia do SIN, cuja matriz não é integralmente renovável.

Adicionalmente, a meta está associada à subação 7.3.2.3, que visa fomentar a autogeração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, a cogeração com fonte não fóssil e o uso de energia residual na indústria. O órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

Para o cálculo das emissões evitadas, o recorte da meta considera a geração de energia elétrica renovável em substituição ao consumo de energia elétrica do SIN. No cenário de linha de base, observa-se o consumo de energia elétrica proveniente do SIN, resultando na emissão de GEE. No cenário com o projeto de mitigação, ocorre a geração de energia renovável por meio de sistemas de autogeração e/ou de cogeração com fonte não fóssil e aproveitamento de energia residual, promovendo a redução das emissões de GEE.

As metodologias direcionadoras adotadas são a ACM0002 (versão 22.0) e a AMS-I.F (versão 01.0) do MDL, aplicáveis a projetos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, tanto conectados à rede quanto destinados ao consumo cativo. Ressalta-se que essas metodologias são originalmente desenvolvidas para aplicação em nível de projeto e, para fins de estimativa das emissões evitadas no nível da meta, requerem adaptações, simplificações e a adoção de premissas específicas.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrentes da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade de energia elétrica gerada anualmente, expressa em megawatt-hora por ano (MWh/ano), ou, alternativamente, a capacidade instalada e o fator de geração dos sistemas de autogeração e cogeração. Entre os parâmetros já monitorados destacam-se a potência outorgada de cogeração qualificada no Estado e a potência outorgada de autogeração ou de autoconsumo remoto, ambos considerados indicadores relevantes para o cálculo das emissões evitadas.

Emissões evitadas

A mitigação de emissões de GEE é dada pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto. O cálculo estima a quantidade de GEE evitada pelo deslocamento do consumo de energia elétrica que seria, em um cenário de linha de base, fornecida por meios mais intensivos em GEE.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y – calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

No caso da energia gerada ser consumida no ponto de geração, as emissões no cenário base são estimadas pela equação a seguir:

$$EB_y = EG_{BL,y} \times FE_{CO_2,y}$$

Onde:

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y (tCO_2e) – calculado

$EG_{BL,y}$ = quantidade de energia deslocada devido à implementação do projeto, ou seja, quantidade de energia gerada pelo projeto financiado, no ano de atividade y (MWh/ano) – input

$FE_{CO_2,y}$ = fator de emissão da rede (SIN) – MCTI

Por outro lado, se a energia gerada for distribuída pelo SIN, o fator de perda técnica durante a transmissão de energia na rede deve ser considerado.

Emissões do projeto

As emissões associadas a projetos relacionados ao consumo de energia proveniente de fontes solar, eólica e hidrelétrica são consideradas nulas. Adicionalmente, caso o cenário com o projeto de mitigação considere a geração de energia a partir de biomassa, as emissões de gases do ciclo de vida da biomassa são consideradas no cálculo, assim como os gases emitidos pela sua queima para a geração de energia. Para fins de simplificação metodológica, adotam-se dados representativos da biomassa de cana-de-açúcar, em razão de sua ampla utilização. Dessa forma, as emissões de projeto são calculadas pela equação demonstrada abaixo:

$$EP_y = EG_{BL,y} \times FE_{ciclo} + EG_{BL,y} \times FE_{consumo}$$

Onde:

EP_y = emissões do projeto no ano y – calculado

$EG_{BL,y}$ = quantidade de energia deslocada devido à implementação do projeto, ou seja, quantidade de energia gerada pelo projeto financiado, no ano de atividade y – *input*

FE_{ciclo} = fator de emissão pelo ciclo de vida do bagaço de cana (*Cradle to Gate*) – calculado e fontes específicas

$FE_{consumo}$ = emissão pelo consumo do bagaço de cana na geração de energia – GHG Protocol

4.1.5.2. Meta 4.1. Expandir a capacidade instalada para geração de 5,9 GW até 2030 e 18,9 GW até 2050, através de Usinas Fotovoltaicas centralizadas

A Meta 4.1 tem como objetivo expandir a capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir de usinas fotovoltaicas centralizadas, alcançando 5,9 GW até 2030 e 18,9 GW até 2050. Essa ampliação busca fortalecer a participação da energia solar na matriz elétrica, promovendo a substituição de fontes parcialmente fósseis por fontes renováveis e contribuindo diretamente para a mitigação das emissões de GEE. Ademais, a meta está associada à subação 7.3.2.4, que trata da expansão da capacidade instalada de geração elétrica por meio de fontes limpas. O órgão líder responsável pela coordenação e implementação dessa meta é a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

Para o cálculo das emissões evitadas, o recorte da meta considera a geração de energia renovável solar fotovoltaica conectada à rede, que desloca a geração de eletricidade de origem parcialmente fóssil no SIN. No cenário de linha de base, a demanda por eletricidade é suprida pelo SIN, resultando em emissões de GEE. Já no cenário de projeto, essa demanda passa a ser atendida por energia elétrica proveniente de usinas fotovoltaicas centralizadas, o que leva à redução das emissões de GEE.

Adicionalmente, a metodologia direcionadora adotada é a ACM0002 (versão 22.0) do MDL, aplicável a projetos de geração de eletricidade renovável conectados à rede. Essa metodologia orienta a quantificação das emissões evitadas a partir da substituição da eletricidade da rede por geração renovável. Ressalta-se que, para viabilizar o cálculo no nível de meta, podem ser necessárias simplificações metodológicas e a adoção de premissas específicas.

Para o monitoramento das emissões evitadas associadas à meta, são considerados como parâmetros necessários a quantidade de energia gerada anualmente ou, alternativamente, a capacidade instalada combinada com o fator de geração. Entre os parâmetros já monitorados, destacam-se a capacidade instalada de geração de eletricidade em usinas fotovoltaicas centralizadas em Minas Gerais e a capacidade instalada total de geração de eletricidade no estado, ambos considerados relevantes para o cálculo das emissões evitadas. Já o indicador da representatividade da capacidade instalada de energia fotovoltaica em relação ao total estadual possui caráter complementar e não é diretamente utilizada no cálculo das emissões evitadas.

Emissões evitadas

De modo análogo às emissões evitadas pela Meta 3.1, a mitigação de emissões de GEE da Meta 4.1 é dada pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto. O cálculo estima a quantidade de GEE evitada pelo deslocamento do consumo de energia elétrica que seria, em um cenário de linha de base, fornecida por meios mais intensivos em GEE.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y – calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

O cenário de linha de base deve considerar que a energia gerada será distribuída na rede, portanto, o fator de perda técnica durante a transmissão de energia na rede deve ser considerado. Desse modo, as emissões no cenário base são estimadas pela equação:

$$EB_y = EG_{BL,y} \times FE_{CO_2,y} \times (1 - PTD)$$

Onde:

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y (tCO_2e) – calculado

$EG_{BL,y}$ = quantidade de energia deslocada devido à implementação do projeto, ou seja, quantidade de energia gerada pelo projeto financiado, no ano de atividade y (MWh/ano) – *input*

$FE_{CO_2,y}$ = fator de emissão da rede (SIN) – MCTI

PTD = perdas técnicas médias de transmissão e distribuição para consumo de eletricidade – ANEEL

Emissões do projeto

As emissões associadas a projetos relacionados ao consumo de energia proveniente de fontes solar fotovoltaica são consideradas nulas.

4.1.5.3. Meta 4.2. Expandir a capacidade instalada para geração de 4,3 GW até 2030 e 13,5 GW até 2050, através da Geração Distribuída – Solar FV

A Meta 4.2 tem como objetivo expandir a capacidade instalada para geração de 4,3 GW até 2030 e 13,5 GW até 2050, por meio da Geração Distribuída – Solar Fotovoltaica (FV). No contexto programático, a meta está associada à subação 7.3.2.4, que busca expandir a capacidade instalada de geração elétrica através de fontes limpas. Essa estratégia foca na geração de energia renovável solar fotovoltaica, visando deslocar energia de origem parcialmente fóssil e, conseqüentemente, reduzir as emissões de GEE no estado. O órgão líder responsável pela implementação e coordenação desta meta, assim como nas demais metas relacionadas a geração de energia renovável, é a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

Para o cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a geração de energia renovável solar fotovoltaica. No cenário linha de base, observa-se o uso de energia elétrica proveniente do SIN, o que resulta em emissões de GEE. Já no cenário com o projeto, ocorre a geração e consumo de energia renovável, contribuindo diretamente para a redução das emissões de GEE. A metodologia direcionadora adotada é a AMS-I.F. (versão 01.0), aplicável para determinar as reduções de emissões por meio da geração de eletricidade renovável para uso cativo ou em mini-redes.

Para o monitoramento e cálculo das emissões evitadas decorrentes da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade de energia gerada anualmente ou, alternativamente, a capacidade instalada combinada ao fator de geração. Entre os parâmetros já monitorados, destaca-se a capacidade instalada em geração de energia fotovoltaica por usinas de geração distribuída como relevante ao cálculo.

Emissões evitadas

De modo análogo às emissões evitadas pelas Metas 3.1 e 4.1, a mitigação de emissões de GEE da Meta 4.2 é dada pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto. O cálculo estima a quantidade de GEE evitados pelo deslocamento do consumo de energia elétrica que seria, em um cenário de linha de base, fornecida por meios mais intensivos em GEE.

Emissões na linha de base

O cenário de linha de base deve considerar que a energia gerada no projeto será consumida no ponto de geração, as emissões no cenário base são estimadas pela equação:

$$EB_y = EG_{BL,y} \times FE_{CO_2,y}$$

Onde:

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y (tCO_2e) – calculado

$EG_{BL,y}$ = quantidade de energia deslocada devido à implementação do projeto, ou seja, quantidade de energia gerada pelo projeto financiado, no ano de atividade y (MWh/ano) – input

$FE_{CO_2,y}$ = fator de emissão da rede (SIN) – MCTI

Emissões do projeto

De modo semelhante ao realizado nas metas de geração de energia renovável abordadas anteriormente, as emissões associadas a projetos relacionados ao consumo de energia proveniente de fontes solar fotovoltaica são consideradas nulas.

