

Contribuições da SIS para a consulta pública da Taxonomia Sustentável Brasileira

Policy Brief



Ficha Técnica

Contribuições realizadas pela Associação Soluções Inclusivas Sustentáveis, no âmbito do projeto “Aprimoramento regulatório e conformidade do setor financeiro com metas de descarbonização”, apoiado pelo Instituto Clima e Sociedade (iCS), durante o período de consulta pública da Taxonomia Sustentável Brasileira

Coordenadora geral, coautora e revisora:

Luciane Moessa de Souza

Coautores: Ana Flávia Trevizan, Carine de Almeida Vieira, Guilherme Rodrigues Lima, Larissa Dias Rebouças e Reginaldo Joaquim de Souza

Contribuições: Suely Araújo, Observatório do Clima (Agropecuária, Florestas, Pesca e Aquacultura); Júlio Grillo, Fórum Permanente do São Francisco (Mineração), Shiguelo Watanabe, do Climainfo (Eletricidade e Gás), Paula Pollini e Eduardo Caetano Barbosa, do Instituto Água e Saneamento (Água e Esgoto) e Victor Argentino, do Instituto Pólis (Destinação de resíduos).

Março de 2025

Disponível *online* em:

<https://sis.org.br/guias-estudos-e-publicacoes-sis/>

SUMÁRIO

Apresentação.....	5
CNAE A: Agricultura, Pecuária, Florestas e Pesca	8
CNAE B: Indústrias Extrativas (Mineração).....	15
CNAE C: Indústria da Transformação.....	18
CNAE D: Eletricidade e Gás	41
CNAE E: Água e esgoto.....	68
CNAE E: Destinação de resíduos sólidos.....	82
CNAE F: Construção civil	92
CNAE H: Transporte, Armazenamento e Correio	98
Redução de desigualdades de gênero, raciais, socio-econômicas e regionais.....	105

1. APRESENTAÇÃO

A classificação de atividades econômicas e tecnologias quanto aos seus impactos climáticos e socioambientais pode ser realizada com distintos graus de abrangência e finalidades. Pode olhar para a economia como um todo ou pode decidir selecionar apenas atividades com benefícios climáticos ou socioambientais. Pode-se também reconhecer que há diferentes níveis de impactos (sejam eles positivos ou negativos) em termos de sustentabilidade ou pode-se adotar uma visão binária, como se somente fosse possível gerar ou não benefícios climáticos, ambientais ou sociais.

O envolvimento da SIS com o tema das Taxonomias Sustentáveis e afins (Verdes, Climáticas, Sociais) é uma decorrência de sua atuação na temática de regulações financeiras em matéria climática e socioambiental, incluindo o acompanhamento da elaboração de Taxonomias e seus princípios estruturantes mundo afora, bem como a elaboração de um projeto de lei sobre o assunto, no qual propomos, entre outros pontos, a visão faseada (em oposição à binária) e abrangente de atividades econômicas com impactos positivos e negativos, a partir de um estudo que lançamos na COP27 do Clima, com dez propostas para a Taxonomia brasileira. Eu costumo dizer que esse modelo que classifica tanto atividades cujo saldo é de benefícios como atividades cujo saldo é de riscos e danos (e que foi adotado em Taxonomias do Sudeste Asiático) permite saber, além do ponto aonde queremos chegar, qual o ponto de partida da

nossa economia. Não é possível negar, de fato, que grande parte dos portfólios de instituições financeiras está recheada de atividades com impactos negativos, e a transição sustentável de que precisamos envolve necessariamente também decisões de não financiar mais determinadas atividades, liberando assim o fluxo de capitais para atividades sustentáveis. Seria importante, portanto, dizer mais claramente que atividades é que devem deixar paulatinamente de receber aporte de capital.

Também entendemos que é inadequado mapear atividades econômicas quanto aos benefícios climáticos, ambientais e sociais gerados de forma separada (como fez a Taxonomia da União Europeia e muitas que seguiram o modelo), pois esses objetivos estão frequentemente imbricados, ao lado de eventuais prejuízos que também possam ser cogерados por cada atividade econômica, sendo necessário, isso sim, realizar um balanço dos diversos benefícios e prejuízos para se poder classificar as atividades.

Não é essa, contudo, a visão que permeia a Taxonomia Sustentável que vem sendo elaborada no Brasil, a qual foca exclusivamente nas atividades que contribuem para objetivos climáticos e sociais (os únicos a serem alegadamente incluídos por enquanto), além dos ambientais (a serem incluídos em fases futuras) – ou seja, enfocam-se somente benefícios, não se classificando as atividades que causam danos. E adotou-se também o modelo da Taxonomia da

UE, como se fosse possível separar a categoria de benefícios gerados por cada atividade econômica, quando na realidade é comum que uma mesma atividade gere benefícios tanto para mitigação quanto para adaptação às mudanças climáticas, além de haver co-benefícios ambientais e sociais.

Enquanto entidade que representa a sociedade civil no Comitê Consultivo da Taxonomia Sustentável Brasileira, muito cedo tivemos que aceitar que o modelo, porém, não estava em discussão. Para que nossa atuação fosse, então, propositiva e agregadora no contexto colocado, analisamos a fundo o rol de atividades proposto, apontando as necessidades de exclusão (que estão presentes nos setores primários da economia, Agropecuária e Mineração) e formulando diversas propostas de inclusões, seja aprimorando os requisitos para as atividades já propostas, seja sugerindo reclassificações, seja propondo várias novas atividades, inclusive setores econômicos inteiros, como a indústria de madeira, envolvida em altíssimos riscos de desmatamento (a principal causa de emissões de gases de efeito estufa no Brasil) em sua cadeia de produção, e a indústria têxtil, que tem impactos relevantes em cursos hídricos, afetando o principal risco climático físico, que é a escassez hídrica.

Não desistimos, porém, de defender a visão não binária, apresentando diversos exemplos de como se podem criar “tons de verde”, conforme o nível de contribuição à sustentabilidade, pois não faz sentido tratar da mesma forma atividades substancialmente distintas.

E, considerando que existe a intenção expressa na Taxonomia proposta de contribuir também com objetivos sociais de redução de desigualdades de gênero, etnia, sociais e regionais, buscamos sugerir atividades que tragam benefícios dessa natureza em todos os setores econômicos. Entendemos que a proposição do “índice de diversidade” para classificar o desempenho social de empresas não é suficiente para mobilizar o fluxo de capitais para atividades que beneficiem os grupos sociais mais vulneráveis. Não temos opinião contrária à sua criação, mas entendemos que não é ferramenta eficaz para a inclusão necessária da-

queles que são tradicionalmente excluídos da sociedade de consumo, mesmo em relação a direitos básicos, tais como moradia (para o setor de construção civil), acesso a água e esgoto (em que se destacam os sistemas alternativos ou descentralizados como essenciais para a universalização), energia elétrica, coleta de resíduos, transporte coletivo.

Também entendemos que o rol de atividades da Taxonomia deve espelhar o desenvolvimento tecnológico atual, de modo que diversas de nossas sugestões, sobretudo para os setores industrial, de eletricidade e de transporte, envolvem tecnologias de ponta, tais como o hidrogênio verde ou as baterias de água e sal.

Analisamos todos os setores econômicos agrupados por CNAE, com exceção do setor de serviços. Entendemos que o modelo adotado para seleção de atividades no CNAE A é particularmente preocupante, já que focou apenas nas principais culturas presentes na pauta de exportações brasileira e/ou que ocupam maior área, sem qualquer preocupação de incluir atividades com benefícios climáticos, ambientais e sociais de uma maneira mais ampla para o setor, mesmo quando a grande maioria das tecnologias elencadas poderia ser aplicada a diversas outras culturas e algumas também à criação de outros animais além do gado bovino. Também é inaceitável a não inclusão de restauração florestal e manejo florestal de florestas nativas – assim como a inclusão da pulverização aérea de agrotóxicos, que é ademais proibida em vários Municípios e Estados brasileiros, além de vários países, pelos riscos seríssimos que coloca para a saúde de trabalhadores rurais e comunidades, sem mencionar a sua ineficiência.

No setor de Mineração, sobressai a necessidade de inclusão de atividades de adaptação às mudanças climáticas, tendo em vista o risco do rompimento de barragens de rejeitos que foram projetadas para nível de chuvas muito inferior ao que temos atualmente, e a exclusão de minérios tradicionais, cujo uso predominante está muito distante da transição energética, sendo bastante questionável que o seu saldo de impactos seja de fato positivo, que dirá prioritário para inclusão numa Taxonomia Sustentável.

Quero agradecer especialmente a dedicação de toda a equipe técnica desse projeto, sem a qual nossa contribuição não seria a mesma nem qualitativa nem quantitativamente: Guilherme Lima (Construção civil, revisão do CNAE A e revisão da geração de energia por biomassa, no CNAE D), Carine Vieira (Água e Esgoto; Energia oceânica; Energia hidrelétrica; Indústria siderúrgica, metalúrgica e de cimento; Transportes), Reginaldo Souza (Geração de Energia por Biomassa e Hidrogênio Verde; Produção de biomassa e biocombustíveis; Destinação de resíduos; Indústria de produtos químicos inorgânicos; Indústria de vidro; Baterias de Água e Sal), Larissa Rebouças (Energia solar; Energia eólica; Transmissão e Distribuição de Energia; Indústria Têxtil) e Ana Flávia Trevizan (Indústria de Madeira). Eu sou a autora das nossas contribuições para os setores agrossilvopastoril e de Mineração, além de ter supervisionado e feito a primeira

revisão de todos os demais. Agradeço também aos revisores: Suely Araújo, do Observatório do Clima (CNAE A), Júlio Grillo, do Fórum Permanente do São Francisco (CNAE B), Shigueo Watanabe, do Climainfo (CNAE D), Paula Pollini e Eduardo Caetano Barbosa, do Instituto Água e Saneamento (CNAE E – Água e Esgoto) e Victor Argentino, do Instituto Pólis (CNAE E – Destinação de resíduos).

Esperamos que as propostas sejam cuidadosamente consideradas, com o rigor técnico e a ambição que o projeto de construção de uma sociedade e economia sustentável merece!

LUCIANE MOESSA

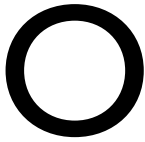
Diretora Executiva e Técnica da SIS

CNAE A

2

Agricultura, Pecuária,
Florestas e Pesca





O setor agrícola não foi incluído em todas as Taxonomias existentes. No caso da Pesca e Aquicultura, o Brasil é o primeiro a incluir. No caso da Agricultura e Pecuária, já incluíram esses setores em suas Taxonomias os seguintes países: África do Sul, Ruanda, China, Mongólia, Singapura, Sri Lanka, Colômbia, Costa Rica, México, Panamá e Geórgia. No caso do setor florestal, além desses, ele foi incluído na Taxonomia da União Europeia, mas não foi incluído nas Taxonomias da Geórgia e de Singapura. A Taxonomia da Indonésia não foi considerada por não estar traduzida para o inglês. Essas Taxonomias possuem vários elementos em comum, que serão indicados nas propostas

1º. ponto – Exclusões (questão 11.2):

- **Culturas anuais milho e soja – pesticidas e equipamentos para aplicação de pesticidas por via aérea** (pgs. 19 e 20)

Os riscos da pulverização aérea de pesticidas (chamados de agrotóxicos no Brasil) são abrangentes, intensos e bastante conhecidos, levando inclusive à sua proibição em diversos locais. Para ilustrar, trazemos algumas fontes.

Essa publicação da Fundação Heinrich Böll Stiftung em 2023 explica os graves riscos da pulverização aérea, além de indicar os diversos Municípios que a proibiram: [Pulverização aérea - Uma chuva que intoxica | Heinrich Böll Stiftung - Rio de Janeiro | Brasil](#). Consta nela: *“Agrotóxicos raramente permanecem no lugar onde foram aplicados. Fatores ambientais como o vento e a temperatura provocam o transporte de gotas desses químicos. Com a pulverização aérea, muito comum no Brasil, essa deriva vai ainda mais longe, alcançando povoados, plantações e áreas de proteção ambiental.”*

Uma audiência pública no Senado em maio passado debateu os riscos de mortes e doenças oriundas da pulverização aérea de agrotóxicos: [Pulverização aérea de agrotóxico pode causar doenças e até matar, dizem debatedores — Senado Notícias](#)

A Fundação FIOCRUZ já se manifestou em Nota Técnica em 2019 favoravelmente à proi-

bição de pulverização aérea de agrotóxicos: [nota_tecnica_pulverizacao_aerea_ce.pdf](#). Essa nota, além de apontar os inúmeros perigos à saúde pública e casos concretos de intoxicações e mortes no território brasileiro, indica que a aviação agrícola é de longe a mais perigosa, pela necessidade dos voos em baixa altitude, havendo inúmeros registros de acidentes, inclusive fatais.

Por fim, cabe ressaltar que nenhuma Taxonomia, de nenhum país, incluiu a aplicação de pesticidas químicos como “verde” ou “sustentável”. Pelo contrário, a Taxonomia de Singapura, que classifica também atividades danosas ao meio ambiente, adotando o modelo de cores dos sinais de trânsito, classifica o uso de determinados pesticidas (os previstos nas listas 1a e 1b da Convenção de Estocolmo ou em desacordo com a Convenção de Roterdã) como atividades “vermelhas”.

2º. ponto – Inclusões:

A proposta de Taxonomia brasileira adotou um modelo que se afasta de qualquer possibilidade de interoperabilidade, ao decidir focar apenas em algumas culturas. Apesar de considerarmos positiva a análise em nível de culturas que são economicamente representativas, além de culturas da lista oferecerem risco ambiental (caso do eucalipto, da pecuária de corte e da soja), o que pode gerar distorções nos critérios de sustentabilidade, entendemos que essa parte pode e deve ser acompanhada ou mesmo **precedida** da seleção de atividades que são válidas para toda e qualquer atividade agrícola, sob pena de se perder a oportunidade de classificar como sustentáveis inúmeras atividades que inclusive garantem a segurança alimentar do país. Na Taxonomia do México, por exemplo, 51 culturas alimentícias estão previstas expressamente, além de haver algumas categorias genéricas como “outras hortaliças” e “outros cultivos”. Na brasileira, toda a fruticultura e a horticultura estão excluídas, e o cultivo de grãos está incluído tão somente para duas culturas, muito usadas como ração animal (soja e milho). A maior parte da agricultura familiar e a maior parte da agricultura que alimenta a população está excluída. Por isso, sugerimos as seguintes **inclusões de atividades que podem ser classificadas como sus-**

tentáveis na agricultura e pecuária de modo geral (inclusive para aquelas que já foram incluídas na consulta pública, ou seja, soja, milho, cacau, café, pecuária bovina e eucalipto):

- **Sistemas de rastreabilidade** que permitam aferir a legalidade da origem dos produtos ou animais que tenham passado por outras propriedades rurais; por prevenir o desmatamento ilegal, esse tipo de atividade beneficia a **mitigação** das mudanças climáticas.

- **Sistema de plantio direto** – técnica que substitui a aragem e preserva a fertilidade do solo, evitando erosão, gerando assim benefícios de 3 ordens: **mitigação**, por evitar o uso de maquinário e combustíveis para aragem do solo; **adaptação às mudanças climáticas**, por evitar erosão e prolongar a fertilidade do solo, pois a escassez hídrica resultante das mudanças climáticas compromete a produtividade e a segurança alimentar; **uso sustentável do solo**, por razões já explicadas; pode ser usado para culturas temporárias e perenes, horticultura, cana-de-açúcar, entre outras; ainda que sob outras nomenclaturas, o sistema de plantio direto está previsto, por exemplo, nas Taxonomias do México, Colômbia e Panamá; sobre as possibilidades e limites do sistema, ver nota técnica de pesquisador da EMBRAPA: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/855711/1/comtec31-2005-plantio-direto.pdf>. O plantio direto está destacado no [plano da agricultura de baixo carbono \(Plano ABC\)](#) desde a origem da iniciativa, conforme também se pode ver [aqui](#).

- **Fixação biológica de nitrogênio, uso de esterco animal e outras formas de biofertilizantes** – são gerados benefícios de 3 ordens: **mitigação**, por evitar a emissão de óxido nítrico (um gás de efeito estufa), proveniente de fertilizantes nitrogenados (a maioria dos fertilizantes tem como componente principal nitrogênio ou fósforo); **adaptação**, por prolongar a fertilidade do solo, pois a escassez hídrica compromete a produtividade e a segurança alimentar; **uso sustentável do solo**, por razões já explicadas; além da prevenção da contaminação de cursos hídricos; como referências podem ser consultadas: [Fixação Biológica de Nitrogênio - Portal Embrapa, Biofertilizantes -](#)

[Portal Embrapa](#). A fixação biológica de nitrogênio é destacada no [Plano ABC](#), conforme também se pode ver [aqui](#).

- **Uso de biofertilizantes produzidos em escala industrial a partir do esgoto** – a EMBRAPA tem um projeto-piloto nesse sentido: [Programa Biofert - Embrapii](#). Os benefícios são os mesmos das demais formas de biofertilizantes.

- **Uso de biofertilizantes a partir do carvão vegetal (biochar)** – há referências no portal da EMBRAPA: [Inovação potencializa uso de bio-carvão como fertilizante na agricultura - Portal Embrapa; Biocarvão: multifuncionalidade no gerenciamento e reutilização de co-produtos agroindustriais. - Portal Embrapa](#). Os benefícios são os mesmos das demais formas de biofertilizantes, além de benefícios para **economia circular**.

Vale ressaltar que **o uso de biofertilizantes em substituição a fertilizantes químicos para caracterizar a atividade agrossilvopastoril como “verde” está previsto em todas as taxonomias**.

- **Análise do solo para uso mais eficiente de fertilizantes** – o critério quantitativo também é importante para evitar emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais. As taxonomias do México, Colômbia e Panamá, por exemplo, incluem essa atividade, que traz benefícios para a **mitigação** das mudanças climáticas.

- **Uso (com ou sem produção local) de fertilizantes provenientes de amônia produzida usando nanotecnologia, a partir de ar e água, em substituição ao uso de combustíveis fósseis** – os benefícios são os mesmos dos biofertilizantes, com ênfase na mitigação. A tecnologia é descrita nessa matéria do World Economic Forum: [Green ammonia – what is it and how could it cut emissions? | World Economic Forum](#) e também nesse relatório: [Clean ammonia - the decarbonised future of fertiliser](#).

- **Uso de sementes melhoradas mais resistentes a variações climáticas** – as pesquisas agropecuárias têm evoluído para criar varia-

ções resilientes à mudança do clima, havendo necessidade de disseminação dessa estratégia de **adaptação**, que já está prevista nas taxonomias da Colômbia, Panamá e Singapura, por exemplo.

- **Sistemas de integração lavoura-floresta, pecuária-floresta, lavoura-pecuária-floresta** – podem ser usados para diversas culturas temporárias, pecuária bovina e florestas apropriadas ao bioma, gerando benefícios de 3 ordens: **mitigação das mudanças climáticas**, em razão do sequestro de carbono em razão da cobertura florestal; **adaptação**, por evitar erosão e prolongar a fertilidade do solo, pois a escassez hídrica compromete a produtividade e a segurança alimentar; **uso sustentável do solo**, por razões já explicadas; a EMBRAPA possui um portal dedicado que indica como e quando esse sistema pode ser utilizado: [Integração Lavoura Pecuária Floresta - Portal Embrapa](#). A integração lavoura-floresta, pecuária-floresta e lavoura-pecuária-floresta é destacada no [Plano ABC](#), conforme também se pode ver aqui.

Essa técnica também está prevista em quase todas as Taxonomias, como as da Colômbia, México, Panamá e Ruanda.

- **Manejo adequado de dejetos animais** (para todo tipo de animais, não apenas gado, que já está incluído) – traz como benefício, entre outros, a **adaptação às mudanças climáticas**, por evitar contaminação hídrica; uma referência sobre como fazer pode ser encontrada em [Manejo dos Dejetos - Portal Embrapa](#); é uma tecnologia financiada no programa ABC desde 2010; a atividade está incluída (também para ovinos e caprinos) nas taxonomias da China, México, Colômbia e Panamá. O tratamento de dejetos animais é destacado no [Plano ABC](#), conforme também se pode ver [aqui](#).

- **Uso de biopesticidas** – considerando que agrotóxicos geram poluição hídrica e que a escassez hídrica é a principal consequência das mudanças climáticas, a sua substituição por biopesticidas traz como benefício, entre outros, a **adaptação às mudanças climáticas**, por evitar contaminação hídrica, já que a escassez hídrica é o principal risco climático físico; contribui também para a redução de desi-

gualdades sociais por conta dos graves riscos que a aplicação de agrotóxicos apresenta para a saúde de trabalhadores e comunidade do entorno; além disso, há benefícios para a **conservação da biodiversidade**. Também o uso de biopesticidas no lugar de pesticidas químicos está incluído em todas as Taxonomias.

Cabe também sublinhar que **o uso de biopesticidas em substituição a pesticidas químicos para caracterizar a atividade agrossilvopastoril como “verde” está previsto em todas as taxonomias**.

- **Substituição de pesticidas através do uso de frequências de luz** – a tecnologia foi [noticiada na grande imprensa](#) em 2023 e já existe uma empresa que oferece o serviço; os benefícios são os mesmos do uso de biopesticidas

- **Atividades que viabilizem a criação de cooperativas de comercialização de produtos da agricultura familiar ou de comunidades tradicionais, notadamente em regiões do país com dificuldades logísticas e necessidade de ganho de escala** – o benefício aqui é a **redução das desigualdades sociais, bem como das desigualdades regionais**. Além disso, os pequenos agricultores produzem, em regra, com muito menos agressões ao meio ambiente do que as grandes empresas do setor.

- **Uso de aditivos alimentares com o objetivo de reduzir a metanogênese na fermentação entérica** – o gás metano é um dos principais gases de efeito estufa e é um subproduto do processo digestivo do gado para o qual vem sendo desenvolvidas tecnologias de mitigação – a Taxonomia de Singapura faz essa inclusão. O benefício alcançado é a **mitigação** das mudanças climáticas.

- **Atividades que viabilizem o bem-estar animal em razão do aumento médio da temperatura** – o benefício aqui é a **adaptação** às mudanças climáticas, além da **mitigação** pela possível redução das emissões de metano em razão do aumento da produtividade.

- **Rotação de cultivos** – a rotação de culturas em benefício da fertilidade do solo é prevista em várias taxonomias, como as de México, Co-

Colômbia, Panamá e Ruanda. O benefício aqui é a **adaptação** às mudanças climáticas, que afetam a produtividade agrícola.

- **Uso de opções sustentáveis de tratamento de águas residuais, como áreas alagadas construídas, para melhorar a eficiência do tratamento** (recomendação IFC para o setor de agricultura) – o benefício aqui é a **adaptação** às mudanças climáticas, que reduzem a disponibilidade hídrica.

- **Manutenção de planícies aluviais funcionais para acomodar possíveis alagamentos e para áreas de risco de inundação a jusante** e elaboração de planos de contingência (recomendação IFC para o setor de agricultura) – o benefício aqui é a **adaptação** às mudanças climáticas, que aumentam o risco de inundações.

- **Serviços e equipamentos para uso de técnicas de agricultura de precisão, que aumentam a produtividade do solo** – o benefício aqui é a **adaptação** às mudanças climáticas, que reduzem a produtividade devido à maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, além da elevação da temperatura média. A inclusão de técnicas de agricultura de precisão é feita nas taxonomias do México, Singaoura, Sri Lanka e Geórgia, por exemplo.

- **Serviços e equipamentos que reduzam as perdas durante o transporte** – o benefício aqui é a **adaptação** às mudanças climáticas, que reduzem a produtividade devido à maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, além da elevação da temperatura média.

- **Investimentos que viabilizem ou favoreçam a comercialização local da produção** – o benefício aqui é a **mitigação** das mudanças climáticas, devido à redução de emissões GEE oriundas do transporte, além de beneficiar a segurança alimentar, pela redução de custos.

- **Instalações para geração local de energia elétrica oriunda de biomassa (por biodigestores) ou solar** – o principal benefício aqui é a **mitigação** das mudanças climáticas, mas também **adaptação**, considerando a escassez

hídrica e a excessiva dependência brasileira da matriz hidrelétrica. A atividade é incluída em diversas taxonomias, como as da Costa Rica, Colômbia, México, Panamá, Singapura e Sri Lanka.

- **Atividades de monitoramento e detecção precoce de incêndios florestais, usando satélites, drones inteligência artificial ou outras tecnologias eficazes** – os benefícios são **mitigação** das mudanças climáticas (para qualquer tipo de incêndio, que são causa relevante de emissões de gases de efeito estufa) e **adaptação** às mudanças climáticas (para incêndios de causas naturais). O CNAE da atividade é o 4322303 e ela está incluída nas taxonomias da Costa Rica e da Colômbia.

- **Fruticultura** – por se tratar de culturas perenes, há benefícios para a **mitigação** por conta do sequestro de emissões de gás carbônico.

- **Conservação do solo: uso de curvas de nível em solos inclinados, manutenção de cobertura de biomassa em pelo menos 80% da área e técnicas de prevenção de erosão** – o benefício aqui é a **adaptação** às mudanças climáticas, em razão do aumento da frequência e intensidade de secas, ventos e inundações que podem levar a alterações nas condições do solo. A atividade é incluída em diversas taxonomias, como da Colômbia, México, Panamá e Ruanda.

- **Extrativismo**, como no caso da castanha do Pará e qualquer produto florestal não-madeireiro – traz como benefício a **mitigação** das mudanças climáticas, devido à manutenção do carbono no solo propiciada; uma primeira referência de informação pode ser encontrada no Portal da EMBRAPA, mas o tema deverá ser aprofundado na linha da Bioeconomia: [Manejo Florestal Não Madeireiro - Portal Embrapa](#)

- **Construção de viveiros e plantio de mudas e manejo de sementes de espécies nativas da região** – atividade essencial para a restauração florestal, que traz como benefício a **mitigação** das mudanças climáticas, devido à captura do gás carbônico propiciada

- **Manejo de florestas nativas**, conforme defi-

nido pelos entes públicos competentes – traz como benefício a **mitigação** das mudanças climáticas, devido à manutenção do carbono no solo propiciada, evitando emissões, além da preservação da biodiversidade.

- **Silvicultura de espécies nativas** – traz como benefício a **mitigação** das mudanças climáticas, e a restauração da biodiversidade terrestre.

- **Conservação florestal** – também traz como benefício a **mitigação** das mudanças climáticas, devido à manutenção do carbono no solo propiciada, evitando emissões

- **Atividades de reflorestamento em excedente ao mínimo legal** – o benefício aqui é a **mitigação** das mudanças climáticas, seja pela captura de gases de efeito estufa, seja pela contribuição na manutenção do equilíbrio do ciclo de chuvas.

- **Restauração florestal com espécies nativas** – traz como benefício a **mitigação** das mudanças climáticas, devido à captura do gás carbônico propiciada e regulação do ciclo de chuvas

As atividades de manejo, conservação e restauração florestal estão previstas em todas as Taxonomias que incluíram o setor florestal, devido aos seus evidentes benefícios para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas (esse último em razão de sua influência no regime de chuva). Não faz nenhum sentido incluir apenas a regeneração natural assistida (incluída em poucas taxonomias, por sinal) quando é possível e necessário acelerar o processo, considerando a emergência climática.