4.1.5.4. Meta 4.3. Expandir a capacidade instalada para geração de 0,2 GW até 2030 e 0,7 GW até 2050, através da Geração Distribuída – Hidro

A Meta 4.2 tem como objetivo expandir a capacidade instalada para geração de 0,2 GW até 2030 e 0,7 GW até 2050, por meio da Geração Distribuída – Hidráulica. No contexto programático, a meta também está associada à subação 7.3.2.4, que busca expandir a capacidade instalada de geração elétrica através de fontes limpas. Essa estratégia foca na geração de energia renovável hidrelétrica visando deslocar energia de origem parcialmente fóssil e, conseqüentemente, reduzir as emissões de GEE no estado. O órgão líder responsável pela implementação e coordenação desta meta, assim como nas demais metas relacionadas a geração de energia renovável, é a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

Para o cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a geração de energia renovável hidráulica. De modo análogo à Meta 4.1, o cenário linha de base considera o uso de energia elétrica proveniente do SIN, o que resulta em emissões de GEE. Já no cenário com o projeto, ocorre a geração e consumo de energia renovável, contribuindo diretamente para a redução das emissões de GEE. A metodologia direcionadora adotada é a AMS-I.F. (versão 01.0), aplicável para determinar as reduções de emissões por meio da geração de eletricidade renovável para uso cativo ou em mini-redes.

Além disso, para o monitoramento e cálculo das emissões evitadas decorrentes da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade de energia gerada anualmente ou, alternativamente, a capacidade instalada combinada ao fator de geração. Entre os parâmetros já monitorados, destaca-se a capacidade instalada em geração de energia hidráulica por usinas de geração distribuída como relevante ao cálculo.

Emissões evitadas

De modo semelhante às emissões evitadas pela 4.2, a mitigação de emissões de GEE da Meta 4.3 é dada pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto. Ademais, as emissões de linha de base devem ser determinadas de modo similar ao abordado na Meta 4.2. Já

as emissões no cenário com o projeto de mitigação com geração de energia elétrica em hidrelétrica devem ser consideradas nulas.

4.1.6. Mudança modal no transporte de carga

O grupo relacionado a mudança modal no transporte de carga engloba apenas uma meta de baixa complexidade, sendo ela:

- 3.3. Atingir, para o transporte de carga, uma transição do uso do modal rodoviário para o ferroviário de 30%.

4.1.6.1. Meta 3.3. Atingir, para o transporte de carga, uma transição do uso do modal rodoviário para o ferroviário de 30%

A Meta 3.3 tem como objetivo atingir, no transporte de carga, uma transição de 30% do uso do modal rodoviário para o modal ferroviário, promovendo uma mudança estrutural na matriz de transporte de cargas no Estado. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.1.1.3, que visa requalificar e reativar linhas férreas, bem como ampliar a quantidade de passageiros e cargas transportadas por ferrovia.

Essa estratégia contribui para a redução das emissões de GEE ao incentivar a mudança modal no transporte de carga, uma vez que o transporte ferroviário apresenta maior eficiência energética e menor intensidade de emissões quando comparado ao transporte rodoviário. A meta também se relaciona diretamente com a Meta 3.2, voltada à promoção da requalificação e reativação da rede ferroviária. O órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade de Minas Gerais (Seinfra).

Para o cálculo das emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a substituição do transporte de cargas realizado por caminhões pelo transporte ferroviário. No cenário de linha de base, observa-se o transporte de carga predominantemente por meio rodoviário, com consumo de combustível fóssil e, por consequência, alta emissão de GEE. No cenário com o projeto de mitigação, parte desse transporte passa a ser realizado por meio ferroviário, resultando na redução das emissões de GEE em função do aumento da eficiência energética no transporte de cargas.

A metodologia direcionadora adotada é a AM0090 (versão 01.1.0), aplicável a projetos que promovem a mudança modal do transporte de cargas de rodovias para ferrovias ou hidrovias. Ressalta-se que, assim como nas demais metas, a metodologia é originalmente desenvolvida para aplicação em nível de projeto e, para fins de estimativa das emissões evitadas no nível da meta, são necessárias adaptações, simplificações e a adoção de premissas específicas.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrentes da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade anual e o tipo de carga transportada por quilômetro na ferrovia, expressos em toneladas-quilômetro útil por ano (TKU/ano), bem como o consumo anual de combustível fóssil e de eletricidade associados ao transporte ferroviário. Entre os parâmetros já

monitorados destacam-se o percentual da malha metroferroviária construída ou requalificada, o percentual de investimento ferroviário em relação ao investimento rodoviário e a variação percentual da movimentação de cargas nos modais ferroviário e rodoviário. Desses indicadores, a variação da movimentação de carga é considerada relevante para o cálculo das emissões evitadas, enquanto os demais possuem caráter complementar para o acompanhamento da implementação da política pública. Ressalta-se que a lista de indicadores não é exaustiva, podendo ser ampliada conforme a evolução da meta e a disponibilidade de dados.

Emissões evitadas

A mitigação de emissões de GEE é dada pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto. O cálculo estima a redução de emissões ao subtrair as emissões do projeto (derivadas do consumo de combustíveis no novo modal) das emissões de linha de base (associadas ao transporte rodoviário menos eficiente).

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y – calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

As emissões de linha de base, provenientes do transporte de carga, são calculadas considerando a quantidade de carga transportada no âmbito da atividade de projeto, a distância percorrida na rota de viagem de linha de base (ou seja, a distância entre a origem e o destino para o transporte de carga por caminhões) e um fator de emissão de linha de base em gCO₂ por quilômetro e tonelada de carga transportada. Assim, emissões de linha de base são calculadas da seguinte forma:

$$EB_y = T_y \times AD \times EF_{BL} \times 10^{-6}$$

Onde:

EB_y = Emissões de linha de base (tCO₂) – calculado

T_y = Quantidade de carga transportada pelo modo de transporte do projeto (toneladas) – *input*

AD = Distância da rota de viagem da linha de base (km) – *input*

EF_{BL} = Fator de emissão de referência para transporte de carga (gCO₂ por tonelada.km, ou seja, gCO₂ por tonelada de carga e km percorridos) – GHG Protocol e fontes específicas

Emissões com o projeto

As emissões no cenário com o projeto de mitigação incluem as emissões resultantes do consumo de combustíveis fósseis e eletricidade nos trens. As emissões do projeto são calculadas da seguinte forma:

$$EP_y = (EP_{FC,y} + EP_{EC,y}) \times F_{RT,PJ,y}$$

Onde:

EP_y = Emissões do projeto (tCO₂) – *calculado*

$EP_{FC,y}$ = Emissões do projeto provenientes da queima de combustíveis fósseis na atividade de projeto (tCO₂), calculadas com base na quantidade de combustível consumida e no respectivo fator de emissão – *calculado* $EP_{EC,y}$ = Emissões do projeto provenientes do consumo de eletricidade na atividade de projeto (tCO₂), calculadas com base na quantidade de eletricidade consumida e no fator de emissão do SIN – *calculado*

$F_{RT,PJ,y}$ = Fator para contabilizar viagens de retorno não vazias no cenário do projeto (fração), calculado com base na quantidade de carga transportada – *calculado*

4.1.7. Reciclagem

O grupo relacionado a reciclagem engloba apenas uma meta de baixa complexidade, sendo ela:

- 5.1. Aumentar a recuperação dos materiais recicláveis secos gerados no estado para 20%.

4.1.7.1. Meta 5.1. Aumentar a recuperação dos materiais recicláveis secos gerados no estado para 20%

A Meta 5.1 tem como objetivo aumentar a recuperação dos materiais recicláveis secos gerados no estado para 20%. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.4.2.5, que busca fomentar os programas de reciclagem e coleta seletiva dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) nos municípios. Além disso, esta meta possui relação direta com outras ações, como a promoção de parcerias com cooperativas de catadores (Meta 1.1), melhoria de infraestrutura e equipamentos (Meta 2.1) e o fortalecimento do Programa Bolsa Reciclagem (Metas 3.1 e 3.2).

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE por meio do aumento do percentual de recuperação e reciclagem de resíduos sólidos. O órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD/SUSAN).

Para o cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera o aumento na recuperação e reciclagem de RSU. No cenário linha de base, observa-se o consumo de energia e matérias-primas na produção de novos materiais, o que resulta na emissão de GEE. Já no cenário com o projeto de mitigação, ocorre a reciclagem que resulta em menor consumo de energia e insumos, contribuindo para a redução das emissões de GEE. A metodologia direcionadora adotada é a AMS-III.AJ. (versão 09.0), aplicável a atividades que envolvam a recuperação e reciclagem de materiais em RSU para processá-los em produtos intermediários ou acabados, substituindo a produção de matérias-primas virgens em instalações dedicadas, evitando, assim, o uso de energia.

A principal premissa considerada, no caso do cálculo associado à meta, é de que, devido a uma possível limitação de informações, as emissões de projeto associadas a energia necessária para os processos de reciclagem e compostagem possivelmente não seriam consideradas, logo, o cálculo seria menos conservador.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrentes da ação prevista na meta, o parâmetro necessário é o volume anual de cada material a ser reciclado. Entre os parâmetros já monitorados, destacam-se:

- Quantidade de resíduos de metal encaminhados para reciclagem;
- Quantidade de resíduos de papel encaminhados para reciclagem;
- Quantidade de resíduos de plástico encaminhados para reciclagem;
- Quantidade de resíduos de vidro encaminhados para reciclagem;
- Percentual de recuperação dos materiais recicláveis secos gerados no estado.

Dos indicadores citados, as quantidades por tipo de material (metal, plástico e vidro) são consideradas relevantes para o cálculo de emissões evitadas, enquanto o percentual global de recuperação é considerado um indicador de acompanhamento da meta, não sendo diretamente relevante para o cálculo das emissões evitadas.

Emissões evitadas

A redução das emissões alcançada pela atividade do projeto será determinada como a diferença entre as emissões de linha de base e as emissões do projeto.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y - calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y - calculado

Emissões na linha de base

As emissões de linha de base incluem:

- (a) Para a produção de plástico, as emissões associadas ao consumo de energia para a produção de plástico a partir de materiais virgens;
- (b) Para a produção de vidro, as emissões associadas ao consumo de energia para a produção de vidro virgem para embalagens, correspondente à preparação e mistura de matérias-primas antes da etapa de fusão;
- (c) Para a produção de metais, as emissões associadas ao consumo de energia para a produção a partir de materiais virgens.