- **Plantio de bambu em regiões com clima e relevo adequado** – dados os múltiplos possíveis usos da planta, inclusive na construção civil, como descrevem algumas fontes selecionadas dentre as múltiplas possíveis: [Bambu, a planta das 10 mil utilidades – Epagri](#); [Os usos do bambu](#); Os diversos usos do bambu na construção civil: [CM_COECI_2014_1_08.pdf](#). Traz como benefício a **mitigação** das mudanças climáticas, devido à captura do gás carbônico propiciada, e também a **adaptação**, devido às vantagens no uso do bambu.

- **Atividades de assistência técnica que viabilizem qualquer das atividades aqui elencadas** – gera benefícios para o(s) objetivo(s) ambiental(is) relativo à respectiva atividade.

3º. ponto: Considerações adicionais

1) Todas as atividades elencadas no item **“Não prejudicar significativamente”** outros objetivos ambientais devem ser reavaliadas, pois o risco de prejuízo deve ter relação com as atividades selecionadas, sendo um requisito para a classificação como “sustentável” que, ao se buscar um objetivo ambiental ou social, outro objetivo ambiental ou social não seja prejudicado.

Deveria, portanto, haver relação entre as atividades classificadas como sustentáveis e o risco de causar dano a outro objetivo. Por exemplo, a aquisição de equipamentos para pulverização aérea de pesticidas, indevidamente classificada como sustentável (pgs. 19 e 20, item 3), caso trouxesse algum benefício para mitigação ou adaptação às mudanças climáticas ou para o uso sustentável do solo (o que não é o caso, devido à altíssima taxa de dispersão), teria que preencher a condição de não prejudicar a proteção da biodiversidade e ecossistemas nem a saúde dos trabalhadores, desde que existisse algum tipo de tecnologia que viabilizasse isso (o que tampouco é o caso).

Ademais, o que se lê nesse elenco, na realidade, é um conjunto de atividades sustentáveis, sendo que não houve o cuidado de separar agricultura de pecuária, silvicultura, aquicultura e pesca, de modo que quase todos os requisitos que ali figuram (e que dependem eles próprios de financiamento) não se aplicam a todas as atividades. E a maioria delas deveria, ao menos no caso de pequenas e médias propriedades, figurar como um item elegível para financiamento por si só, sob pena de a Taxonomia ser altamente excludente e beneficiar apenas grandes imóveis rurais, o que não é coerente com os objetivos sociais definidos.

Sugere-se como requisitos para todas as atividades de agricultura, pecuária e silvicultura o seguinte:

- **Priorização absoluta do plantio e da pecuá-**

ria em áreas já desmatadas da propriedade, tendo em vista reduzir as emissões de gases de efeito estufa (a mudança de uso da terra responde por 46% das emissões brasileiras), auxiliar na adaptação às mudanças climáticas e na proteção da biodiversidade;

- Impossibilidade de financiamento a atividades em áreas desmatadas após dezembro de 2020

2) Pesca fluvial e aquicultura

O primeiro ponto que é importante salientar é que **não é possível vislumbrar nenhum benefício de mitigação das mudanças climáticas nas atividades incluídas**, podendo haver, isso sim, benefícios de redução das desigualdades sociais e regionais – e isso deveria ficar explícito.

O segundo ponto é que não há justificativa lógica para inclusão somente de determinados peixes. As diretrizes estabelecidas para o pirarucu deveriam ser válidas para a pesca artesanal fluvial de qualquer peixe. Da mesma forma, as diretrizes definidas para a aquicultura de tilápia e tambaqui devem ser estendidas para todas as espécies que podem ser objeto de aquicultura (como trutas e tantas outras). Sugere-se ainda que sejam elaboradas diretrizes para inclusão da pesca artesanal marítima, da qual dependem muitas comunidades litorâneas no país.

4º. ponto: Níveis de contribuição à sustentabilidade e enfrentamento das desigualdades

A mera construção de um índice para avaliar o desempenho social de uma empresa, como foi proposta, não é capaz de ter um impacto relevante no fluxo de capitais para a redução das desigualdades regionais, sociais, de gênero e de raça. Propomos assim que a gradação de 3 “tons de verde” para o setor agrícola seja baseada no porte do empreendimento agrícola, da seguinte forma:

a) Verde escuro – agricultura familiar e pesca artesanal

b) Verde médio – agricultura, pecuária, extrativismo ou piscicultura em pequenas propriedades (tal como definido na legislação)

c) Verde claro – agricultura, pecuária, extrativismo ou piscicultura em médias e grandes propriedades.

CNAE B

3

**Indústrias Extrativas
(Mineração)**



O setor de Mineração não foi incluído na grande maioria das Taxonomias existentes. A exceção é a Taxonomia chinesa. A Taxonomia da Indonésia não foi considerada por não estar traduzida para o inglês.

1º. ponto – Exclusões (questão 11.2):

Mineração de alumínio e ferro – esses dois minerais, de amplo uso na economia, não são essenciais ou críticos para a transição energética. Tampouco precisam de estímulos econômicos para terem maior acesso a capital, pois são minérios tradicionais e já amplamente explorados, muitas vezes de forma irresponsável, com impactos socioambientais devastadores e irreversíveis, como já ocorrido nas maiores tragédias planetárias envolvendo o setor de que se tem notícia e que ocorreram em território brasileiro.

Sua inclusão daria motivos a sérias acusações de greenwashing no sistema taxonômico brasileiro, já que o saldo ambiental dessas atividades é bastante negativo, mesmo quando a legislação pertinente é observada. Trata-se de atividades econômicas necessárias, porém de alto impacto negativo.

2º. ponto – Inclusões:

a) Adaptação às mudanças climáticas – riscos decorrentes do aumento do volume de chuvas

O setor de mineração está exposto a riscos climáticos físicos decorrentes do aumento do nível de precipitações pluviométricas verificado nas últimas décadas, muito superior às projeções utilizadas quando da construção de barragens e mesmo de novas estruturas, como pilhas de rejeitos. A Resolução ANM 095/22, no seu artigo 24, regulamenta o dimensionamento dos sistemas extravasores de água das barragens e o baseia em chuvas decamilenares ou PMP (Precipitação Máxima Provável). De acordo com a FEAM (órgão ambiental de Minas Gerais)¹, as barragens de mineração no Estado resistem a um máximo de 350 mm/dia quando calculados pelo critério de chuvas decamilenares ou 400 mm/dia quando calculados pela

PMP, o que significa que são estruturas insuficientes para resistir ao volume de chuvas que temos visto recentemente. Como exemplo, podemos mencionar: 534,4 mm em 24 h, em Petrópolis, em 15/02/2022; 683 mm em 24 h, em São Sebastião/Bertioga, em 19/02/2023; 417 mm em 12 horas, em Santa Cruz de Cabrália, em 21/04/2023.

Propomos assim a inclusão das seguintes atividades com vistas à adaptação às mudanças climáticas pelo setor de mineração:

- Descomissionamento de barragens de rejeitos;
- Medidas que gerem incremento na frequência ou qualidade do monitoramento da segurança de barragens e pilhas de rejeitos e estéreis;
- Obras de reforço da segurança das estruturas de destinação de rejeitos, sejam barragens e seus taludes frontais e laterais, ou pilhas de rejeitos e estéreis, com base em cálculo atualizado dos sistemas de extravasamento de águas pluviais, considerando os cenários climáticos plausíveis para o período previsto para a vida ativa da barragem ou permanência da pilha de rejeitos, e também as erosividades decorrentes das chuvas.

b) Mitigação de riscos de degradação da biodiversidade (terrestre, lençol freático, cursos hídricos)

A biodiversidade terrestre é fonte natural de captura de gás carbônico, o principal gás de efeito estufa - daí a necessidade de sua conservação. O principal risco climático físico é a escassez hídrica, de modo que devemos maximizar os esforços para não contaminar e para descontaminar os cursos hídricos. Investir em atividades que minimizem a poluição ou reduzam a geração de resíduos traz benefícios, portanto, para mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Vale referir que algumas das atividades aqui referidas estão incluídas na Taxonomia chinesa, que, para o setor de mineração, está focada em remediação da contaminação hídrica e do solo.

¹Vide Anexo 4 – página 130 da NT-06-2023 do FPSF. Disponível em: <https://www.forumsaofrancisco.eco.br/biblioteca/notas-tecnicas/1>

Sugerimos, portanto, a inclusão das seguintes atividades:

- Reciclagem e/ou recuperação de metais das águas residuais;
- Descontaminação do solo por metais pesados;
- Reaproveitamento de rejeitos de minérios na construção civil, como tijolos, areia bruta, base e sub-base de pavimentação asfáltica;
- Aproveitamento energético de resíduos (incineração), desde que adotados os limites legais para evitar poluição atmosférica e emissões de gases de efeito estufa;
- Deságue dos rejeitos antes do depósito em barragens;
- Depósito de rejeitos em cavas exauridas, devidamente impermeabilizadas;
- Reabilitação ambiental de áreas de minas encerradas, viabilizando outros usos para o espaço.

c) Mitigação de mudanças climáticas (emissões de gases de efeito estufa)

- Aquisição ou reforma de caminhões para o transporte que usem combustíveis renováveis, como biometano e eletricidade, além de possuir sistema híbrido que recupera energia cinética gerada durante a frenagem e a armazena em ultracapacitores para aumentar a eficiência no uso de combustíveis.
- Uso de hidrogênio verde em substituição a carvão (mineral ou vegetal) na fase de desoxidação do minério.

• Requisitos de não causar dano significativo a outros objetivos ambientais:

a) Proteção e restauração da biodiversidade terrestre:

É preciso exigir compensação de todas as áreas desmatadas para a extração de minério, considerando o tempo necessário para cresci-

mento para considerar o balanço de emissões e a perda de biodiversidade.

b) Uso sustentável de recursos hídricos:
Não devem ser admitidos rebaixamentos de lençóis freáticos que não se comprovem tecnicamente reversíveis, dados os danos que isso ocasiona às nascentes de cursos hídricos.

CNAE C

4

Indústria da
Transformação



SUMÁRIO

1º. ponto – Exclusões	19
2º. ponto – Inclusões.....	19
C1: Produção de ferro e aço.....	19
C2: Produção de alumínio.....	22
C3: Produção de cimento.....	25
C4: Produção de biomassa e biocombustíveis.....	28
C6: Produção de produtos químicos inorgânicos	29
C8: Produção de vidro.....	30
C10: Indústria de madeira.....	32
C11: Indústria têxtil	35
C12: Fabricação de bicicletas.....	37
C13: Processos de dessalinização na geração e armazenamento de energia e como fonte hídrica em processos industriais	37

1º. ponto – Exclusões:

Não foram identificados pontos cuja exclusão se sugere.

2º. ponto – Inclusões:

Foram analisados os setores de siderurgia (ferro e aço), metalurgia (alumínio), cimento, produção de biomassa e biocombustíveis, produção de produtos químicos inorgânicos e produção de vidro. São sugeridos, tendo em conta sua relevância econômica e grau de riscos e impactos climáticos e socioambientais, a inclusão da indústria de madeira e da indústria têxtil. São sugeridos também, em razão de seus benefícios climáticos, a inclusão da fabricação de bicicletas e dos processos de dessalinização na geração e armazenamento de energia e como fonte hídrica em processos industriais. Os demais setores industriais não foram analisados.

Não foram formuladas sugestões específicas de níveis de sustentabilidade para todos os

setores, mas sugere-se que essa construção também seja realizada para os demais, definindo-se níveis de acordo com o grau de benefícios climáticos ou socioambientais propiciados pela tecnologia ou atividade.

C1: Produção de ferro e aço

No setor de siderurgia, sugere-se a inclusão das seguintes tecnologias aptas a contribuir com a mitigação das mudanças climáticas:

- **Forno elétrico a arco com corrente contínua (DC EAF):** os fornos elétricos a arco com corrente contínua tendem a ter uma maior eficiência energética em comparação aos fornos de corrente alternada. A operação mais estável do arco elétrico em corrente contínua resulta em menos flutuações e perdas de energia, levando a um menor consumo de eletricidade por tonelada de aço produzido. Isso é crucial, já que um menor consumo de energia elétrica, especialmente se derivada de fontes renováveis, pode reduzir significativamente as

emissões associadas à produção de aço. Segundo estudo da CETESB (2018), as principais vantagens dos FEA corrente contínua em relação aos de corrente alternada é a redução no consumo de energia, redução no consumo de refratário e redução do efeito *flicker*¹. O forno elétrico com corrente contínua gera uma redução de 25kWh/t aço, ou seja a 0,015 tCO₂/t aço, totalizando uma redução de 2% das emissões. Sugerimos a integração dessa tecnologia enquanto uma tecnologia de baixo carbono para a indústria siderúrgica, inclusive sendo citada pela bibliografia como uma alternativa em estudos que visam a produção de baixo carbono para a indústria siderurgia brasileira (CETESB, 2018).

- Sistema de pré-aquecimento de sucata com alimentação contínua do forno a arco elétrico (Sistema Consteel): o sistema Consteel é uma inovadora tecnologia utilizada em fornos elétricos a arco que permite o carregamento contínuo de sucata, eliminando a necessidade de carregamento tradicional com cestos. A sucata é pré-aquecida em um túnel que utiliza os gases de exaustão do forno, alcançando temperaturas acima de 600°C, o que melhora a eficiência energética do processo. Algumas vantagens dessa tecnologia podem ser citadas (CETESB, 2018): a) o carregamento de sucata de forma contínua, eliminando o carregamento tradicional que utiliza cestos, otimiza o processo ao permitir que a sucata seja inserida no forno de maneira constante; b) ao pré-aquecer a sucata utilizando os gases quentes do forno, o sistema reduz a quantidade de energia necessária para o processo de fusão da sucata; c) ao se usar grandes quantidades de sucata, contribui com a reciclagem e menor uso de recursos naturais; d) devido à maior seção transversal do túnel de pré-aquecimento em comparação com um duto de exaustão convencional, a velocidade dos gases é menor, o que faz com que partículas maiores se depositem no fundo e sejam recicladas pela sucata

de volta ao forno. Isso permite a reciclagem de 20% a 30% do pó produzido no FEA, reduzindo significativamente os custos ambientais. Sugere-se também a inclusão expressa dessa tecnologia, reconhecida como uma solução de baixo carbono na siderurgia.

- Combustíveis alternativos: embora a TSB já mencione o biometano, existem diversas outras opções, como o hidrogênio verde, a biomassa proveniente de resíduos e até de resíduos sólidos urbanos. No Brasil, o uso do carvão vegetal já é uma prática comum, embora apenas cerca de 11% do aço brasileiro seja obtido através do carvão vegetal (CNI, 2017). Segundo Campos, Assis e Novack (2018), as biomassas podem ser utilizadas no processo de produção de aço, resultando em uma redução de cerca de 40% nas emissões de CO₂ e de 20% nos custos dos processos. Todavia, embora o uso do carvão vegetal possa representar uma alternativa ao carvão mineral através de menos emissões GEE, no Brasil ele é produzido principalmente a partir de plantações de eucalipto. Essa espécie consome grandes volumes de água e pode reduzir a biodiversidade, e conseqüentemente agravar impactos ambientais em um cenário de intensificação das mudanças climáticas e aumento do estresse hídrico. Nesse contexto, o hidrogênio verde se destaca como uma alternativa promissora para a mitigação das emissões de CO₂, sendo um combustível de baixo impacto ambiental quando produzido a partir de fontes renováveis. Destaca-se que a [Alemanha já aprovou, para o próximo ano, a maior rede de hidrogênio do país](#), utilizando gasodutos originalmente projetados para o transporte de gás natural. Essa iniciativa visa reduzir a dependência do gás natural na indústria e fortalecer o uso do hidrogênio verde.

• Tecnologias que podem ser inseridas em indústrias que ainda usam alto forno enquanto retrofit:

¹ O efeito flicker é um fenômeno caracterizado pela oscilação na intensidade da luz emitida por lâmpadas e outros dispositivos de iluminação, causado por variações na tensão elétrica da rede. Essas oscilações podem ser perceptíveis a olho nu ou apenas detectáveis por instrumentos de medição, e podem gerar desconforto visual, fadiga ocular e até impactos na saúde em ambientes industriais ou domésticos. No contexto de fornos elétricos a arco (FEA), especialmente os de corrente alternada, o efeito flicker ocorre devido à grande variação da carga elétrica durante o funcionamento do forno, que afeta a estabilidade da rede elétrica. Isso acontece porque os FEAs consomem energia de forma intermitente e desigual, causando flutuações na tensão e, conseqüentemente, oscilações na intensidade da luz das lâmpadas conectadas à mesma rede elétrica. Os FEAs de corrente contínua reduzem significativamente esse efeito porque apresentam um consumo de energia mais estável, minimizando as variações de tensão e, assim, reduzindo o impacto sobre a rede elétrica e a iluminação.

- **Uso de tecnologias de captura de CO₂ no processo produtivo:** fábricas que ainda utilizam altos-fornos movidos a coque são grandes emissoras de CO₂ e geram significativa poluição. Esses fornos, que atingem temperaturas de até 1500°C durante o processo produtivo, representam investimentos de longo prazo, permanecendo em operação por muitos anos.

Uma estratégia para mitigar essas emissões é a adoção de tecnologias de captura de CO₂ diretamente no alto-forno. Segundo DIAS (2013), essa abordagem envolve a substituição do ar convencional por oxigênio puro na alimentação do forno. Sem os demais componentes do ar, os gases exaustos passam a ter uma concentração muito maior de CO₂, facilitando sua captura por absorventes físicos. Após a separação do CO₂, o gás resultante, rico em monóxido de carbono (CO), é recirculado para o alto-forno, contribuindo para a redução e a queima do minério. Dessa forma, o processo se torna mais eficiente, combinando a injeção de oxigênio puro (O₂) com o reaproveitamento do gás reciclado. Ainda assim, uma quantidade mínima de coque continua sendo necessária para a redução.

Essa tecnologia pode capturar até 70% das emissões de CO₂ de uma usina siderúrgica integrada. A principal solução nesse contexto é o Top Gas Recycling Blast Furnace (TGRBF), um sistema desenvolvido há décadas, mas que apenas recentemente começou a ser aplicado para a captura de CO₂. Além dos absorventes físicos, outras técnicas podem ser utilizadas, como o adsorvente sólido do tipo “vacuum pressure swing adsorption” (VPSA), a absorção química com solventes como MEA (não recomendável devido à alta demanda de energia térmica) e o uso de membranas seletivas para a separação do CO₂ (DIAS, 2013; CETESB, 2018). Destaca-se que vários players internacionais a estão implementando, tais como [Emirates Steel Arkan](#), [ArcelorMittal](#) e [U.S. Steel](#), e essa pode ser uma tecnologia chave para reduzir as emissões de CO₂ na siderurgia.

• **Requisitos elencados no item “Não prejudicar significativamente a outros objetivos ambientais”**

a) Proteção e restauração da biodiversidade e ecossistemas: sugere-se a inclusão de sistemas para garantir a **rastreabilidade da legalidade da matéria-prima**, considerando que o garimpo ilegal faz parte da realidade brasileira, com impactos socioambientais consideráveis. Isso assegurará que o setor siderúrgico não apenas seja de baixo carbono, mas também preserve a biodiversidade e os ecossistemas.

b) Uso sustentável do solo e conservação, manejo e uso sustentável das florestas: nesse aspecto, sugere-se a inclusão do rastreamento sobre a origem do eucalipto, visto que ele é a principal matéria-prima para o carvão vegetal no Brasil, representando cerca de 75,8% do total, segundo a [IBÁ \(2022\)](#). Embora o carvão vegetal seja uma fonte menos poluente em termos de emissões de gases de efeito estufa, mais de 94% (RAMOS et al, 2023) de sua produção provém dessa espécie. Apesar de sua alta produtividade, o eucalipto pode gerar impactos ambientais relevantes, como redução da biodiversidade e estresse hídrico. Estudos indicam que plantações próximas a rios e riachos podem comprometer a qualidade da água, afetando o abastecimento humano, o consumo animal, a irrigação agrícola e a pesca. [Quando ele é plantado até a margem de um rio, por exemplo, temos como prejuízo o rebaixamento do lençol freático do curso d'água.](#) Destaca-se que o eucalipto, quando plantado de forma adequada e em regiões apropriadas, não causa danos ambientais significativos. Diante desses fatores, recomenda-se cautela, e a necessidade de garantia de que mesmo as plantações certificadas sigam normas rigorosas para mitigar seus impactos ambientais.

• **Parâmetros quantitativos**

O Brasil tem a primeira empresa carbono neutro no mundo, [Aço Verde Brasil](#), que se consolidou como sendo a primeira a produzir aço de praticamente zero emissões a partir de 2018, se se considera o “crédito” decorrente da venda de escória para a produção de cimento. A empresa adota a produção integrada utilizando carvão vegetal reflorestado, principal matéria-prima dos altos-fornos, que é carbono zero. Além disso, emprega diversas tecnologias, como o reúso de 100% dos gases de processo,

com o objetivo de eliminar o uso de combustíveis fósseis e promover a reutilização de resíduos sólidos, garantindo a sustentabilidade do produto. Esse exemplo destaca o grande potencial do Brasil para seguir essa direção. No entanto, a emissão do setor ainda é superior à média mundial, e o Aço Verde Brasil se destaca como um caso bem-sucedido, mas isolado.

Nesse contexto, sugere-se a adoção de parâmetros quantitativos semelhantes aos resultados obtidos pela Aço Verde Brasil, que registrou cerca de 0,06 toneladas de CO₂ por tonelada de aço produzido, como seu pior desempenho entre os anos de 2018 e 2022, embora ainda bem abaixo da média mundial de 1,8 (AVB, 2024).

• Níveis de contribuição à sustentabilidade

Propõe-se a classificação das atividades em diferentes **níveis de sustentabilidade**, representados por tons de verde, com base nos graus de emissão de gases de efeito estufa e eficiência energética na indústria siderúrgica:

Verde claro: instalações que não atendem ao critério quantitativo de emissões de CO₂, mas emitem até 100% a mais, ou seja, até 0,12 toneladas de CO₂ por tonelada de aço produzido; projetos visando implantação de biometano e biomassa como combustíveis

Verde escuro: instalações que atendem ao critério quantitativo de emissões de CO₂, ou seja, de 0,06 toneladas de CO₂ por tonelada de aço produzido; projetos visando implantação de hidrogênio verde como combustível.

// Referências:

AVB - AÇO VERDE DO BRASIL S.A. **Framework de Finanças Verdes**. Junho de 2024. Disponível em: <https://ri.avb.com.br/Download.aspx?Arquivo=znDgUtRYe4Lquwncx21/hg==>. Acesso em: fev, 2025.

CAMPOS, A.M.A.; ASSIS, P.S.; NOVACK, K.M. BIOMASSAS NA SIDERURGIA. In: **48º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 6º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro**, 2018.

CETESB. **Estudo de baixo carbono para a indústria siderúrgica no Estado de São Paulo de 2014 a 2030**. São Paulo: CETESB, 2018. 1 arquivo de texto (108 p.). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: fev. 2025.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **A indústria do aço no Brasil**. Brasília: CNI, 2017.

DIAS, F. S. **Captura e armazenamento geológico de carbono (CCGS) como projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) aplicado à Bacia de Campos**. 2013. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

RAMOS, D. C., CARNEIRO, A. DE C. O., SIQUEIRA, H. F. DE, OLIVEIRA, A. C., & PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira e do carvão vegetal de quatro clones de *Eucalyptus* com idades entre 108 e 120 meses. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 1, p. e48302, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509848302>. Acesso em: fev, 2025.

C2: Produção de alumínio

O Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita do mundo, o que, combinado ao grande potencial hidráulico, às condições geográficas favoráveis e à tradição industrial na metalurgia, posiciona o país como o sexto maior produtor mundial de alumínio primário, atrás de Estados Unidos, Rússia, Canadá, China e Austrália.

As emissões de dióxido de carbono no setor ocorrem principalmente durante a eletrólise e a geração de energia, especialmente quando esta última é baseada em carvão fóssil. Na eletrólise, a maior parte do CO₂ resulta da reação química entre o ânodo de carbono e a alumina, embora alguma quantidade também seja gerada quando o ânodo interage com outras fontes de oxigênio, como o do ar. Além disso, a eletricidade usada na fundição contribui para emissões adicionais de gases de efeito estufa, cujo nível e composição variam conforme o tipo de combustível empregado na geração de energia.

Outras fases da produção de alumínio, como o refinamento da bauxita e a fabricação dos ânodos, também geram emissões de CO₂, mas em menor escala. Quase todo o dióxido de carbono é produzido no processo de geração de energia ([Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006](#)). Segundo [estudo da ABAL](#), em 2010, a intensidade de emissões da produção de alumínio primário no Brasil era de 2,666 tCO₂

por tonelada de alumínio, enquanto a média mundial era de 9,635 tCO₂ por tonelada. Isso significa que a pegada de carbono do alumínio brasileiro era cerca de 72% menor do que a média global. Para reduzir ainda mais o impacto ambiental do setor, duas estratégias se destacam: melhorias no próprio processo produtivo e aumento da eficiência energética. Uma série de tecnologias visando esses processos podem ser citadas, entre as mais avançadas e que são consideradas hoje nos planos tecnológicos de grandes empresas de produção de alumínio são descritas a seguir:

- Novas tecnologias de baixo carbono: a produção de alumínio primário consome grandes quantidades de energia e gera emissões significativas de CO₂, principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis na geração de calor para os processos térmicos. Para mitigar esse impacto, tecnologias como a **Recompressão Mecânica de Vapor (MVR)** e a **Calcinação Elétrica** estão sendo exploradas, ambas citadas no [roadmap tecnológico da Alcoa Corporation](#) para descarbonização em larga escala. A MVR, já aplicada em outros setores industriais, está sendo testada na produção de alumínio como alternativa para otimizar o consumo energético e reduzir emissões. Já a Calcinação Elétrica substitui os calcinadores convencionais movidos a combustíveis fósseis, permitindo que o processo opere com eletricidade proveniente de fontes renováveis. Além disso, essa tecnologia possibilita o reaproveitamento da umidade presente na bauxita, reduzindo a necessidade de consumo de água adicional.

Outra tecnologia que merece destaque é a **HalZero**, que, em vez de emitir CO₂, libera oxigênio. Nos processos tradicionais de eletrólise, a reação entre a alumina (óxido de alumínio) e o carbono gera CO₂ durante a produção de alumínio primário. Já a tecnologia exclusiva HalZero transforma a alumina em cloreto de alumínio antes da eletrólise,

mantendo o cloro e o carbono em um ciclo fechado. Com isso, as emissões de CO₂ são eliminadas, e o processo passa a liberar oxigênio. Se bem-sucedido, esse processo eliminará completamente a descarbonização da fusão do alumínio, eliminando emissões tanto da eletrólise quanto do cozimento do ânodo. Isso resultará em uma tecnologia de fusão livre de emissões. Essa é a aposta da Hydro para alcançar a produção de alumínio neutro em carbono em suas instalações. Outra tecnologia semelhante, atualmente nas fases finais de teste, é a **ELYSIS**. Ela elimina todas as emissões de gases de efeito estufa do processo tradicional de fundição de alumínio, gerando oxigênio como subproduto. Um projeto em escala industrial já está em desenvolvimento em Quebec, no Canadá, com previsão de entrada em operação em 2027.