As emissões de linha de base são determinadas seguindo a seguinte equação:

$$EB_y = EB_{plástico,y} + EB_{metal,y} + EB_{vidro,y}$$

Onde,

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

$EB_{plástico,y}$ = emissões de linha de base associadas à reciclagem de plástico no ano y - calculado

$EB_{metal,y}$ = emissões de linha de base associadas à reciclagem de metal no ano y - calculado

$EB_{vidro,y}$ = emissões de linha de base associadas à reciclagem de vidro no ano y - calculado

As fórmulas para o cálculo das emissões de cada componente são dadas pelas seguintes equações:

$$EB_{plástico,y} = \sum [Q_{i,y} \times L_i \times (SEC \times EF_e + SFC \times EF_{GN})]$$

$$EB_{metal,y} = \sum Q_{i,y} \times SE_i$$

$$EB_{vidro,y} = Q_{vidro,y} \times L_{vidro} \times SEC_{BL,vidro} \times EF_e$$

Sendo:

i = Índices para tipo de material i ($i = 1,2$ para ABS e HIPS)

$Q_{i,y}$ = Quantidade de material tipo i reciclado e enviado para processamento no ano y (t) - *input*

L_i = Fator de ajuste líquido/bruto para compensar a degradação da qualidade do material e a perda de material no processo de produção do produto final utilizando material reciclado (utilizar 0,75) – fornecido pela metodologia

SE_i = Fator de emissão específico para produção do material i , medido em tCO₂e/t – calculado ou fornecido pela metodologia

Para os plásticos, é necessário calcular o fator de emissão específico conforme apresentado a seguir:

$$SE_i = SEC \times EF_e + SFC \times EF_{GN}$$

O fator de emissão específico para a produção do plástico é influenciado pelo consumo de energia elétrica (SEC) e de gás natural (SFC) para produção do plástico. Para tanto, pode-se utilizar os valores de consumo específico de energia e combustível para a produção de diferentes tipos de plásticos a partir de matérias-primas virgens fornecidos pela metodologia, o fator de emissão da rede do Sistema Interligado Nacional (EF_e) fornecido pelo MCTI e o fator de emissão do gás natural (EF_{GN}) disponível no GHG Protocol.

Para os metais a metodologia fornece, diretamente, o fator SE_i : 8,40 para alumínio e 1,27 para aço.

Para as emissões da reciclagem do vidro, são considerados o volume anual de vidro reciclado ($Q_{vidro,y}$), o fator de ajuste para cobrir a degradação da qualidade do material e a perda de material no processo de produção do produto final utilizando o material reciclado de 0,88 (L_{vidro}), consumo de energia elétrica ($SEC_{BL,vidro}$) indicado pela metodologia (0,026 MWh/t) e fator de emissão da rede elétrica no SIN (EF_e).

Emissões com o projeto

As emissões do projeto incluem as emissões associadas ao consumo de energia na unidade de reciclagem e na unidade de processamento, e são calculadas com base na equação abaixo. Para esse cálculo é necessário saber a quantidade de energia consumida para a reciclagem dos materiais para que seja multiplicada pelo respectivo fator de emissão.

A fórmula para o cálculo das emissões no projeto é apresentada a seguir:

$$EP_y = EC_{PJ,y} \times EF_e + \sum (FC_{f,PJ,y} \times NCV_{f,y} \times EF_{CO_2,y})$$

$EC_{PJ,y}$ = eletricidade consumida pela instalação de reciclagem no ano y (MWh) - *input*

$FC_{f,PJ,y}$ = combustível tipo f consumido pela instalação de reciclagem no ano y (unidade de massa ou volume/t) - *input*

$NCV_{f,y}$ = Poder calorífico inferior do combustível fóssil tipo f consumido na instalação de reciclagem no ano y (GJ/unidade de massa ou volume) – dado de fontes conhecidas (BEN)

$EF_{CO_2,y}$ = fator de emissão para o combustível fóssil tipo f consumido na instalação de reciclagem no ano y (tCO_2/GJ) – dado de fontes conhecidas (GHG Protocol)

Alternativamente, para plásticos, a metodologia permite o uso da seguinte equação:

$$PE_y = \sum Q_{i,y} \times SEC_{rec} \times EF_e$$

SEC_{rec} = O consumo específico de eletricidade para a reciclagem de plástico tipo i, use 0,83 MWh/t (3 GJ/t) para HDPE/LDPE/PET/PVC/PP.

4.2. Média complexidade

Conforme destacado nas seções anteriores, a metodologia de classificação por nível de complexidade utiliza uma abordagem baseada na disponibilidade de metodologias e de parâmetros específicos para calcular as emissões evitadas em cada recorte. Desse modo, a seguir, são apresentadas as metas consideradas de média complexidade de mensuração subclassificadas em agrupamentos. Ressalta-se, portanto, que as metas abordadas nessa seção se caracterizam ou pela disponibilidade de dados sem a correspondente estrutura metodológica direta, ou pela alta complexidade desta, para a mensuração de emissões evitadas ou pela existência de uma metodologia clara cuja execução é inviabilizada pela atual indisponibilidade de parte representativa dos indicadores de monitoramento relevantes ao cálculo.

4.2.1. Substituição de combustível fóssil por biocombustíveis

O grupo relacionado a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis engloba apenas uma meta de média complexidade, sendo ela:

- 1.1. Alcançar a produção de 41 mil TJ/ano de QAV verde.

4.2.1.1. Meta 1.1. Alcançar a produção de 41 mil TJ/ano de QAV verde

A Meta 1.1 consiste em alcançar a produção anual de 41 mil TJ de querosene de aviação verde (QAV verde). No contexto programático, a meta está associada à subação 7.3.2.1, que visa fomentar a produção de biocombustíveis avançados no estado, com ênfase no bioquerosene para aviação e no diesel verde. Ademais, a Meta 1.1 se relaciona diretamente com a Meta 1.2, que trata da ampliação de ações para possibilitar a substituição da QAV fóssil por bioquerosene em voos domésticos partindo de Minas Gerais, alcançando 10% da demanda energética até 2030, 30% até 2040 e 60% até 2050, evidenciando uma trajetória de descarbonização de longo prazo para o setor aéreo.

Essa estratégia contribui para a redução das emissões de GEE associadas ao consumo de combustíveis fósseis no setor de transporte aéreo, ao estimular a produção e o uso de combustíveis de menor intensidade de carbono. O órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

No contexto de cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta está direcionado especificamente à substituição do combustível de aviação de origem fóssil por QAV verde, promovendo a transição energética no transporte aéreo. No cenário de linha de base, o consumo de combustível de origem fóssil resulta em emissões significativas de GEE. Já no cenário de projeto, a utilização de QAV verde implica emissões de CO₂ de origem biogênica, o que contribui para a redução líquida das emissões de GEE, considerando o ciclo de vida do combustível.

No que se refere à metodologia direcionadora, não foi identificada, até o momento, uma abordagem metodológica formalmente definida para orientar a implementação e o monitoramento

dessa meta. Embora não exista uma metodologia formalmente estabelecida, nos mesmos moldes das demais metas apresentadas, é possível inferir que o cálculo associado a essa meta se fundamenta no deslocamento de combustíveis fósseis, de forma análoga à abordagem adotada para a substituição de combustíveis fósseis no modal rodoviário. Nesse contexto, a quantificação dos resultados decorre da comparação entre o cenário de linha de base, caracterizado pelo consumo de combustível de origem fóssil, e o cenário de projeto, no qual esse consumo é parcialmente ou totalmente substituído por combustível de origem renovável, permitindo a estimativa das emissões evitadas de GEE.

Para o adequado acompanhamento da meta, são considerados como possíveis parâmetros necessários a quantidade anual de QAV verde produzido e a quantidade anual de combustível fóssil efetivamente substituído. Adicionalmente, alguns parâmetros já monitorados incluem as estratégias implementadas para viabilizar a substituição do QAV fóssil por bioquerosene em voos domésticos no estado, o percentual de QAV verde produzido em Minas Gerais, as estratégias adotadas para o desenvolvimento da produção de QAV verde e a participação do bioquerosene no consumo total de combustível em voos domésticos no estado.

Emissões evitadas

Sob a perspectiva de que a mitigação de emissões de GEE é dada pela substituição de combustíveis fósseis com maior intensidade de carbono pelo uso de biomassa renovável. O cálculo estima as emissões no cenário de linha de base (uso de combustíveis fósseis) e as emissões no cenário de projeto (uso de biocombustíveis). A diferença entre elas é a quantidade de GEE evitada pela tecnologia da meta.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y – calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

As emissões de linha de base poderão ser calculadas com base na quantidade de combustível comercial substituído. O cálculo é dado pela seguinte equação:

$$EB_y = BC_y \times PCI_{BC,y} \times FE_{CC,y}$$

Onde,

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

BC_y = quantidade de biocombustível elegível no ano y – *input*

$PCI_{BC,y}$ = poder calorífico inferior do biocombustível produzido no ano y – GHG Protocol

$FE_{CC,y}$ = fator de emissão do combustível fóssil comercial – GHG Protocol

Emissões com o projeto

Para estimar as emissões do projeto, soma-se as emissões “*field-to-tank*”, emissões relacionadas ao cultivo de matéria-prima de biomassa e à produção e distribuição dos biocombustíveis, com as emissões “*tank-to-wheel*”, provenientes do consumo do biocombustível. As emissões de CO₂ associadas à combustão do biocombustível são classificadas como biogênicas, uma vez que o dióxido de carbono liberado foi previamente removido da atmosfera durante o crescimento da biomassa, por meio dos processos de fotossíntese no cultivo da matéria-prima. Dessa forma, essas emissões são, em geral, desconsideradas no balanço de emissões. Em contrapartida, as emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) decorrentes do processo de combustão devem ser devidamente contabilizadas, por serem GEE com elevados potenciais de aquecimento global.

O cálculo das emissões no cenário com o projeto, de maneira simplificada, é obtido por meio da equação:

$$EP_y = BC_y \times FE_{BC}$$

Onde:

EP_y = emissões do projeto no ano y – calculado

BC_y = quantidade de biocombustível elegível no ano y – *input*

FE_{BC} = fator de emissão “*field-to-wheel*” do biocombustível – GHG Protocol e fontes específicas

4.2.2. Eficiência energética em edifícios

O grupo relacionado à eficiência energética em edifícios engloba uma meta principal de média complexidade, sendo ela:

- 1.1. Elaborar e executar programa, projetos ou ações de eficiência energética nos prédios públicos do Governo estadual.