Outra tecnologia promissora é o uso de **hidrogênio verde** na produção de alumínio. A Hydro realizou recentemente testes bem-sucedidos, ainda em fase experimental, demonstrando o potencial do hidrogênio para substituir combustíveis fósseis em processos de aquecimento de alta temperatura. O primeiro lote produzido em escala industrial foi produzido em uma fábrica em Navarra, na Espanha, marcando um avanço inédito no uso do hidrogênio como fonte de energia na fabricação de alumínio.

A adoção dessas soluções representa um avanço significativo rumo à neutralidade de carbono no setor, uma vez que grande parte das emissões de CO₂ na produção de alumínio decorre da queima de combustíveis fósseis para geração de energia e do uso de ânodos de carbono na eletrólise da alumina². Além dessas tecnologias, diversas outras estão em desenvolvimento³. Por isso, recomenda-se que a TSB seja atualizada periodicamente para acompanhar os avanços tecnológicos do setor.

²Uma alternativa promissora para reduzir as emissões de CO₂ nesse processo é o uso de ânodos inertes, que não se consomem durante a eletrólise. Embora ainda não estejam amplamente implementados em escala industrial, os ânodos inertes estão em fase avançada de pesquisa e desenvolvimento. Por exemplo, a empresa alemã Trimet, em parceria com o Instituto Fraunhofer, está desenvolvendo ânodos metálicos inertes para viabilizar uma produção de alumínio mais eficiente e neutra em carbono (<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=como-descarbonizar-producao-aluminio>).

³RATHMANN, 2017.

• Parâmetros quantitativos

- Energia

Segundo Ferreira (2014), o consumo de energia para a produção de alumínio primário é de 15,613 MWh por tonelada, enquanto a reciclagem a partir de sucata demanda apenas 0,7069 MWh por tonelada. Já em 2020, de acordo com a [ABAL](#) (Associação Brasileira do Alumínio), a eficiência energética melhorou, reduzindo o consumo para 14,3 MWh por tonelada de alumínio primário. Um dos meios de melhorar a eficiência energética é via processamento de resíduo reciclado de alumínio, visto que reduz em até 95% o consumo de energia.

Nesse sentido, sugere-se que o parâmetro adotado seja a redução do consumo energético pela metade, o que pode ser alcançado via maior aproveitamento dos resíduos e adoção de tecnologias mais eficientes.

- Emissões

Em relação às emissões, em 2018, a média global era de 16 tCO₂ por tonelada de alumínio primário produzido (International Aluminium Institute, 2021), enquanto no [Brasil](#) esse valor varia entre 4,5 e 6,5 tCO₂ por tonelada, refletindo a menor intensidade de carbono da produção nacional. Estudo do International Aluminium Institute (2021) analisou cenários para a produção de alumínio até 2050, apresentando três possibilidades. No cenário “business as usual”, a média global de emissões de CO₂ se manteria relativamente estável. Já em cenários mais ambiciosos, as emissões poderiam ser reduzidas para 0,5 t CO₂/t Al no Sustainable Development Scenario (SDS) ou 2,5 t CO₂/t Al no Beyond 2°C Scenario (B2DS). Vale destacar que essas metas são globais e partem de uma intensidade de emissões significativamente maior do que a registrada no Brasil.

Uma das principais estratégias para a descarbonização da produção de alumínio é a eletrificação dos processos industriais com o uso de energias renováveis. Nesse sentido, apesar do Brasil ainda utilizar combustíveis fósseis em algumas etapas, sua matriz energética coloca o país em uma posição privilegiada para a transição sustentável.

No entanto, a Taxonomia da União Europeia estabelece padrões bastante ambiciosos, servindo como referência para que o Brasil siga na mesma direção. De acordo com esses critérios, a produção de alumínio primário deve gerar emissões inferiores a **1,484 tCO₂e por tonelada de alumínio produzido, além de manter a intensidade de carbono média indireta abaixo de 100 g CO₂e/kWh**. Diante desse cenário, **recomenda-se que a Taxonomia Sustentável Brasileira (TSB) adote, no mínimo, os mesmos parâmetros da taxonomia europeia**, visto que o Brasil já está na vanguarda quando comparamos o cenário atual.

- Materiais reciclados

A produção de alumínio a partir de material reciclado gera uma economia energética significativa, estimada em cerca de 95% em comparação à energia consumida na produção do alumínio primário, segundo dados da Alcoa. Além disso, para cada tonelada de alumínio reciclado, evita-se a extração de aproximadamente 5 toneladas de bauxita, reduzindo também em 95% o consumo de energia em relação ao processo primário. Ademais, o alumínio é um material que pode ser reciclado indefinidamente⁴.

Dessa forma, fica evidente a importância de incentivar a reciclagem do alumínio, pois, além da economia de energia, ela reduz a necessidade de extração de matéria-prima, mitigando os impactos ambientais associados à mineração e ao processamento da bauxita. **Nesse sentido, sugere-se a inclusão do parâmetro de que pelo menos 90% de toda produção de alumínio seja realizada através de alumínio reciclado**. Segundo [estimativas da ABAL](#), hoje, cerca de 60% de todo alumínio consumido no Brasil é reciclado. Assim, a meta de 90% é factível.

• Níveis de contribuição à sustentabilidade

Propõe-se a classificação das atividades em diferentes **níveis de sustentabilidade**, representados por tons de verde, com base na emissão de gases de efeito estufa, eficiência energética e porcentagem de reciclagem:

a) Verde claro: instalações que atendem ao critério quantitativo de emissões de CO₂.

⁴<https://saneamentoambiental.com.br/index.php/noticias/cerca-de-60-do-metal-usado-no-brasil-tem-origem-na-reciclagem>

b) Verde médio: instalações que atendem ao critério quantitativo de emissões de CO₂ e eficiência energética.

c) Verde escuro: instalações que atendem ao critério quantitativo de emissões de CO₂, eficiência energética e participação de alumínio reciclado na produção.

// Referências:

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: relatórios de referência, emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais e por uso de solventes**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima, [ano]. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima>.

FERREIRA, A. C. M. B.; FARIA, A. M. M.; RIBEIRO, A. R.; AZEVEDO JUNIOR, W.; DOMINGOS, H.; MANSO, J. R. P. Reciclagem de alumínio e estimativa de poupança de energia no Brasil. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 4, n. 1, p. 75-88, jan./dez. 2014.

INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. **Aluminium sector greenhouse gas pathways to 2050**. Setembro de 2021. Disponível em: <https://international-aluminium.org>.

RATHMANN, Régis (org.). **Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de metalurgia de metais não ferrosos**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; ONU Meio Ambiente, 2017.

C3: Produção de cimento

Globalmente, 30% a 40% das emissões diretas de CO₂ na produção de cimento vêm da queima de combustíveis, enquanto 60% a 70% decorrem da calcinação do calcário, e cerca de 5% são emissões indiretas associadas ao consumo elétrico. No Brasil, os percentuais são semelhantes, com a queima de combustíveis representando 36% e a calcinação 63% das emissões. No entanto, devido à matriz elétrica predominantemente renovável (74%), a parcela de emissões indiretas no país é de apenas 1%, significativamente abaixo da média global de 5% (SNC, 2019). Além disso, as despesas com combustíveis e energia elétrica representam

mais de 50% na formação do custo direto de produção em uma fábrica de cimento (PA-SISHNYK, 2016)⁵. Nesse sentido, fica evidente a necessidade de priorizar dois aspectos: uso de combustíveis e eficiência energética.

Embora a indústria cimenteira brasileira apresente emissões abaixo da média mundial, há espaço para avanços. A inclusão de parâmetros quantitativos mais rigorosos, alinhados a taxonomias sustentáveis adotadas por países como Colômbia, México, África do Sul e Singapura, bem como na União Europeia, pode contribuir para impulsionar a descarbonização do setor. Nas taxonomias referidas, os limites de emissão variam entre 0,43 tCO₂/t e 0,8 tCO₂/t de cimento produzido.

Dados recentes indicam que as emissões no Brasil estão em torno de 0,56 tCO₂/t (SNC, 2019), evidenciando um progresso já alcançado. No entanto, diante das oportunidades de inovação e do potencial de transição para uma economia de baixo carbono, é possível estabelecer metas mais ambiciosas. **Sugere-se, portanto, um parâmetro de 0,40 tCO₂/t de cimento produzido**, aproximando-se dos padrões europeus. O Brasil possui vantagens estratégicas, como uma matriz energética predominantemente limpa e uma tendência de ampliação do uso de fontes renováveis, muito mais avançada se comparada ao contexto europeu. Destaca-se que o próprio Sindicato Nacional da Indústria do Cimento prevê o alcance de de um fator de emissão de 0,48 tCO₂/t de cimento até 2030, o que reafirma que uma meta mais baixa que essa é factível no longo prazo.

Esses fatores reforçam a viabilidade de uma meta mais ousada, que não apenas fortaleceria a competitividade do setor, mas também contribuiria significativamente para a **mitigação das mudanças climáticas**.

Alternativas e adições ao Clínquer: a maior parte das emissões de CO₂ na produção de cimento está relacionada ao clínquer, tornando sua substituição e/ou complementação com aditivos uma estratégia eficaz para mitigar impactos ambientais. Essa prática já é ampla-

⁵<https://diretoriopre.mma.gov.br/index.php/category/64-bid-ct-brt1310-fortalecimento-do-financiamento-para-mitigacao-de-gases-de-efeito-estufa-no-brasil-orientado-para-a-gestao-de-resultados?download=1073:estudo-ndc-cimento>

mente adotada no Brasil, onde mais [de 90% do cimento produzido contém algum tipo de aditivo](#)⁶. A incorporação de substitutos ao clínquer deve seguir os limites estabelecidos pela norma [ABNT NBR 16697](#), que garante a qualidade e as características do produto. Apesar dessas regulamentações, a ampliação do uso de aditivos representa uma alternativa promissora para reduzir emissões, desde que respeite os parâmetros técnicos. No Brasil, os principais insumos alternativos incluem: escória granulada de alto forno, cinzas volantes, argilas calcinadas, fíler calcário, escória ácida de alto forno e escória de aciaria.

Nesse sentido, recomenda-se a inclusão desses parâmetros na TSB como uma estratégia de mitigação, promovendo a disseminação da técnica e incentivando pesquisas na área. **Para isso, sugere-se a adoção de um parâmetro de transição, estabelecendo a adição de pelo menos 50% de substitutos ao clínquer**, em conformidade com as normas técnicas e os limites permitidos para cada tipo de substituto e tipo de cimento.

Para alcançar a classificação “verde escuro”, o critério deve ser ainda mais rigoroso, exigindo 100% de substituição do clínquer, sempre respeitando as regulamentações técnicas e os limites estabelecidos para cada insumo e tipo de cimento.

Eficiência energética: Apesar de a matriz energética brasileira ser relativamente limpa em comparação com o contexto mundial, cerca de 85% da energia utilizada pelo setor cimenteiro ainda provém de fontes fósseis, sendo quase exclusivamente coque de petróleo (SNC, 2019). A energia desempenha um papel chave na produção de cimento, pois os fornos operam a temperaturas de até 1.450°C para a fabricação do clínquer, principal componente do processo.

Sendo um dos maiores consumidores de energia na indústria, o setor já dispõe de tecnologias que permitem o **aproveitamento do ca-**

lor residual dos fornos de alta temperatura para geração de energia em outras áreas da fábrica, como o **WHR (Waste Heat Recovery)**. A eficiência energética dessa solução é um ponto de destaque na taxonomia chinesa, e recomendamos sua inclusão como uma tecnologia estratégica a ser adotada. Algumas produtoras já utilizam essa tecnologia, como [a Apodi, no Ceará](#)⁷, que reduziu o consumo de energia entre 20% e 30%, e [a Votorantim, na Tunísia](#)⁸, que com o aumento da eficiência energética, diminuiu as emissões de CO₂ em 87,19 toneladas por dia. Além de amplamente disponível no mercado, essa tecnologia é frequentemente citada em estudos sobre eficiência energética, com grande potencial de impacto não apenas na indústria do cimento, mas em diversos setores ([PASISHNYK, 2016](#)⁹; [MARENCO-PORTO et al., 2023](#)¹⁰).

Assim, destaca-se a importância da inclusão do aspecto de eficiência energética e do estabelecimento de parâmetros quantitativos para eficiência energética para o setor, tal como a Taxonomia colombiana. Segundo SNC (2019), a eficiência energética atual do setor é de cerca de 113 kWh/t de cimento e, segundo o estudo, a substituição gradual esperada de fábricas mais antigas e equipamentos mais obsoletos por novas linhas mais modernas e eficientes fará com que o setor alcance cerca de 91 kWh/t de cimento até 2050. Contudo, esse patamar representa um processo normal do setor, não necessariamente um esforço conjunto em prol da mitigação das mudanças climáticas, além de se encontrar acima do estabelecido pela Taxonomia colombiana de 85 kWh/t de cimento. Nesse sentido, **sugere-se que seja usado ao menos o mesmo parâmetro adotado pela Taxonomia colombiana, de 85 kWh/t de cimento.**

Combustíveis alternativos: outro aspecto fundamental na redução das emissões de CO₂ é a ampliação do uso de combustíveis alternativos na produção de cimento. Atualmente, cerca de 85% da energia utilizada no setor ainda provém de combustíveis fósseis, enquanto

⁶<https://cimento.org/mais-de-90-de-cimento-brasileiro-tem-aditivos-sustentaveis/>

⁷<https://aecipp.com.br/pt-br/noticias/cimento-apodi-usa-tecnologia-para-capturar-gases-do-efeito-estufa-gerados-nos-fornos>

⁸<https://www.votorantimcimentos.com.br/estudo-de-caso/nossa-unidade-de-recuperacao-de-calor-residual-na-tunisia-2/>

⁹<https://diretoriopre.mma.gov.br/index.php/category/64-bid-ct-brt1310-fortalecimento-do-financiamento-para-mitigacao-de-gases-de-efeito-estufa-no-brasil-orientado-para-a-gestao-de-resultados?download=1073:estudo-ndc-cimento>

¹⁰<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223012045>

apenas 15% são fontes alternativas, como biomassa e resíduos. O aumento da participação desses combustíveis sustentáveis poderia reduzir as emissões, uma vez que permitiriam a geração da mesma quantidade de energia com menor impacto ambiental. Entre os principais candidatos a serem utilizados estão:

Resíduos Oleosos	Pneus Inservíveis
Solventes	Resíduos de Fábricas de Borracha
Graxas	Lama de Processos Químicos
Resíduos Têxteis	Fundos de Destilação
Resíduos Plásticos	Lama de Esgoto Municipal
Serragem	Farinha e Ossos de Animais
Resíduos de Fábricas de Papel	Grãos de Validade Vencida
Resíduos Agroindustriais	Resíduos Sólidos Urbanos

Fonte: SNC (2019).

Atualmente, cerca de 60% das fábricas integradas no Brasil possuem fornos licenciados para coprocessar resíduos, o que indica um potencial significativo para o aumento do uso de combustíveis sustentáveis. Embora alguns resíduos, como pneus inservíveis (o resíduo mais utilizado atualmente), tenham tendência de diminuição na disponibilidade devido ao movimento em prol da sustentabilidade, existe uma ampla gama de opções viáveis com variadas disponibilidades em todo o território brasileiro. Os resíduos agroindustriais apresentam grande potencial, considerando a capacidade produtiva do setor no Brasil. Além disso, os resíduos sólidos urbanos também representam um potencial imenso, desde que acompanhados de uma coleta seletiva mais eficiente.

Diante desse contexto, sugere-se a inclusão desse aspecto na TSB, bem como um parâmetro quantitativo para o uso de combustíveis sustentáveis pelas fábricas de cimento no país. Apesar de 60% das fábricas possuírem fornos licenciados, a utilização de energia alternativa ainda é muito tímida. Desta forma, **propõe-se como critério para enquadramento no nível mais avançado da Taxonomia o uso de pelo menos 80% de combustíveis alternativos.**

Ademais, recomenda-se que a TSB seja periodicamente atualizada para acompanhar os avanços e inovações na área, garantindo que seus parâmetros reflitam as mais recentes tecnologias sustentáveis que ainda não estão viáveis comercialmente. Entre essas inovações, destaca-se o **cimento verde**¹¹, que reduz a proporção de calcário em sua composição, diminuindo as emissões associadas à calcinação. Outra alternativa é o **cimento geopolimérico**¹², cuja formulação é composta por mais de 90% de resíduos industriais, como escórias de aciaria — subproduto da produção de aço — e cinzas volantes, provenientes da queima de carvão em termelétricas. Já o LC³ (Limestone Calcined Clay Cement)¹³ combina argila calcinada e fíler calcário, permitindo uma significativa redução no uso de clínquer sem comprometer a qualidade do cimento (BARBALHO, SILVA e REGO, 2020).

• Níveis de contribuição à sustentabilidade

Propõe-se a classificação das atividades na indústria de cimento em diferentes **níveis de sustentabilidade**, representados por tons de verde, com base no nível de emissões de gases de efeito estufa:

a) Verde claro: instalações que atendem ao critério quantitativo de emissões de CO₂.

b) Verde médio: instalações que cumprem tanto o critério quantitativo de emissões de CO₂ quanto os padrões de eficiência energética.

¹¹https://capitalreset.uol.com.br/empresas/startups/o-brasileiro-na-vanguarda-da-era-do-cimento-verde/?utm_campaign=02012025_-_retrospectiva_inovacoes_banner_pequeno_principe&utm_medium=email&utm_source=RD+Station

¹²<https://agencia.ufc.br/ufc-desenvolve-tecnologia-de-cimento-mais-resistente-e-que-reduz-emissoes-de-carbono/>

¹³Barbalho, Silva e Rego (2020)

c) Verde escuro: instalações que, além de atenderem aos critérios de emissões e eficiência energética, utilizam combustíveis sustentáveis, com destaque para o processamento de resíduos.

// Referências:

BARBALHO, E. A.; SILVA, E. F.; REGO, J. H. S. Estudo da proporção de argila calcinada e filer calcário no cimento LC3 para diferentes teores de substituição. **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/g8qk8Pk685n-QffsT9qjWFLc/>. Acesso em: fev de 2025.

MARENCO-PORTO, C. A.; FIERRO, J. J.; NIETO-LONDOÑO, C.; LOPERA, L.; ESCUDERO-ATEHORTUA, Ana; GIRALDO, Maurício; JOUHARA, Hussam. Potential savings in the cement industry using waste heat recovery technologies. **Energy**, v. 279, 2023. DOI: 10.1016/j.energy.2023.127010.

PASISHNYK, N. **Arranjo básico de investimentos necessários para a implementação da NDC do Brasil: setor de cimento**. São Paulo: Keyassociados, 2016.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Roadmap tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050**. Coordenação de Gonzalo Visedo e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p.

C4: Produção de biomassa e biocombustíveis

• Atividades excluídas

No item “Descrição”, sub-item “exclusões”, sugere-se o acréscimo do seguinte texto:

“As atividades que utilizem combustíveis fósseis como fonte primária de energia no ciclo produtivo”.

Muitas das atividades utilizam combustíveis fósseis em etapas como: cultivo, transporte e processamento de biomassa, contrariando os objetivos climáticos e impactando nas emissões de gases de efeito estufa da cadeia produtiva de biomassa e dos biocombustíveis. Em usinas sucroenergéticas, a produção de etanol utilizando o carvão ou diesel como fonte de energia em processos de cogeração resulta em **emissões**

líquidas superiores às de combustíveis fósseis, comprometendo o impacto positivo do biocombustível no balanço climático. Por esse motivo, por exemplo, a [RED II \(União Europeia\)](#) proíbe o uso de fontes fósseis em atividades qualificáveis para metas climáticas, priorizando energias renováveis no ciclo produtivo, e certificações como ISCC Plus e RSB exigem que fontes renováveis sejam predominantes em todas as etapas do processo produtivo.

A inclusão da Análise do Ciclo de Vida (LCA) é fundamental para aferir o impacto real. A LCA, regida pelas normas ISO 14040 e 14044, avalia os impactos ambientais de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até o descarte. Esse processo envolve quatro etapas: definição do objetivo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados. A LCA permite identificar oportunidades para otimizar processos e reduzir o impacto ambiental, promovendo escolhas mais sustentáveis.

• Inclusão de combustíveis renováveis de origem não biológica (RFNBOs):

Sugere-se a expansão da categoria “produção de biocombustíveis” para incluir os combustíveis renováveis de origem não biológica (RFNBOs), como hidrogênio renovável e combustíveis sintéticos. Os RFNBOs, produzidos a partir de fontes de energia renovável (solar, eólica, hidrelétrica), complementam os biocombustíveis tradicionais e são fundamentais para descarbonizar setores como a aviação e o transporte marítimo. Adicionalmente, o biometano, produzido a partir de resíduos orgânicos, deve ser incorporado à taxonomia. O [RED II da União Europeia](#) define combustíveis renováveis de origem não biológica como aqueles utilizados no setor de transportes, produzidos a partir de fontes de energia renovável distintas da biomassa, como solar, eólica e hidrelétrica. Exemplos incluem hidrogênio renovável e combustíveis sintéticos. Esses combustíveis se diferenciam dos biocombustíveis e biogás por não terem origem em material biológico. A expansão da participação de “biocombustíveis avançados, como o SAF e o hidrogênio emissão de baixo carbono” é outra estratégia

vital, apoiada por referências da [IRENA](#) e do [Plano Nacional do Hidrogênio \(PNH2\)](#).

• **Requisitos de não prejudicar significativamente outros objetivos ambientais**

a) Uso sustentável e proteção de recursos hídricos e marinhos

O uso intensivo de água na produção de biomassa e biocombustíveis, especialmente em regiões com estresse hídrico, como o semiárido brasileiro, pode gerar conflitos pelo uso da água e comprometer a disponibilidade desse recurso para as comunidades locais e os ecossistemas como aponta o [World Resources Institute \(WRI, 2020\)](#). Setores como a agricultura irrigada, utilizada para o cultivo de plantas energéticas, e a indústria de celulose e papel são grandes consumidores de água.

Para garantir a sustentabilidade da produção de biomassa e biocombustíveis, sugere-se incluir os seguintes requisitos: “adotar práticas de uso eficiente da água, como a reutilização de efluentes tratados, a irrigação por gotejamento e a otimização dos processos industriais; implementar padrões rigorosos para a qualidade dos efluentes líquidos, reduzindo a carga de poluentes como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO).”

C5: Não temos sugestões ou considerações

C6: Produção de produtos químicos inorgânicos

• **Acréscimo de item em “Exclusões” na “Descrição”:**

“Produção de amônia e ureia que utilize hidrogênio derivado de gás natural ou carvão como insumo principal (exemplo: steam methane reforming - SMR).”

Justificativa: o processo de Steam Methane Reforming (SMR), amplamente utilizado na produção de hidrogênio a partir de gás natural, gera emissões intensivas de CO₂. Estima-se que, para cada tonelada de hidrogênio produzido, sejam emitidas aproximadamente 9-12

toneladas de CO₂, dependendo da eficiência do processo e da captura de carbono implementada ([IEA \(International Energy Agency\), 2021 – Global Hydrogen Review](#)). A produção de hidrogênio a partir de carvão (gaseificação de carvão) tem uma pegada de carbono ainda maior, com emissões estimadas em 19 toneladas de CO₂ por tonelada de hidrogênio, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), [2021 – AR6 Climate Change Mitigation Report](#). A amônia produzida com hidrogênio derivado de fontes fósseis apresenta uma intensidade média de carbono de **2,7 tCO₂e por tonelada de amônia**, o que contrasta fortemente com os limites recomendados para a descarbonização do setor químico ($\leq 0,27 \text{ tCO}_2\text{e/t}$, conforme Taxonomia Europeia).

• **Sugestão de inclusão de tecnologia e de parâmetros quantitativos para emissões na produção de amônia e ureia (item C):**

- “i. A amônia deve ser produzida a partir de hidrogênio sustentável que atende aos critérios técnicos estabelecidos pela TSB para o setor de Eletricidade e Gás (CNAE D), inclusive por tecnologias de nanocatálise, que permitem a substituição do processo Haber-Bosch, utilizando hidrogênio renovável e biogás.”¹⁴

- “ii. As emissões de gases de efeito estufa (GEE) no processo de produção de amônia devem ser inferiores a 1,948 tCO₂e por tonelada de amônia produzida (tCO₂e/tNH₃).”

Este limite considera as emissões diretas e indiretas ao longo do ciclo de vida da produção, conforme metodologia definida por normas internacionais, como: ISO 14067:2018 (Pegada de carbono de produtos), ISO 14064-1:2018 (Quantificação e relato de emissões de GE) e a Diretiva da UE 2018/2001 (Metodologias para cálculo de emissões e economia de GEE em relação a combustíveis fósseis).

- “iii. O percentual total de energia renovável utilizada no processo de produção deve ser pelo menos 50% superior ao atualmente praticado pelo site industrial.”

Este aumento deve ser alinhado com as metas brasileiras de transição energética e descar-

¹⁴Para uma descrição do processo de nanocatálise, ver, por exemplo: [Clean Ammonia: the decarbonised future of fertiliser.notas-tecnicas/1](#)

bonização, garantindo que pelo menos 70% da energia total consumida no site seja proveniente de fontes renováveis até 2030, em conformidade com as metas estabelecidas na [Contribuição Nacionalmente Determinada \(NDC\)](#) do Brasil para o Acordo de Paris.

• Requisitos de não causar prejuízo significativo a outros objetivos ambientais:

No item “Uso sustentável e proteção de recursos hídricos e marinhos”, sugere-se a inclusão do requisito: “*Tratamento e reaproveitamento de águas residuais no processo de produção*”.

C7: Não temos sugestões ou considerações

C8: Produção de vidro

• Sugestões de requisitos adicionais (cumulativos) para o critério A:

- As emissões do processo produtivo não devem ultrapassar os valores estabelecidos nos compromissos climáticos brasileiros¹⁵: a) vidros planos: $\leq 1,2$ tCO₂e/t, respeitando os limites setoriais definidos na Política Nacional de Mudanças Climáticas; b) vidros ocios: $\leq 1,0$ tCO₂e/t, alinhado às metas de redução de emissões da NDC até 2030 e 2050 (os valores devem ser parametrizados de acordo com os *benchmarks* nacionais e setoriais previstos nas regulamentações da PNMC e revisões da Contribuição Nacional Determinada - NDC).

- Obrigatoriedade de aumento da participação de vidro reciclado (*cullet*) no processo produtivo: estabelecimento de metas de recuperação acima dos 32% atuais, alinhando-se às melhores práticas globais e visando um índice de 50% até 2030.

- Rastreabilidade digital da logística reversa: implementação de *blockchain* ou sistemas de certificação digital para garantir maior controle sobre a origem e destino do vidro reciclado.

- Auditoria independente e verificação externa: sistema de validação por terceiros para evitar a duplicação de dados e garantir a confiabilidade das informações.

• Demonstrativo do cálculo do limite proposto para as emissões

Foram consideradas as seguintes abordagens:

- Referências internacionais: dados da International Energy Agency (IEA), European Glass Container Industry Federation (FEVE) e Glass Manufacturing Sustainability Guidelines (GMSG).

- Compromissos nacionais: Metas da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil.

- cálculo de emissões baseado no IPCC: aplicação de fatores de emissão para matérias-primas e energia consumida nos fornos.

- dados do Setor Vidreiro Brasileiro: informações da Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (Abividro) e relatórios de sustentabilidade de empresas do setor.

1. Cálculo das Emissões de CO₂ na Produção de Vidro

A equação utilizada para o cálculo das emissões segue a fórmula do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): $ECO_2 = \sum(Mi \times EFi \times Fi)$ ¹⁶

Onde:

- ECO₂: Emissões totais de CO₂ (tCO₂e/t vidro);
- Mi: Massa das matérias-primas utilizadas;
- EFi: Fatores de emissão (tCO₂/t);
- Fi: Fração de calcinação.