4.2.2.1. Meta 1.1. Elaborar e executar programa, projetos ou ações de eficiência energética nos prédios públicos do Governo estadual

A Meta 1.1 tem como objetivo elaborar e executar programas, projetos ou ações de eficiência energética nos prédios públicos do Governo Estadual, visando à redução do consumo de energia e, conseqüentemente, das emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de eletricidade. A coordenação dessa meta é atribuída à Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão de Minas Gerais (SEPLAG). Além disso, a meta está vinculada à subação 7.3.1.1, que prevê a promoção da ampliação da eficiência energética das edificações públicas estaduais. Como desdobramento, destacam-se metas relacionadas, como a Meta 1.2, que incluem a obtenção da etiqueta A de eficiência energética para todos os novos edifícios públicos do Governo Estadual, bem como a obtenção de certificação energética para o conjunto das edificações públicas estaduais, reforçando o compromisso com padrões elevados de desempenho energético.

No âmbito do cálculo das emissões evitadas, o recorte da meta está associado à redução do consumo de energia elétrica por meio da adoção de medidas de eficiência energética em edificações públicas estaduais. Como metodologia direcionadora, adota-se a abordagem apresentada na metodologia AMS-II.E. (versão 12.0) do MDL, aplicável a projetos que visam equipamentos para a redução no consumo de energia diretamente atribuída a intervenções de eficiência energética.

No cenário de linha de base, considera-se o consumo de energia elétrica proveniente do SIN, associado às correspondentes emissões de GEE. No cenário de projeto, a implementação de medidas de eficiência energética resulta na redução do consumo de energia elétrica do SIN, o que implica a redução proporcional das emissões de GEE associadas à geração de eletricidade.

Para o monitoramento e avaliação da meta, o parâmetro necessário é a quantidade de energia elétrica economizada anualmente em decorrência da atividade de projeto, calculada como a diferença entre o consumo de eletricidade anterior à implementação das ações de eficiência energética e o consumo observado após sua implementação. Entre os parâmetros já monitorados, tem-se a avaliação de ferramentas de monitoramento e análise do consumo de energia em unidades prediais do Estado. Esse indicador, entretanto, não é diretamente relevante para a quantificação de emissões evitadas.

Emissões Evitadas

De modo geral, as emissões de GEE evitadas do projeto são determinadas a partir da diferença entre as emissões com o consumo de energia elétrica na linha de base e com a melhoria na eficiência. Após estabelecimento do indicador necessário, é possível calcular a redução de emissões, dada pela fórmula a seguir:

$$RE_y = Q_{e,i,y} \times EF_e$$

Onde:

RE_y = Emissões evitadas (tCO_{2e}) no ano y – calculado

$Q_{e,i,y}$ = Quantidade anual de energia economizada pelo projeto – *input*

EF_e = Fator de emissão da energia elétrica – MCTI

4.2.3. Eficiência energética no transporte

O grupo relacionado à eficiência energética no transporte engloba uma meta principal de média complexidade, sendo ela:

- 1.2. Implementar as ações e projetos previstos no Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte voltados para a mobilidade ativa e de eficiência energética na logística de cargas de competência da Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte

4.2.3.1. Meta 1.2. Implementar as ações e projetos previstos no Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte voltados para a mobilidade ativa e de eficiência energética na logística de cargas de competência da Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte

A Meta 1.2 tem como objetivo implementar as ações e projetos previstos no Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) voltados para a mobilidade ativa e para o aumento da eficiência energética na logística de cargas, no âmbito de atuação da Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte. No contexto programático, o órgão líder responsável pela coordenação e implementação das ações é a Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade de Minas Gerais (Seinfra).

Adicionalmente, essa meta está associada à subação 7.1.1.1, que busca promover a mobilidade urbana sustentável por meio da ampliação de ciclovias, de infraestruturas voltadas à micromobilidade e da melhoria da eficiência energética no transporte de cargas na região metropolitana de Belo Horizonte. Além disso, a meta se relaciona com a Meta 1.1, que trata da coordenação e acompanhamento da implementação dos projetos previstos no Plano de Mobilidade da RMBH, garantindo que as iniciativas voltadas à melhoria da logística de cargas e ao estímulo a modos mais sustentáveis sejam executadas de forma integrada e monitorada.

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, a metodologia direcionadora adotada é a AMS-III.BC. (versão 03.0) do MDL, voltada para a redução de emissões a partir da melhoria da eficiência de frotas de veículos. Nesse sentido, o recorte considerado para o cálculo das emissões evitadas concentra-se na eficiência energética da logística de transporte terrestre de cargas. No cenário de linha de base, observa-se uma operação ineficiente das frotas, com elevado consumo de combustíveis fósseis e consequente emissão de GEE. No cenário com o projeto, espera-se uma

operação mais eficiente das frotas de carga, resultando em redução das emissões de GEE em função do ganho de eficiência no transporte.

Entre as premissas adotadas, considera-se que a quantidade de carga transportada e a distância percorrida não devem ser reduzidas e que não há alteração no tipo de combustível utilizado. Assim, a redução de emissões decorre, prioritariamente, do uso mais eficiente dos veículos e da gestão logística.

Para o monitoramento das emissões evitadas, são necessários parâmetros como o consumo anual de combustível antes e após a implementação das ações e o tipo de combustível utilizado. Como parâmetro já monitorado, destaca-se o número de ações implementadas voltadas à mobilidade ativa e à eficiência energética na logística de cargas, indicador considerado não relevante para a mensuração de emissões evitadas, embora útil para o acompanhamento dos demais resultados da meta.

Emissões evitadas

A mitigação de emissões de GEE é dada pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto. O cálculo estima a quantidade de GEE evitados pela redução do consumo de combustíveis a partir de diferentes ações de eficiência no transporte de cargas.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y – calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

As emissões na linha de base são calculadas com base em dados do combustível utilizado no transporte de carga, de acordo com a equação a seguir:

$$EB_y = Q_{comb, LB} \times PCI_{comb, LB} \times FE_{comb, LB}$$

Sendo:

$Q_{comb, LB}$ = Consumo específico de combustível de referência do veículo usando o tipo de combustível x no ano y (L) – *input*

$PCI_{comb,LB}$ = Poder calorífico inferior do tipo de combustível x no ano y (MJ/L) – GHG Protocol

$FE_{comb,LB}$ = Fator de emissão de CO₂ para o tipo de combustível x no ano y (tCO₂/MJ) – GHG Protocol

Emissões com o projeto

De modo análogo ao realizado na linha de base, as emissões no cenário com o projeto de redução são calculadas com base em dados do combustível utilizado no transporte de carga, conforme a equação a seguir:

$$EP_y = Q_{comb,P} \times PCI_{comb,P} \times FE_{comb,P}$$

Sendo:

$Q_{comb,P}$ = Consumo específico de combustível de referência do veículo usando o tipo de combustível x no ano y (L) – *input*

$PCI_{comb,P}$ = Poder calorífico inferior do tipo de combustível x no ano y (MJ/L) – GHG Protocol

$FE_{comb,P}$ = Fator de emissão de CO₂ para o tipo de combustível x no ano y (tCO₂/MJ) – GHG Protocol

4.2.4. Captura e Armazenamento de Carbono (CCS)

O grupo relacionado à Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) engloba uma meta principal de média complexidade, sendo ela:

- 2.3. Alcançar 60% do setor de produção de biocombustíveis com unidades de captura de carbono instaladas

4.2.4.1. Meta 2.3. Alcançar 60% do setor de produção de biocombustíveis com unidades de captura de carbono instaladas

A Meta 2.3 tem como objetivo expandir a parcela do setor de produção de biocombustíveis com unidades de captura de carbono instaladas. Essa estratégia contribui para a redução das emissões de GEE ao incentivar a captura de carbono combinada a produção de biocombustíveis, promovendo remoções de GEE.

Adicionalmente, a meta está associada à subação 7.5.2.2, que visa promover o desenvolvimento e a inserção da tecnologia de captura e armazenamento de carbono associadas aos processos industriais. O órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

Para o cálculo das emissões evitadas, o recorte da meta considera as emissões evitadas/removidas pela captura de carbono. No cenário de linha de base, assume-se que o carbono capturado seria emitido na atmosfera. Caso o carbono capturado seja biogênico, tem-se remoções.

Apesar de não ter sido identificada uma metodologia direcionadora específica para projetos de captura de carbono, entende-se que, no caso desse tipo de projeto, as emissões evitadas/removidas são equivalentes à quantidade de carbono capturada. Portanto, para esta estimativa, o indicador necessário é o de quantidade de carbono capturada anualmente, que ainda não está entre os indicadores monitorados.

Emissões evitadas

A mitigação de emissões de GEE é dada pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto. O cálculo estima a quantidade de GEE evitada/removida pela captura que, em um cenário de linha de base, não ocorreria.

$$RE_y = QCC_y$$

Onde:

RE_y = redução/remoção de emissões no ano y – calculado

QCC_y = quantidade de carbono capturada no ano y – *input*

4.2.5. Geração de energia renovável

O grupo relacionado à geração de energia renovável engloba uma meta principal de média complexidade, sendo ela:

- 4.4. Expandir a capacidade instalada para geração de 3,1 GW até 2030 e 3,1 GW até 2050, por Usinas Termelétricas a biomassa.

4.2.5.1. Meta 4.4. Expandir a capacidade instalada para geração de 3,1 GW até 2030 e 3,1 GW até 2050, por Usinas Termelétricas a biomassa

A Meta 4.4. tem como objetivo expandir a capacidade instalada para geração de energia elétrica a partir de biomassa. Essa estratégia contribui para a redução das emissões de GEE ao incentivar a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis deslocando energia do SIN, cuja matriz não é integralmente renovável.

Adicionalmente, tal meta está associada à subação 7.3.2.4, que visa fomentar a expansão da capacidade instalada de geração elétrica por meio de fontes limpas. O órgão líder responsável pela

implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

Para o cálculo das emissões evitadas, o recorte da meta considera a geração de energia renovável por meio de usinas termelétricas a biomassa deslocando energia de origem parcialmente fóssil. No cenário de linha de base, observa-se o consumo de energia elétrica proveniente do SIN, resultando na emissão de GEE. No cenário com o projeto de mitigação, ocorre a geração de energia renovável com fonte não fóssil.

As metodologias direcionadoras adotadas são a ACM0002 (versão 22.0) e a AMS-I.F (versão 01.0) do MDL, aplicáveis a projetos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Ressalta-se que essas metodologias são originalmente desenvolvidas para aplicação em nível de projeto e, para fins de estimativa das emissões evitadas no nível da meta, requerem adaptações, simplificações e a adoção de premissas específicas.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrentes da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade de energia elétrica gerada anualmente, expressa em megawatt-hora por ano (MWh/ano), ou, alternativamente, a capacidade instalada e o fator de geração dos sistemas. Entre os parâmetros já monitorados destaca-se a capacidade instalada para geração de energia por usinas termelétricas a biomassa, considerado indicador relevante para o cálculo das emissões evitadas.

Emissões evitadas

A mitigação de emissões de GEE é dada pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto. O cálculo estima a quantidade de GEE evitados pelo deslocamento do consumo de energia elétrica que seria, em um cenário de linha de base, fornecida por meios mais intensivos em GEE.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y – calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y – calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

No caso de a energia gerada ser consumida no ponto de geração, as emissões no cenário base são estimadas pela equação:

$$EB_y = EG_{BL,y} \times FE_{CO_2,y}$$

Onde:

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y (tCO_2e) – calculado

$EG_{BL,y}$ = quantidade de energia deslocada devido à implementação do projeto, ou seja, quantidade de energia gerada pelo projeto financiado, no ano de atividade y (MWh/ano) – *input*

$FE_{CO_2,y}$ = fator de emissão da rede (SIN) – MCTI.

Por outro lado, se a energia gerada for distribuída pelo SIN, o fator de perda técnica durante a transmissão de energia na rede deve ser considerado.

Emissões do projeto

As emissões associadas à geração de energia a partir de biomassa incluem emissões do ciclo de vida, assim como os gases emitidos pela sua queima para a geração de energia. Dessa forma, as emissões de projeto são calculadas pela equação demonstrada abaixo:

$$EP_y = EG_{BL,y} \times FE_{ciclo} + EG_{BL,y} \times FE_{consumo}$$

Onde:

EP_y = emissões do projeto no ano y – calculado

$EG_{BL,y}$ = quantidade de energia deslocada devido à implementação do projeto, ou seja, quantidade de energia gerada pelo projeto financiado, no ano de atividade y – *input*

FE_{ciclo} = fator de emissão pelo ciclo de vida da biomassa (*Cradle to Gate*) – fontes específicas e *input*

$FE_{consumo}$ = emissão pelo consumo da biomassa na geração de energia – GHG Protocol

Ressalta-se para a mensuração das emissões relacionadas ao processamento, transporte e consumo da biomassa, é necessário o *input* do tipo de biomassa utilizada, parâmetro que ainda não é monitorado.

4.2.6. Reaproveitamento de biogás

O grupo relacionado ao reaproveitamento de biogás engloba uma meta principal de média complexidade, sendo ela:

- 5.1. Aumentar a produção e o uso de biogás e biometano para consumo energético em substituição ao consumo de energia fóssil.

4.2.6.1. Meta 5.1. Aumentar a produção e o uso de biogás e biometano para consumo energético em substituição ao consumo de energia fóssil

A Meta 5.1. tem como objetivo promover o aumento da produção e uso de biogás e biometano para consumo energético em substituição ao consumo de energia fóssil. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.3.2.5, que busca fomentar a produção e o consumo de biogás e biometano.

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE associadas ao consumo de energia fóssil no estado. Além disso, o órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente o uso de biogás/biometano em substituição ao gás natural e à energia elétrica do SIN. Assim, considera-se que, no cenário de linha de base, em substituição ao consumo de energia proveniente de biogás e/ou o consumo de biometano naquele ano, seriam consumidos energia elétrica do SIN e/ou gás natural. A metodologia direcionadora adotada é a ACM0024 (versão 1.0), que trata da substituição do gás natural por biometano produzido a partir da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos. Essa metodologia aplica-se a atividades de projeto em que os resíduos orgânicos são tratados por digestão anaeróbica e o biogás é purificado e utilizado para substituir o gás natural.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, os parâmetros necessários podem incluir a quantidade de biometano utilizada por ano (produção ou distribuição, considerando o mais aplicável e conservador), a forma de utilização do biometano, quantidade de energia gerada anualmente (em caso de geração elétrica) e/ou a quantidade usada por ano em substituição ao gás natural. Entre os indicadores atualmente monitorados, os de 'Volume total da produção e da distribuição de biometano para consumo energético', 'Participação do biogás/biometano na matriz energética do estado' e 'Potência outorgada para geração elétrica a partir de fontes de biogás' podem ser úteis para os cálculos.

Emissões evitadas

A redução das emissões alcançada pela atividade do projeto será determinada como a diferença entre as emissões de linha de base e as emissões do projeto.

$$RE_y = BE_y - PE_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y - calculado

BE_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

PE_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões da Linha de Base

As emissões do cenário de linha de base abrangem as emissões de dióxido de carbono provenientes da combustão do gás natural que seria fornecido ao sistema de distribuição de gás natural em vez do metano biogênico produzido pela atividade do projeto. Desse modo, o cálculo é dado por:

$$BE_y = 0,0504 \times F_{CH_4,NG,y} \times EF_{CO_2,NG,y}$$

Sendo:

BE_y = emissões de linha de base no ano y (tCO₂e) – calculado

0,0504 = poder calorífico inferior do metano (TJ/tCH₄) – ACM0024

$F_{CH_4,NG,y}$ = quantidade de biometano enviada à rede de distribuição de gás natural no ano y (tCH₄) - *input*

$EF_{CO_2,NG,y}$ = fator de emissão de CO₂ médio do gás natural (tCO₂e/TJ) – GHG Protocol

Emissões de projeto

As emissões de projeto são calculadas a partir da equação:

$$PE_y = PE_{AD,y} + PE_{LO,y} + PE_{TR,y}$$

Onde:

PE_y = emissões de projeto no ano y (tCO₂e) – calculado

$PE_{AD,y}$ = emissões de projeto da digestão anaeróbica do resíduo orgânico no ano y (tCO₂) – calculado

$PE_{LO,y}$ = emissões de projeto das perdas da purificação do biogás e transmissão/transporte do local de projeto até o sistema de distribuição do gás natural no ano y (tCO₂e) – calculado

$PE_{TR,y}$ = emissões de projeto do transporte de biometano por caminhões – calculado

As emissões de projeto associadas ao digestor anaeróbico ($PE_{AD,y}$) são determinadas pela equação:

$$PE_{AD,y} = PE_{EC,y} + PE_{FC,y} + PE_{CH_4,y}$$

Onde:

$PE_{EC,y}$ = emissões de projeto do consumo de eletricidade associado ao digestor anaeróbico no ano y (tCO₂e) – calculado

$PE_{FC,y}$ = emissões de projeto do consumo de combustíveis fósseis associado ao digestor anaeróbico no ano y (tCO₂e) – calculado

$PE_{CH_4,y}$ = emissões de projeto de metano do digestor anaeróbico no ano y (tCO₂e) – calculado

$PE_{EC,y}$ é calculado por meio da equação:

$$PE_{EC,y} = Q_{CH_4,y} \times F_{EC,default} \times EF_{EL,default}$$

Onde:

$Q_{CH_4,y}$ = quantidade de metano produzido no digestor anaeróbico no ano y (tCH₄) – calculado

$F_{EC,default}$ = fator padrão para o consumo de eletricidade associado ao digestor anaeróbico por tonelada de metano gerado (MWh/tCH₄) – ACM0024

$EF_{EL,default}$ = fator de emissão padrão para a eletricidade consumida no ano y (tCO₂/MWh) – MCTI

$PE_{FC,y}$ é calculado por meio da equação:

$$PE_{FC,y} = FC_{i,j,y} \times COEF_{i,y}$$

Onde:

$FC_{i,j,y}$ = quantidade de combustível do tipo i queimado durante o ano y (unidade de massa ou volume/ano) - *input*

$COEF_{i,y}$ = coeficiente de emissões de CO₂ do combustível tipo i no ano y (tCO₂/unidade de massa ou volume) – GHG Protocol

$PE_{CH_4,y}$ é calculado por meio da equação:

$$PE_{CH_4,y} = Q_{CH_4,y} \times EF_{CH_4,default} \times GWP_{CH_4}$$

$EF_{CH_4,default}$ = fator de emissão padrão para a fração de CH₄ produzida que vaza do digestor anaeróbico (fração) – AM0024

GWP_{CH_4} = potencial de aquecimento global do CH₄ (tCO₂/tCH₄) – IPCC (AR6)

As emissões de projeto associadas às perdas da purificação do biogás e transmissão/transporte do local de projeto até o sistema de distribuição do gás natural ($PE_{LO,y}$) são determinadas pela equação:

$$PE_{LO,y} = (F_{CH_4,BD,y} - F_{CH_4,NG,y}) \times GWP_{CH_4}$$

Onde:

$F_{CH_4,BD,y}$ = quantidade de metano produzido antes da purificação (tCH₄) – *input*

As emissões de projeto do transporte de biometano por caminhões ($PE_{TR,y}$) são determinadas pela equação:

$$PE_{TR,y} = FC_{i,j,y} \times COEF_{i,y}$$

Onde:

$FC_{i,j,y}$ = Quantidade de combustível consumida pelos veículos de transporte do biometano nas viagens de ida e volta no ano y (unidade de massa ou volume/ano) – *input*.

4.2.7. Reciclagem e compostagem

O grupo relacionado à reciclagem e compostagem engloba uma meta principal de média complexidade, sendo ela:

- 6.2. Redução da disposição final em aterro sanitário de 50% da fração orgânica dos RSU gerados no estado.

4.2.7.1. Meta 6.2. Redução da disposição final em aterro sanitário de 50% da fração orgânica dos RSU gerados no estado

A Meta 6.2. tem como objetivo promover a redução da disposição final em aterro sanitário de 50% da fração orgânica dos RSU gerados no estado. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.4.2.6, que busca promover a ampliação da coleta e destinação adequada da fração orgânica dos RSU no estado e a redução do desperdício alimentar.

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE associadas à disposição de resíduos no estado. Além disso, o órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD/SUSAN).

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a mudança no processo de tratamento de resíduos, com implementação de compostagem. Assim, considera-se que, no cenário de linha de base, os resíduos que foram tratados por compostagem naquele ano seriam depositados em aterro. A metodologia direcionadora adotada é a AMS-III.F. (versão 12.0), que trata das emissões evitadas de metano por meio da compostagem.

A metodologia AMS-III.F. compreende medidas para evitar a emissão de metano para a atmosfera proveniente de biomassa ou outra matéria orgânica que, de outra forma, seria deixada para se decompor anaerobicamente em um aterro sanitário, em um sistema de gestão de resíduos animais ou em um sistema de tratamento de águas residuais. Na atividade do projeto, é introduzido o tratamento aeróbico controlado por compostagem da biomassa.