Fatores de Emissão Considerados

Matéria-Prima	Fator de Emissão (tCO ₂ /t)
Carbonato de Cálcio (CaCO ₃)	0,43971
Carbonato de Magnésio (MgCO ₃)	0,52197
Dolomita (CaMg(CO ₃) ₂)	0,47732
Carbonato de Sódio (Na ₂ CO ₃)	0,41492

Cálculo para Vidro Plano

Considerando a composição típica da fusão do vidro plano:

$$ECO_2 = (0,2 \times 0,43971) + (0,25 \times 0,41492) + (0,1 \times 0,47732)$$

$$ECO_2 = 0,087942 + 0,10373 + 0,047732 = \mathbf{0,239404 tCO_2/t}$$

Adicionando emissões de combustão de combustíveis fósseis (~1,0 tCO₂e/t, segundo FEVE e IEA), tem-se:

$$ECO_2 \text{ Total} = 0,239404 + 1,0 = \mathbf{1,2 tCO_2e/t}$$

Cálculo para Vidro Oco

A composição do vidro oco contém maior proporção de caco reciclado (~50%), reduzindo as emissões:

$$ECO_2 = (0,1 \times 0,43971) + (0,15 \times 0,41492) + (0,05 \times 0,47732)$$

$$ECO_2 = 0,043971 + 0,062238 + 0,023866 = 0,130075 tCO_2/t$$

Somando emissões da combustão de combustíveis fósseis (~0,9 tCO₂e/t), tem-se:

$$ECO_2 \text{ Total} = 0,130075 + 0,9 = \mathbf{1,0 tCO_2e/t}$$

Os valores foram ajustados para refletir:

- Metas da PNMC e NDC do Brasil, que estabelecem reduções de emissões industriais.

- Benchmarks internacionais:

- Vidro Plano: valores globais variam entre 1,1 a 1,4 tCO₂e/t (IEA, FEVE).

- Vidro Oco: estudos apontam limites entre 0,9 a 1,1 tCO₂e/t (FEVE, MSG).

- Potencial de melhoria da indústria vidreira brasileira: uso de caco de vidro reciclado, eficiência energética e eletrificação do processo de fusão.

Assim, os limites de 1,2 tCO₂e/t para vidro plano e 1,0 tCO₂e/t para vidro oco foram fundamentados com base em referências científicas e benchmarks internacionais, garantindo que o setor vidreiro brasileiro cumpra suas obrigações climáticas enquanto se mantém competitivo.

• Sugestões de requisitos para o critério B:

Ao invés da elegibilidade automática, propõe-se que seja exigido o cumprimento dos seguintes requisitos:

- eficiência energética no processo produtivo: adoção de tecnologias avançadas para redução de consumo de energia térmica, como fornos híbridos, oxifuel burners e eletrificação parcial;

- implementação de recuperação de calor residual e otimização térmica para melhorar a eficiência e reduzir emissões;

- diminuição do uso de carbonatos como fonte de CO₂, substituindo barrilha e dolomita por materiais alternativos;

- substituição de refinadores químicos por agentes alternativos que reduzam emissões de gases poluentes.

• Acréscimo de itens C, D e E:

Sugere-se também o acréscimo das seguintes atividades:

C. Implementação de tecnologias de Captura e Uso de Carbono (CCU) – surge como solução estratégica para mitigar emissões de CO₂, permitindo a reutilização do gás capturado em processos industriais, como produção de combustíveis sintéticos e novos materiais para a indústria química

D. Uso de sensores IoT (Internet das Coisas) e plataformas digitais de monitoramento – possibilita o controle contínuo e em tempo real das emissões atmosféricas (GEE e não GEE), garantindo maior transparência e conformidade regulatória; a digitalização desses processos permite a identificação precoce de desvios nos padrões de emissão, a otimização da eficiência operacional dos fornos e a rastreabilidade da performance ambiental das unidades industriais.

¹⁵Os valores apresentados são baseados em benchmarks internacionais da International Energy Agency (IEA) e European Glass Container Industry Federation (FEVE), bem como nos compromissos climáticos estabelecidos na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil.

¹⁶Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Industrial Processes and Product Use. Volume 3. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>

E. Revisão do design de embalagens e produtos de vidro para facilitar reutilização e reciclagem – ainda que o foco principal nesse momento seja mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a redução da atividade industrial em si contribui também com a mitigação, além da transição para a economia circular.

// Referências:

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Industrial Processes and Product Use**. Volume 3. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>.

International Energy Agency (IEA). 2022. **Global energy transitions and CO₂ emissions reductions in the glass industry**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports>.

European Glass Container Industry Federation (FEVE). 2021. **Carbon footprint of container glass**. Disponível em: <https://feve.org>.

Glass Manufacturing Sustainability Guidelines (GMSG). 2022. **European and global glass sustainability policies**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383654813_Reducing_the_environmental_footprint_of_glass_manufacturing.

Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (Abividro). 2023. **Relatório de Sustentabilidade**. Disponível em: <https://www.abividro.org.br>.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2022. **Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>.

Circula Vidro. Home - **Circula Vidro**. Disponível em: <https://circulavidro.org>.

SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. 2022. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)**. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>.

C9: Não foi analisado

C10: Indústria de madeira

O desmatamento (sobretudo o ilegal) é um dos principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Em 2023, estima-se que 93% do desmatamento registrado apresentou algum tipo de ilegalidade, conforme dados publicados pelo Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023 (MapBiomass, 2024). De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), em 2023, as emissões brutas do país ultrapassaram 1 gigatonelada de CO₂ equivalente, sendo que o desmatamento representa 45% do total de emissões geradas pelo Brasil no mesmo ano. Segundo o Serviço Florestal Brasileiro, cerca de 92% da madeira é consumida pelo mercado interno, sendo utilizada pelas indústrias de transformação, tais como construção civil e fabricação de móveis (Brasil, 2024). O percentual de ilegalidade na extração de madeira tem crescido, como apurou [estudo do IMAZON publicado em outubro de 2024](#) e amplamente [divulgado na imprensa](#), que constatou aumento de 19% da ilegalidade na Amazônia em um ano.

O setor de madeira é relevante à luz diversos indicadores econômicos.

Por exemplo, esse é o número de empregos gerados, segundo dados da RAIS de 2022:

31012	Fabricação de móveis com predominância de madeira	196.100
16293	Fabricação de artefatos de madeira, palha, cortiça, vime e de materiais trançados, exceto móveis	25.880

16234	Fabricação de artefatos de tanoaria e de embalagens de madeira	16.776
16226	Fabricação de estruturas de madeira e de artigos de carpintaria para construção	26.195
16102	Desdobramento de madeira	73.169
16218	Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada e aglomerada	35.694

Esses são os volumes de faturamento do setor, e o percentual do setor na economia, segundo dados do IBGE de 2022:

1610	Desdobramento de madeira	R\$ 13.817.520,00	0,23%
1621	Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada e aglomerada	R\$ 23.025.898,00	0,38%
1622	Fabricação de estruturas de madeira e de artigos de carpintaria para construção	R\$ 4.740.048,00	0,08%
1623	Fabricação de artefatos de tanoaria e de embalagens de madeira	R\$ 3.084.866,00	0,05%
1629	Fabricação de artefatos de madeira, palha, cortiça, vime e material trançado não especificados anteriormente, exceto móveis	R\$ 1.639.796,00	0,03%
3101	Fabricação de móveis com predominância de madeira	R\$ 24.606.111,00	0,4%

Total de participação na economia nacional: 0,4338%

E esses são os números da arrecadação de tributos federais, exceto contribuições previdenciárias (dados da Receita Federal de 2023):

16	Fabricação de produtos de madeira	R\$ 2.284.486.487	0,143%
31	Fabricação de móveis	R\$ 2.754.183.503	0,173%

Percentual na arrecadação: 0,316%

Já no que se refere a exportações, temos os seguintes dados do sistema de comércio exterior (2023):

Madeira	16. Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de palha e de cestaria	162. Fabricação de produtos de madeira, cortiça, palha e materiais para entrançar	U\$ 1.610.599.878,00
		161. Serração e aplainamento de madeira	U\$ 1.542.948.205,00
	31. Fabricação de móveis	310. Fabricação de móveis	U\$ 869.820.262,00

Segundo [dados oficiais do governo brasileiro](#), o agronegócio representa 49% das exportações, e os produtos madeireiros estão entre os 5 primeiros, com 8,6% do total de 49% do agro e 4,3% das exportações brasileiras.

Considerando assim a relevância econômica e o altíssimo risco climático do setor, propomos a inclusão das seguintes atividades visando mitigar as mudanças climáticas no setor industrial madeireiro:

- Rastreabilidade da cadeia produtiva: implementação de tecnologias para rastrear a origem da madeira e assegurar que não há relação com desmatamento ilegal
- Implantação de sistemas de certificação da origem da madeira: incentivo à adoção de certificações (FSC, PEFC, CERFLOR) para garantir que a madeira utilizada tem origem legal e sustentável
- Secagem eficiente de madeira para transporte: uso de técnicas e equipamentos que reduzam o consumo energético e minimizem emissões associadas ao transporte de madeira
- Substituição de combustíveis fósseis no processamento da madeira: uso de biomassa certificada, biometano ou hidrogênio verde para redução da pegada de carbono da indústria
- Uso de biocombustíveis ao longo da cadeia produtiva
- Reaproveitamento dos rejeitos para produ-

ção de biomassa ou outras atividades visando a economia circular.

- Atividades de apoio a rede de fornecedores para viabilizar a rastreabilidade dos produtos
- Uso de madeira nativa legalmente certificada pelo DOF+
- Uso de madeira de reflorestamento certificado

• Requisitos de não causar prejuízo significativo a outro objetivo ambiental

Proteção e conservação da biodiversidade terrestre:

Para o uso de biocombustíveis, deve ser adotada a rastreabilidade da cadeia para garantir que a matéria-prima dos biocombustíveis não seja oriunda de desmatamento.

Referências:

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Serviço Florestal Brasileiro. **Produtos Madeireiros**. Disponível em: <https://dados.florestal.gov.br/dataset/produtos-madeireiros>.

ITTO (International Tropical Timber Organization). **Tropical Timber Market Report** (1st – 15th January 2024) Volume 28, Number 1. 2024.. Disponível em: https://www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=7742&no=1

MAPBIOMAS. **RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023**. São Paulo: MapBiomass, 2024. 154 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. DOI: 10.1088/1748-9326/ac5193

C11: Indústria têxtil

A indústria têxtil combina impactos significativos nos cursos hídricos, em razão do grande volume de efluentes gerados, e relevância econômica à luz de uma série de indicadores, de forma ainda mais significativa que a indústria de madeira.

Por exemplo, esse é o número de empregos gerados, segundo dados da RAIS de 2022:

Indústria têxtil	CNAE 13 Fabricação de produtos têxteis	265.412
	CNAE 14 Confecção de artigos do vestuário e acessórios	555.708

Trata-se do segundo maior empregador do setor industrial, atrás apenas da indústria de alimentos (<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>).

Esses são os volumes de faturamento do setor, e o percentual do setor na economia, segundo dados do IBGE de 2022:

13	Fabricação de produtos têxteis	R\$ 78.289.289,00	1,28
14	Confecção de artigos do vestuário e acessórios	R\$ 52.811.810,00	0,86

Total de participação na economia nacional: 2,14%

E esses são os números da arrecadação de tributos federais, exceto contribuições previdenciárias (dados da Receita Federal de 2023):

Têxtil	Têxtil 13. Fabricação de têxteis (Seção - ISIC) 14. Fabricação de vestuário (Seção - ISIC)	139. Fabricação de outros têxteis	U\$ 383.890.595,00
		131. Fiação, tecelagem e acabamento de têxteis	U\$ 266.999.812,00
		141. Fabricação de vestuário exceto vestuários de peles	U\$ 184.264.389,00
		143. Fabricação de vestuário de malha	U\$ 12.272.557,00

Em termos de contribuição significativa para o objetivo de Adaptação à Mudança do Clima, a implantação de **tecnologias de tratamento de efluentes** nesse setor tem o potencial de enfrentar o principal risco climático, que é a escassez de recursos hídricos, ao mesmo tempo que contribui com outros objetivos ambientais, a prevenção e controle da contaminação e a conservação de recursos hídricos.

Segue-se a descrição das tecnologias adequadas para inclusão na Taxonomia, que se sugere seja realizada:

- **Reuso de água por meio de sistemas de membranas**

As tecnologias de sistemas de membranas (a base de materiais cerâmicos, polímeros e

nanomateriais) como microfiltração, nanofiltração, ultrafiltração e a osmose reversa, são utilizadas para tratar efluentes industriais, removendo sólidos suspensos, corantes e outros contaminantes. Elas apresentam altas taxas de remoção de poluentes, sendo possível tornar o efluente adequado para reutilização em processos industriais.

Após o tratamento, a água pode ser reutilizada para limpeza interna da fábrica e em diversos processos produtivos, reduzindo significativamente a dependência de fontes de água potável, tais como: preparo de banhos de tingimento, acabamento têxtil, alimentação dos equipamentos, torres de resfriamento e caldeiras.

Além disso, é possível reutilizar a fonte da membrana, através da reutilização de polímeros descartados de outras indústrias, fomentando a circularidade da utilização dessas tecnologias. Deve-se assegurar uma longa durabilidade das membranas, reduzindo custos operacionais e os impactos ambientais relacionados ao descarte e substituição recorrentes.

Critérios de elegibilidade:

- A eficiência deve ser superior a 95% na remoção de contaminantes presentes nos efluentes têxteis.
- As membranas devem apresentar vida útil prolongada, acima de 18 meses, priorizando sistemas que abrangem técnicas de redução de incrustações.
- Os sistemas devem integrar procedimentos de recuperação de energia.