A principal premissa considerada, no caso do cálculo associado à meta, é de que, devido a uma possível limitação de informações, as emissões de projeto associadas a energia necessária para o processo de compostagem possivelmente não seriam consideradas, logo, o cálculo seria menos conservador.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade de resíduo que deixou de ser destinado ao aterro, por ano, e /ou a quantidade de resíduo destinado para compostagem por ano. Entre os indicadores atualmente monitorados, o de 'Quantidade de resíduos orgânicos desviados do aterro' pode ser útil para os cálculos.

Emissões evitadas

A redução das emissões alcançada pela atividade do projeto será determinada como a diferença entre as emissões de linha de base e as emissões do projeto.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y - calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

O cenário de linha de base é a situação em que, na ausência da atividade do projeto, a biomassa e outras matérias orgânicas são deixadas para se decompor e o metano é emitido para a atmosfera. As emissões de linha de base são a quantidade de metano emitida pela decomposição do carbono orgânico degradável nos resíduos sólidos.

As emissões de metano geradas a partir do descarte de resíduos são determinadas com base na quantidade de metano que é capturada sob a atividade de projeto e a quantidade que seria capturada e destruída na linha de base (em decorrência de regulações, por exemplo). As emissões de linha de base devem excluir as emissões de metano que teriam que ser capturadas ou queimadas para cumprir os requisitos de segurança nacionais ou locais ou as regulamentações legais.

$$EB_y = BE_{CH_4,SWDS,y} - MD_{y,reg} \times GWP_{CH_4}$$

A variável $BE_{CH_4,SWDS,y}$ é determinada usando a equação:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi_t \times (1 - f_y) \times GWP_{CH_4} \times (1 - OX) \times \frac{16}{12} \times F \times DOC_{f,y} \times MCF_y \times \sum_{x=1}^y \sum_j (W_{j,x} \times DOC_j \times e^{-k_j \times (y-x)} \times (1 - e^{-k_j}))$$

Onde:

x = anos no período em que o resíduo é depositado no local de descarte, desde o primeiro ano no período ($x = 1$) ao ano y ($x = y$)

y = ano final do período considerado para o cálculo

φ_t = fator de correção do modelo para contabilizar incertezas para o ano y – Tool 04

f_y = fração de metano capturada no local de descarte e queimada no ano y – ACM0001

OX = fator de oxidação (refletindo a quantidade de metano do local de descarte que é oxidada no solo ou outro material cobrindo o resíduo) – IPCC 2006

F = fração de metano no biogás (fração de volume) – IPCC 2006

$DOC_{f,y}$ = fração de carbono orgânico degradável (DOC) que se decompõe sob as condições específicas ocorrendo no local de descarte no ano y (fração de peso) – IPCC 2006

MCF_y = fator de correção do metano para o ano y – IPCC 2006

$W_{j,x}$ = quantidade de resíduo sólido do tipo j depositada no local de descarte no ano y (t) - Preenchido

DOC_j = fração de carbono orgânico degradável no tipo de resíduo j (fração de peso) - IPCC 2006; IPCC 2019

k = taxa de decaimento para o tipo de resíduo j (1/ano) – IPCC 2006; IPCC 2019

j = tipo de resíduo

$MD_{y,reg}$ = quantidade de metano que seria capturado e queimado no ano y para cumprir com as regulações vigentes (toneladas) - Preenchido

GWP_{CH_4} = Potencial de aquecimento global do CH_4 (tCO₂e/tCH₄) – AR6 (IPCC)

Emissões de Projeto

As emissões do projeto provenientes da compostagem ($PE_{COMP,y}$) são determinadas da seguinte forma:

$$PE_{COMP,y} = PE_{EC,y} + PE_{FC,y} + PE_{CH_4,y} + PE_{N_2O,y} + PE_{RO,y}$$

$PE_{COMP,y}$ = emissões de projeto associadas à compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{EC,y}$ = emissões de projeto do consumo de eletricidade associado à compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{FC,y}$ = emissões de projeto do consumo de combustíveis fósseis associado à compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{CH_4,y}$ = emissões de projeto de metano do processo de compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{N_2O,y}$ = emissões de projeto de óxido nitroso do processo de compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{RO,y}$ = emissões de projeto de metano provenientes do escoamento superficial de águas residuais associadas à compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

Enquanto as quatro primeiras variáveis podem ser calculadas a partir da quantidade de resíduos e valores *default* da metodologia, $PE_{RO,y}$ deve ser calculado a partir do volume de águas residuais de

escoamento da instalação de compostagem no ano y (m^3 /ano) e a DQO média das águas residuais (t DQO/ m^3).

4.3. Alta complexidade

Conforme abordado, a metodologia de classificação por nível de complexidade utiliza uma abordagem baseada na disponibilidade e complexidade de metodologias e de parâmetros específicos para calcular as emissões evitadas em cada recorte. Desse modo, a seguir, são apresentadas as metas consideradas de alta complexidade de mensuração subclassificadas em agrupamentos.

4.3.1. Substituição de combustível fóssil por biocombustíveis

O grupo relacionado à substituição de combustível fóssil por biocombustíveis engloba uma meta principal de alta complexidade, sendo ela:

- 1.2. Estimular o uso de resíduos agroflorestais, como combustíveis, para a geração de energia.

4.3.1.1. Meta 1.2. Estimular o uso de resíduos agroflorestais, como combustíveis, para a geração de energia

A Meta 1.2. tem como objetivo estimular o uso de resíduos agroflorestais, como combustíveis, para a geração de energia. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.2.4.1., que busca realizar ações de promoção da redução da queima dos resíduos agrícolas e incentivar o uso de tecnologias que contribuam com esta finalidade.

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE associadas ao consumo de energia fóssil no estado. Além disso, o órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seapa).

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a substituição de combustível fóssil por biocombustível. Assim, considera-se que, no cenário de linha de base, em substituição ao biocombustível produzido a partir dos resíduos agroflorestais naquele ano, seria consumido combustível de origem fóssil. A metodologia direcionadora adotada é a ACM0017 (versão 4.0), voltada à produção de biocombustível.

A metodologia ACM0017 é aplicável a atividades de projetos que visam reduzir as emissões por meio da produção de biocombustíveis mistos para uso em instalações fixas existentes e/ou em veículos. Para efeito da meta, considera-se que a quantidade de biocombustível produzida substituirá um combustível fóssil.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade de biocombustível elegível por ano (toneladas/ano) e o tipo de biocombustível. Eles não estão incluídos nos indicadores atualmente monitorados.

Emissões Evitadas

A partir da comparação entre os cenários de linha de base e de projeto, as emissões evitadas são estimadas pela equação:

$$ER_y = BE_y - PE_y$$

Ou seja, a redução de emissões resulta da diferença entre as emissões associadas à produção e consumo de combustíveis fósseis e aquelas relacionadas à produção e consumo do biocombustível.

Emissões de Linha de Base

As emissões de linha de base são calculadas com base na quantidade de combustível fóssil substituído, conforme a seguinte equação:

$$BE_y = BF_y \times NCV_{BF,y} \times EF_{CO_2,FF}$$

Onde:

BE_y = Emissões de linha de base no ano y (tCO₂) - calculado

BF_y = Quantidade de biocombustível elegível no ano y (t) - *input*

$NCV_{BF,y}$ = Valor calorífico líquido do biocombustível produzido no ano y (GJ/t) - dado de fontes conhecidas (BEN)

$EF_{CO_2,FF}$ = Fator de emissão de CO₂ do combustível fóssil substituído (tCO₂/GJ) - dado de fontes conhecidas (ANP)

Emissões de Projeto

As emissões do projeto (PE_y) incluem aquelas associadas ao cultivo da matéria-prima, produção e distribuição do biocombustível (*field-to-tank*) e as emissões de CH₄ e N₂O resultantes da combustão do carbono renovável presente no biocombustível (*tank-to-wheel*).

Assim, as emissões de projeto são calculadas, usando a quantidade de biocombustível elegível, conforme a seguinte equação:

$$PE_y = BF_y \times EF_{CO_2,BF}$$

Onde:

PE_y = Emissões de projeto no ano y (tCO₂) - calculado

BF_y = Quantidade de biocombustível elegível no ano y (t) - *input*

$EF_{CO_2,BF}$ = Fator de emissão de CO_2 do biocombustível produzido (tCO_2/t) - dado de fontes conhecidas (ANP).

4.3.2. Aditivos no cimento

O grupo relacionado a aditivos no cimento engloba uma meta principal de alta complexidade, sendo ela:

- 3.2. Aumentar o uso de adições e substitutos de clínquer e do uso de combustíveis alternativos na produção de cimento.

4.3.2.1. Meta 3.2. Aumentar o uso de adições e substitutos de clínquer e do uso de combustíveis alternativos na produção de cimento

A Meta 3.2. tem como objetivo aumentar o uso de adições e substitutos de clínquer e do uso de combustíveis alternativos na produção de cimento. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.5.2.3, que busca realizar ações de promoção e incentivo às tecnologias de baixo carbono, substituição de combustíveis e aumento do uso de adições e substitutos de materiais na indústria.

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE associadas à indústria no estado. Além disso, o órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede).

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a utilização de materiais alternativos em substituição ao clínquer na produção de cimento. Assim, considera-se que, no cenário de linha de base, o cimento produzido com composição de clínquer reduzida naquele ano seria produzido com uma composição mais alta. A metodologia direcionadora adotada é a ACM0005 (versão 7.1.0), voltada ao aumento da mistura na produção de cimento.

A metodologia ACM0005 é aplicável a atividades de projetos que produzem cimento misto além das práticas atuais no país, seja: (i) em uma fábrica de cimento nova ou (ii) em uma fábrica de cimento existente, aumentando a proporção de aditivos (ou seja, reduzindo a proporção de clínquer).

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade de clínquer por tonelada de cimento produzido, a quantidade de cimento produzido por ano e o tipo de cimento produzido. Entre os indicadores atualmente monitorados, o de 'Fator de clínquer na produção de cimento' pode ser útil para os cálculos.

Para garantir a aplicabilidade e aderência é necessário que as atividades produzam cimento com aditivos para além das práticas atuais no Brasil, ou seja, o projeto deve abordar fábricas novas ou

existentes que visam aumentar as porcentagens dos aditivos ao cimento. Ademais, tal metodologia aplica-se exclusivamente ao cimento comercializado no mercado interno.

Emissões Evitadas

As reduções de emissões são calculadas com base na seguinte fórmula:

$$EEy = BEy - PEy$$

Onde:

EEy = Emissões evitadas no ano y (tCO₂e/ano) - calculado

BEy = Emissões de linha de base no ano y (tCO₂e/ano) - calculado

PEy = Emissões do projeto no ano y (tCO₂e/ano) - calculado

Emissões de Linha de Base

A linha de base está relacionada à participação de clínquer adicionado nos tipos de cimento produzidos conforme a Norma 16697, além das emissões oriundas do uso de combustíveis na planta, consumo de energia elétrica e do processo de calcinação na ausência do projeto, conforme apresentado na equação.

$$BEy = BE_{elet,BL} + BE_{fóssil,BL} + BE_{calcinação,BL}$$

Para emissões de energia elétrica na linha de base ($BE_{elec,BL}$) considera-se o consumo anual de eletricidade (*input*) e o fator de emissão do SIN com base no ano referência adotado no cálculo. De modo análogo, as emissões oriundas do consumo de combustíveis fósseis ($C_{fóssil,BL}$) são determinadas a partir do somatório de fontes de combustível (*input*), além da quantidade de clínquer utilizado na fabricação do cimento (*input*) no ano ($CLNK_{BL}$), conforme a equação:

$$BE_{fóssil,BL} = \frac{\sum C_{fóssil,BL} \times FE_{fóssil,BL}}{CLNK_{BL}}$$

Por fim, as emissões de linha de base por tonelada de clínquer devido às calcinações de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio ($BE_{calcinação,BL}$) são determinadas conforme a seguinte equação:

$$BE_{calcinação,BL} = \frac{0,785 \times (CaO_{clínquer} - CaO_{não carbonatado}) + 1,092 \times (MgO_{clínquer} - MgO_{não carbonatado})}{CLNK_{BL}}$$

Sendo:

$BE_{calcinação,BL}$: Emissões de base por tonelada de clínquer devido a calcinações de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (tCO₂/t clínquer) - calculado

0,785: Fator de emissão estequiométrico para CaO (tCO₂/t CaO) - ACM0005

1,092: Fator de emissão estequiométrico para MgO (tCO₂/t MgO) - ACM0005

CaO_{clínquer}: Teor de CaO de base no clínquer produzido (t CaO) - *input*

CaO_{não carbonatado}: Teor de CaO não carbonatado de base na matéria-prima (t CaO) - *input*

MgO_{clínquer}: Teor de MgO de base no clínquer produzido (t MgO) - *input*

MgO_{não carbonatado}: Teor de MgO não carbonatado de base na matéria-prima (t MgO) - *input*

CLNK_{BL}: Produção anual de clínquer no ano de base (t clínquer) - *input*

Emissões de Projeto

As emissões relacionadas às atividades do projeto consideram a diminuição do uso de clínquer devido a utilização de outros aditivos. O cálculo de emissões do projeto é realizado de modo análogo ao cálculo da linha de base, considerando, portanto, as emissões da calcinação, uso de combustíveis de origem fóssil e de eletricidade.

4.3.3. Reciclagem e compostagem

O grupo relacionado à reciclagem e compostagem engloba uma meta principal de alta complexidade, sendo ela:

- 6.1. Ampliação da coleta seletiva tríplice (recicláveis, matéria orgânica e rejeitos) e destinação para tratamento e reaproveitamento da fração orgânica dos RSU gerados no estado em 10%.

4.3.3.1. Meta 6.1. Ampliação da coleta seletiva tríplice (recicláveis, matéria orgânica e rejeitos) e destinação para tratamento e reaproveitamento da fração orgânica dos RSU gerados no estado em 10%

A Meta 6.1. tem como objetivo promover a ampliação da coleta seletiva tríplice (recicláveis, matéria orgânica e rejeitos) e a destinação para tratamento e reaproveitamento da fração orgânica dos RSU gerados no estado em 10%. No contexto programático, a meta está associada à subação 7.4.2.6, que busca promover a ampliação da coleta e destinação adequada da fração orgânica dos RSU no estado e a redução do desperdício alimentar.

Essa estratégia visa contribuir para a redução das emissões de GEE associadas à disposição de resíduos no estado. Além disso, o órgão líder responsável pela implementação e coordenação dessa meta é a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD/SUSAN).

No âmbito do cálculo de emissões evitadas, o recorte da meta considera especificamente a mudança no processo de tratamento de resíduos, com implementação de reciclagem e compostagem. Assim, considera-se que, no cenário de linha de base, os resíduos que foram tratados por reciclagem e/ou compostagem naquele ano seriam depositados em aterro. As metodologias

direcionadoras adotadas são a AMS-III.AJ. (versão 9.0), voltada à recuperação e reciclagem de materiais de resíduos sólidos, e a AMS-III.F. (versão 12.0), que trata das emissões evitadas de metano por meio da compostagem.

A metodologia AMS-III.AJ. compreende atividades de recuperação e reciclagem de materiais em resíduos sólidos urbanos (RSU) para processamento em produtos intermediários ou acabados, substituindo a produção de matérias-primas virgens, resultando assim na redução do consumo de energia. Ela abrange as emissões associadas a:

- (a) Produção de plásticos utilizando matéria-prima virgem constituídos por polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), tereftalato de polietileno (PET), cloreto de polivinila (PVC) ou polipropileno (PP);
- (b) Produção de vidro para embalagens utilizando matéria-prima virgem que é substituída por vidro reciclado para embalagens;
- (c) Produção de metais (alumínio e aço) a partir de minério extraído ou matérias-primas virgens que é substituída por metais reciclados.

Já a metodologia AMS-III.F. compreende medidas para evitar a emissão de metano para a atmosfera proveniente de biomassa ou outra matéria orgânica que, de outra forma, seria deixada para se decompor anaerobicamente em um aterro sanitário, em um sistema de gestão de resíduos animais ou em um sistema de tratamento de águas residuais. Na atividade do projeto, é introduzido o tratamento aeróbico controlado por compostagem da biomassa.

A principal premissa considerada, no caso do cálculo associado à meta, é de que, devido a uma possível limitação de informações, as emissões de projeto associadas a energia necessária para os processos de reciclagem e compostagem possivelmente não seriam consideradas, logo, o cálculo seria menos conservador.

Para o monitoramento das emissões evitadas decorrente da ação prevista na meta, os parâmetros necessários incluem a quantidade de resíduo que deixou de ser destinado ao aterro, por ano, e a quantidade de resíduo reciclado (por tipo) e/ou quantidade resíduo destinado para compostagem por ano. Eles não estão incluídos nos indicadores atualmente monitorados.

- **Reciclagem**

Emissões evitadas

A redução das emissões alcançada pela atividade do projeto será determinada como a diferença entre as emissões de linha de base e as emissões do projeto.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y - calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y - calculado

Emissões na linha de base

As emissões de linha de base incluem:

- (d) Para a produção de plástico, as emissões associadas ao consumo de energia para a produção de plástico a partir de materiais virgens;
- (e) Para papel, podem ser reivindicadas as emissões associadas à decomposição anaeróbica em um local de descarte;
- (f) Para a produção de vidro, as emissões associadas ao consumo de energia para a produção de vidro virgem para embalagens, correspondente à preparação e mistura de matérias-primas antes da etapa de fusão;
- (g) Para a produção de metais, as emissões associadas ao consumo de energia para a produção a partir de materiais virgens.

As emissões de linha de base são determinadas seguindo a seguinte equação:

$$EB_y = EB_{plástico,y} + EB_{metal,y} + EB_{vidro,y}$$

Onde,

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

$EB_{plástico,y}$ = emissões de linha de base associadas à reciclagem de plástico no ano y - calculado

$EB_{metal,y}$ = emissões de linha de base associadas à reciclagem de metal no ano y - calculado

$EB_{vidro,y}$ = emissões de linha de base associadas à reciclagem de vidro no ano y - calculado

As fórmulas para o cálculo das emissões de cada componente são dadas pelas seguintes equações:

$$EB_{plástico,y} = \sum [Q_{i,y} \times L_i \times (SEC \times EF_e + SFC \times EF_{GN})]$$

$$EB_{metal,y} = \sum Q_{i,y} \times SE_i$$

$$EB_{vidro,y} = Q_{vidro,y} \times L_{vidro} \times SEC_{BL,vidro} \times EF_e$$

i = Índices para tipo de material i ($i = 1,2$ para ABS e HIPS)

$Q_{i,y}$ = Quantidade de material tipo i reciclado e enviado para processamento no ano y (t) - *input*

L_i = Fator de ajuste líquido/bruto para compensar a degradação da qualidade do material e a perda de material no processo de produção do produto final utilizando material reciclado (utilizar 0,75) – AMS-III.AJ.

SE_i = Fator de emissão específico para produção do material i , medido em tCO_2e/t – calculado ou fornecido pela metodologia AMS-III.AJ.

Para os plásticos, é necessário calcular o fator de emissão específico conforme apresentado a seguir:

$$SE_i = SEC \times EF_e + SFC \times EF_{GN}$$

O fator de emissão específico para a produção do plástico é influenciado pelo consumo de energia elétrica (SEC) e de gás natural (SFC) para produção do plástico. Para tanto, pode-se utilizar os valores de consumo específico de energia e combustível para a produção de diferentes tipos de plásticos a partir de matérias-primas virgens fornecidos pela metodologia, o fator de emissão da rede do Sistema Interligado Nacional (EF_e) fornecido pelo MCTI e o fator de emissão do gás natural (EF_{GN}) disponível no GHG Protocol.

Para os metais a metodologia fornece, diretamente, o fator SE_i : 8,40 para alumínio e 1,27 para aço.

Para as emissões da reciclagem do vidro, são considerados o volume anual de vidro reciclado ($Q_{vidro,y}$), o fator de ajuste para cobrir a degradação da qualidade do material e a perda de material no processo de produção do produto final utilizando o material reciclado de 0,88 (L_{vidro}), consumo de energia elétrica ($SEC_{BL,vidro}$) indicado pela metodologia (0,026 MWh/t) e fator de emissão da rede elétrica no SIN (EF_e).

Emissões de Projeto

As emissões do projeto incluem as emissões associadas ao consumo de energia na unidade de reciclagem e na unidade de processamento, e são calculadas com base na equação abaixo. Para esse cálculo é necessário saber a quantidade de energia consumida para a reciclagem dos materiais para que seja multiplicada pelo respectivo fator de emissão.

A fórmula para o cálculo das emissões no projeto é apresentada a seguir:

$$EP_y = EC_{PJ,y} \times EF_e + \sum (FC_{f,PJ,y} \times NCV_{f,y} \times EF_{CO_2,y})$$

$EC_{PJ,y}$ = eletricidade consumida pela instalação de reciclagem no ano y (MWh) - *input*

$FC_{f,PJ,y}$ = combustível tipo f consumido pela instalação de reciclagem no ano y (unidade de massa ou volume/t) - *input*

$NCV_{f,y}$ = Poder calorífico inferior do combustível fóssil tipo f consumido na instalação de reciclagem no ano y (GJ/unidade de massa ou volume) – dado de fontes conhecidas (BEN)

$EF_{CO_2,y}$ = fator de emissão para o combustível fóssil tipo f consumido na instalação de reciclagem no ano y (tCO₂/GJ) – dado de fontes conhecidas (GHG Protocol)

Alternativamente, para plásticos, a metodologia permite o uso da seguinte equação:

$$PE_y = \sum Q_{i,y} \times SEC_{rec} \times EF_e$$

SEC_{rec} = O consumo específico de eletricidade para a reciclagem de plástico tipo i, use 0,83 MWh/t (3 GJ/t) para HDPE/LDPE/PET/PVC/PP.

- **Compostagem**

Emissões evitadas

A redução das emissões alcançada pela atividade do projeto será determinada como a diferença entre as emissões de linha de base e as emissões do projeto.

$$RE_y = EB_y - EP_y$$

Onde:

RE_y = redução de emissões no ano y - calculado

EB_y = emissões no cenário de linha de base no ano y - calculado

EP_y = emissões do cenário com projeto no ano y – calculado

Emissões na linha de base

O cenário de linha de base é a situação em que, na ausência da atividade do projeto, a biomassa e outras matérias orgânicas são deixadas para se decompor e o metano é emitido para a atmosfera. As emissões de linha de base são a quantidade de metano emitida pela decomposição do carbono orgânico degradável nos resíduos sólidos.

As emissões de linha de base devem excluir as emissões de metano que teriam que ser capturadas ou queimadas para cumprir os requisitos de segurança nacionais ou locais ou as regulamentações legais.

As emissões de metano geradas a partir do descarte de resíduos são determinadas com base na quantidade de metano que é capturada sob a atividade de projeto e a quantidade que seria capturada e destruída na linha de base (em decorrência de regulações, por exemplo):

$$EB_y = BE_{CH_4,SWDS,y} - MD_{y,reg} \times GWP_{CH_4}$$

A variável $BE_{CH_4,SWDS,y}$ é determinada usando a equação:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi_t \times (1 - f_y) \times GWP_{CH_4} \times (1 - OX) \times \frac{16}{12} \times F \times DOC_{f,y} \times MCF_y \times \sum_{x=1}^y \sum_j (W_{j,x} \times DOC_j \times e^{-k_j \times (y-x)} \times (1 - e^{-k_j}))$$

Onde:

x = anos no período em que o resíduo é depositado no local de descarte, desde o primeiro ano no período ($x = 1$) ao ano y ($x = y$)

y = ano final do período considerado para o cálculo

φ_t = fator de correção do modelo para contabilizar incertezas para o ano y – Tool 04

f_y = fração de metano capturada no local de descarte e queimada no ano y – ACM0001

OX = fator de oxidação (refletindo a quantidade de metano do local de descarte que é oxidada no solo ou outro material cobrindo o resíduo) – IPCC 2006

F = fração de metano no biogás (fração de volume) – IPCC 2006

$DOC_{f,y}$ = fração de carbono orgânico degradável (DOC) que se decompõe sob as condições específicas ocorrendo no local de descarte no ano y (fração de peso) – IPCC 2006

MCF_y = fator de correção do metano para o ano y – IPCC 2006

$W_{j,x}$ = quantidade de resíduo sólido do tipo j depositada no local de descarte no ano y (t) - Preenchido

DOC_j = fração de carbono orgânico degradável no tipo de resíduo j (fração de peso) - IPCC 2006; IPCC 2019

k = taxa de decaimento para o tipo de resíduo j (1/ano) – IPCC 2006; IPCC 2019

j = tipo de resíduo

$MD_{y,reg}$ = quantidade de metano que seria capturado e queimado no ano y para cumprir com as regulações vigentes (toneladas) - Preenchido

GWP_{CH_4} = Potencial de aquecimento global do CH_4 (tCO₂e/tCH₄) – AR6 (IPCC)

Emissões de Projeto

As emissões do projeto provenientes da compostagem ($PE_{COMP,y}$) são determinadas da seguinte forma:

$$PE_{COMP,y} = PE_{EC,y} + PE_{FC,y} + PE_{CH_4,y} + PE_{N_2O,y} + PE_{RO,y}$$

$PE_{COMP,y}$ = emissões de projeto associadas à compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{EC,y}$ = emissões de projeto do consumo de eletricidade associado à compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{FC,y}$ = emissões de projeto do consumo de combustíveis fósseis associado à compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{CH_4,y}$ = emissões de projeto de metano do processo de compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{N_2O,y}$ = emissões de projeto de óxido nitroso do processo de compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

$PE_{RO,y}$ = emissões de projeto de metano provenientes do escoamento superficial de águas residuais associadas à compostagem no ano y (tCO₂e/ano)

Enquanto as quatro primeiras variáveis podem ser calculadas a partir da quantidade de resíduos e valores *default* da metodologia, $PE_{RO,y}$ deve ser calculado a partir do volume de águas residuais de escoamento da instalação de compostagem no ano y (m³/ano) e a DQO média das águas residuais (t DQO/m³).

5. Recomendações

O cálculo de emissões evitadas é uma ferramenta que permite escalar soluções de descarbonização, bem como avaliar o impacto e a efetividade de metas de mitigação climática. Ela possibilita uma avaliação prospectiva com base nos resultados e dados esperados do projeto, que pode ser útil na avaliação dos impactos potenciais de projetos. Além disso, é possível fazer o acompanhamento temporal do desempenho institucional, ao permitir a observação da evolução do perfil de emissões evitadas e seu alinhamento às metas estabelecidas.

No contexto do PLAC-MG, a análise de metas de caráter amplo tende a reduzir o nível de detalhamento necessário para estimativas mais precisas de emissões evitadas, estimativas que, em geral, são realizadas no nível de projeto. Assim, para ampliar a aplicabilidade e a confiabilidade desse cálculo, torna-se importante promover aprimoramentos em processos, na qualidade e disponibilidade dos dados, nas metodologias empregadas e na forma de utilização dos resultados.

5.1. Indicadores e informações coletadas

A coleta de dados para a mensuração das emissões evitadas é um processo muito importante, e impacta diretamente na cobertura dos cálculos. Isto, pois, quanto maior a disponibilidade de dados específicos ao cálculo, menos premissas precisarão ser adotadas e, conseqüentemente, melhor a sua acurácia.

Conforme demonstrado nas explicações metodológicas, os cálculos de emissões evitadas demandam diferentes *inputs* que dependem do escopo do projeto e, conseqüentemente, da meta avaliada. Nesse contexto, é importante ter um processo bem estabelecido de coleta de dados. Além disso, deve-se incorporar o acompanhamento sistemático de novos indicadores que subsidiem os cálculos de metas de média e alta complexidade e permitam avaliar, de forma contínua, o desempenho associado às metas classificadas como de baixa complexidade. A ampliação do escopo de monitoramento favorece maior robustez analítica e melhor rastreabilidade dos resultados.

5.2. Bases e ferramentas de cálculo

Paralelamente, para garantir a ampliação da cobertura da mensuração, é fundamental estruturar e operacionalizar bases de dados robustas, bem como desenvolver ferramentas específicas para o tratamento das informações e para a estruturação metodológica do cálculo das metas de média e alta complexidade. Esse processo envolve a padronização de indicadores, a definição de critérios metodológicos claros e a adoção de rotinas sistemáticas de validação e atualização dos dados, assegurando confiabilidade, rastreabilidade e consistência nos resultados produzidos.

5.3. Atualização de dados e avanços metodológicos

A mensuração necessita de diversos dados, como fatores de emissão, que passam por avanços regulares. Adicionalmente, as metodologias utilizadas nos cálculos estão em constante evolução e aprimoramento, como o desenvolvimento de novas versões das metodologias no âmbito do Artigo 6.4 do Acordo de Paris.

Nesse sentido, recomenda-se um processo sistemático de revisão periódica das metas e metodologias adotadas, considerando a evolução contínua dos dados, das práticas técnicas e do contexto regulatório. Esse processo deve prever a atualização de fatores de cálculo, coeficientes e premissas, a avaliação de oportunidades de incorporação de cálculos de novas metas e o registro formal das alterações realizadas, assegurando adequado versionamento metodológico. A revisão contínua contribui para ganhos de precisão, maior aplicabilidade dos resultados e alinhamento com iniciativas nacionais e internacionais.

5.4. Transparência dos resultados

Por fim, os resultados produzidos devem ser apresentados com clareza e fundamentação técnica, contemplando a explicitação das premissas e fontes de dados, a descrição dos cenários avaliados e suas justificativas, bem como a indicação das incertezas, limitações metodológicas e eventuais lacunas identificadas.

O fortalecimento da transparência contribui para a credibilidade institucional, facilita auditorias e amplia o uso das informações por gestores e demais partes interessadas, podendo ser apoiado por relatórios padronizados, painéis de visualização e notas metodológicas.

Referências Bibliográficas

ANEEL, s.d. Relatório de Perdas de Energia. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/perdasenergias#!>

IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Waste. Chapter 2: Waste Generation, Composition and Management Data. 2006.

IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Waste. Chapter 2: Waste Generation, Composition and Management Data. 2019.

IPCC, 2023, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

MCTI, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2023. Fator médio - Inventários corporativos. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: nov. 2023.

WBCSD, 2023. W. B. C. F. S. D. Guidance on Avoided Emissions: Helping business drive innovations and scale solutions toward Net Zero, 2023. Disponível em: <https://www.wbcsd.org/Imperatives/Climate-Action/Resources/Guidance-on-Avoided-Emissions>. Acesso em: 4 set. 2023.

UK PACT

UK Partnering for Accelerated Climate Transitions (UK PACT) is a programme funded by the UK Government. UK PACT supports countries that strive to overcome barriers to clean growth and have high emissions reduction potential to accelerate their climate change mitigation efforts.

For any enquiries, please get in touch via email at communications@ukpact.co.uk