// Referências:

- I. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125853>
- II. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27412>
- III. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36215>
- IV. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112353>
- V. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2024.100954>
- VI. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.110036>
- VII. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116702>

- Processos Oxidativos Avançados (POAs) com ozônio

Corantes recalcitrantes que são resistentes a tratamentos convencionais podem ser removidos com ozônio, que devido às suas características oxidativas, é capaz de decompor as moléculas complexas dos corantes, quebrando suas ligações químicas e transformando-as em substâncias menos tóxicas e mais biodegradáveis. Essa tecnologia, além de poder ser integrada aos sistemas de tratamento existentes com poucas alterações, não gera os subprodutos indesejados mais comuns, como precipitados típicos do tingimento convencional e lodo químico.

No entanto, dependendo da composição dos poluentes orgânicos presentes no efluente têxtil, ou se não houver tempo suficiente de reação ou dosagem adequada, o ozônio pode oxidar compostos complexos de forma incompleta, transformando-os em intermediários como ácidos carbóxicos, cetonas e aldeídos. Caso o efluente tratado seja integrado no processo industrial, pode ser necessário um tratamento complementar, como filtração por carvão ativado ou membranas.

Critérios de elegibilidade:

- O tratamento deve reduzir a Demanda Química de Oxigênio (DQO) a níveis compatíveis com os padrões de descarte ambiental ou reutilização da água.
- O sistema de POAs deve priorizar a otimização no consumo energético durante a operação.
- O sistema deve operar de forma complementar a outros processos, como adsorção por carvão ativado, biorremediação ou membranas, por exemplo, sendo capaz de tratar diferentes composições de efluentes têxteis e eventuais subprodutos gerados sem perda significativa de desempenho.

// Referências:

- I. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100387>
- II. <https://doi.org/10.1039/D4VA00136B>
- III. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29930>
- IV. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29875>
- V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.120208>
- VI. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100394>

- Tingimento a seco com uso de dióxido de carbono supercrítico

A tecnologia de tingimento a seco com uso de dióxido de carbono supercrítico reduz a demanda por água como nos processos convencionais de coloração de tecidos e por produtos químicos auxiliares usados para aumentar a fixação do corante, a uniformidade da cor e a estabilidade do tingimento, tais como sais, tensoativos, dispersantes, silicatos e fixadores. Nesse método, o CO₂ é aquecido e pressurizado até atingir um estado supercrítico, onde possui propriedades tanto de líquido quanto de gás, permitindo que ele dissolva corantes solúveis em CO₂ e os transfira para as fibras têxteis de forma eficiente.

No tingimento a seco, como o CO₂ supercrítico melhora a solubilidade e a distribuição uniforme dos corantes, reduz a repulsão entre fibra e corante e a necessidade de controle de pH. Essa redução da carga química dos efluentes produzidos na indústria têxtil contribui para a redução do risco de escassez hídrica do processo fabril, da carga química nos efluentes gerados e promove maior eficiência.

O sistema de tingimento a seco com uso de dióxido de carbono supercrítico ainda tem um custo alto no mercado brasileiro, daí a necessidade de receber aportes de capital que viabilizem sua implementação em larga escala.

Critérios de elegibilidade:

- O sistema deve permitir a captura e reutilização do CO₂ supercrítico para minimizar custos operacionais e impactos ambientais.
- O sistema deve ser eficaz para fibras naturais e sintéticas.
- O sistema deve incluir filtros e exaustores para capturar partículas de corante não utili-

zado que se deposita ao fundo do equipamento e microfibras que se desprendem do tecido, permitindo sua reutilização ou descarte adequado.

// Referências:

- I. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.06.007>
- II. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124819>
- III. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108671>
- IV. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2021.101760>
- V. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2019.05.013>

Não vemos necessidade de inclusão de nenhum requisito de não causar prejuízo a outros objetivos ambientais, pois não existe esse risco com o desenvolvimento das atividades descritas.

C12: Fabricação de bicicletas

O setor em questão possui CNAE próprio: 30.92-0 - Fabricação de bicicletas e triciclos não motorizados.

Deve ser elegível automaticamente, dadas as evidentes contribuições para a redução de emissões de gases de efeito estufa na mobilidade urbana, mitigando assim as mudanças climáticas, devendo ser exigido o cumprimento da legislação socioambiental descrita nas salvaguardas, como ocorre com todo o setor industrial.

C13: Processos de dessalinização na geração e armazenamento de energia e como fonte hídrica em processos industriais

A tecnologia de bateria de água e sal representa uma inovação disruptiva no campo do armazenamento de energia e da dessalinização de água do mar. Ao combinar esses dois processos em um único sistema, a bateria de água e sal oferece uma solução sustentável para indústrias que necessitam simultaneamente de água tratada e energia elétrica. Pesquisadores como SON et al. (2021) e CHEN et al. (2023) destacam que essa abordagem não apenas reduz o consumo energético em comparação com tecnologias convencionais, mas também apresenta uma alternativa viável para áreas costeiras e regiões com escassez hídrica.

A pesquisa de SON *et al.* (2021) introduz a bateria de água e sal como uma evolução das baterias de água do mar (SWB), enfatizando que a integração do armazenamento de energia com a dessalinização pode reduzir significativamente os custos operacionais. Segundo os autores, *“a viabilidade da bateria água e sal depende do desenvolvimento de membranas de troca aniônica de baixo custo, uma vez que representam cerca de 50% dos custos do sistema”*.

Chen *et al.* (2023), por sua vez, argumentam que a principal vantagem da bateria água e sal reside na sua capacidade de utilizar eletrólitos naturais, como a própria água do mar, eliminando a necessidade de soluções químicas tóxicas. *“A adaptabilidade desse sistema a ambientes marinhos e sua eficiência na conversão eletroquímica da água tornam a bateria de água e sal uma alternativa estratégica para setores como mineração, refino petroquímico e processamento de alimentos”*, afirmam os autores.

Já MCELDREW *et al.* (2018) exploram os desafios dos eletrólitos aquosos concentrados e indicam que novas formulações de eletrólitos podem ampliar ainda mais a estabilidade eletroquímica da bateria de água e sal, aumentando seu potencial de aplicação industrial.

SON *et al.* (2021) apontam que o custo estimado por metro cúbico de água dessalinizada com bateria de água e sal no mesmo patamar do da osmose reversa (RO), girando em torno de US\$ 1,02/m³, contra valores que variam entre US\$ 0,60 e US\$ 1,20/m³ para a RO. Isso significa que a tecnologia pode competir economicamente com os métodos convencionais, especialmente em locais onde o custo da energia é elevado.

Os estudos de CHEN *et al.* (2023) indicam que a bateria de água e sal pode recuperar até 96% da energia armazenada, o que a torna mais eficiente do que muitos sistemas de armazenamento de energia convencionais. Além disso, por operar em um ciclo fechado, a bateria mantém um desempenho estável por mais de 1.000 ciclos, garantindo uma longa vida útil.

Diferentemente de outros processos eletro-

químicos que utilizam eletrólitos sintéticos, a bateria de água e sal se baseia na própria água do mar, eliminando a necessidade de descarte de resíduos químicos. Isso contribui para a redução do impacto ambiental e para a segurança operacional das indústrias que adotam essa tecnologia.

A modularidade da bateria de água e sal permite sua aplicação em diferentes escalas, desde pequenas unidades para fornecimento local de água até grandes sistemas industriais. Pesquisadores como MCELDREW *et al.* (2018) sugerem que a tecnologia pode ser integrada a redes de energia renovável, como parques solares e eólicos, maximizando sua eficiência e aplicabilidade em diferentes cenários.

A tecnologia de bateria de água e sal tem um impacto significativo na redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) ao substituir fontes convencionais de energia por um sistema eficiente de armazenamento e reaproveitamento de energia, promovendo maior autonomia energética no setor industrial. A bateria de água e sal aplicada à indústria de transformação deve possuir dupla funcionalidade, armazenando energia e dessalinizando a água do mar simultaneamente. Além disso, sua integração com fontes renováveis (solar, eólica e hidrelétrica) aumenta sua eficiência e aplicabilidade. Estudos indicam que a tecnologia pode alcançar 96% de recuperação de energia e reduzir os custos operacionais em comparação com métodos convencionais de dessalinização, tornando seu Consumo Específico de Energia (SEC) viável economicamente para o setor industrial.

CNAEs sugeridos:

- CNAE 3600-6/01 – Captação, tratamento e distribuição de água.
- CNAE 35.11-5/01 – Geração de energia elétrica.
- CNAE 35.13-1/00 – Comércio atacadista de energia elétrica.
- CNAE 42.92-8/02 – Obras de montagem industrial.

Descrição: Processos de dessalinização na geração e armazenamento de energia e como fonte hídrica em processos industriais

Exemplos de atividades:

1. Armazenamento e gestão de energia:

- implementação de baterias de água e sal para otimização do consumo energético industrial;
- uso de sistemas inteligentes de monitoramento para maximizar a eficiência da bateria água e sal;
- integração com fontes de energia renovável para maior estabilidade energética.

2. Eficiência hídrica e uso sustentável da água:

- dessalinização da água do mar e reuso da água purificada em processos industriais;
- implementação de circuitos fechados de água para minimizar desperdícios.

3. Redução do impacto ambiental e emissões:

- substituição de combustíveis fósseis por energia armazenada em bateria de água e sal, reduzindo a pegada de carbono;
- minimização do uso de produtos químicos agressivos em processos industriais.

4. Resiliência e otimização da resposta da demanda:

- uso de energia armazenada para suprir picos de demanda e reduzir sobrecarga na rede elétrica;
- implementação de programas de resposta da demanda para maior eficiência operacional.

Contribuição Substancial para o Objetivo 1 - Mitigação da Mudança do Clima:

Crítérios de Elegibilidade: as atividades do setor são elegíveis se atenderem aos critérios A, B, C, D e E:

A. Integração comprovada com sistemas industriais e energéticos: os sistemas de bateria de água e sal devem demonstrar compatibilidade técnica e operacional com indústrias e

setores de alta demanda energética e hídrica, incluindo: indústrias químicas e petroquímicas, mineração em processos que utilizem a dessalinização e o armazenamento de energia para redes elétricas, além da integração com fontes de energia renovável, energia solar, energia eólica, energia hidrelétrica. Devem apresentar o percentual de energia armazenada proveniente de fontes renováveis (%) e o número de aplicações industriais integradas à bateria água e sal (quantidade de instalações).

B. Eficiência energética e segurança operacional comprovadas: as baterias de água e sal devem ter um Consumo Específico de Energia (SEC) competitivo, demonstrando eficiência na conversão e armazenamento da energia. Além disso, é fundamental garantir a segurança operacional, com certificação de conformidade com normas de segurança, como ISO 50001 (gestão energética), IEC 62660 (segurança de baterias) e UL 9540 (armazenamento de energia).

C. Viabilidade técnica e econômica para expansão da capacidade industrial: a solução deve ser escalável, permitindo crescimento modular conforme a demanda energética e hídrica das indústrias. Além disso, os custos devem ser competitivos a longo prazo, considerando manutenção reduzida, eficiência no reaproveitamento de materiais e implementação de circuitos fechados de água, minimizando o desperdício e garantindo otimização no uso de recursos hídricos. A solução também deve demonstrar redução de custos operacionais quando comparada a tecnologias tradicionais de dessalinização e armazenamento de energia. Para avaliar a viabilidade técnica e econômica da solução, serão considerados indicadores como o custo nivelado de energia (LCOE) comparado a outras tecnologias, o percentual de recuperação de energia durante o ciclo de carga e descarga e o retorno sobre o investimento (ROI) médio dos projetos.

D. Compatibilidade com o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE): o armazenamento de energia deve estar alinhado com as regras do SCEE para facilitar a compensação de créditos de energia.

E. Sustentabilidade e adesão a práticas de economia circular: os projetos devem adotar práticas sustentáveis, priorizando a reciclagem de materiais, reutilização de eletrólitos e recuperação de componentes para reduzir o impacto ambiental. Devem utilizar materiais abundantes e recicláveis, substituindo metais críticos e produtos tóxicos. Além disso, planos de reciclagem e descarte responsável devem seguir as normas ISO 14046 e ISO 14021, com avaliação baseada em indicadores como taxa de reciclagem (%), pegada hídrica (m³/unidade) e proporção de materiais recicláveis (%).

• **Requisitos de “Não prejudicar significativamente a outros objetivos ambientais”**

a) Adaptação às mudanças climáticas: o projeto deve ser resiliente a eventos climáticos extremos e garantir funcionamento estável em condições adversas (ex.: temperaturas elevadas, umidade, salinidade). Avaliação de riscos climáticos e estratégias de mitigação devem ser implementadas (ISO 14091 - Adaptação às mudanças climáticas).

b) Uso sustentável de recursos hídricos: a produção e o uso da bateria água e sal devem minimizar o consumo de água doce, priorizando circuitos fechados e reutilização de efluentes. Deve seguir práticas de gestão eficiente dos eletrólitos e minimizar a contaminação da água com rejeitos. Aplicação da ISO 14046 - Pegada hídrica, assegurando um impacto reduzido na disponibilidade hídrica.

c) Transição para a economia circular: deve ser incentivado o uso de matérias-primas recicladas ou recicláveis e a implementação de programas de logística reversa para componentes usados, como baterias e equipamentos.

d) Prevenção e controle da poluição: o processo de fabricação e descarte das baterias deve minimizar emissões de gases de efeito estufa (GEE), poluentes atmosféricos e resíduos químicos. Implementação de planos de gerenciamento de resíduos para evitar contaminação do solo e da água, conforme ISO 14001 - Gestão ambiental. Devem ser usados materiais não tóxicos e recicláveis na composição das bate-

rias, evitando metais pesados e eletrólitos de alto impacto ambiental.

// **Referências:**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e mini-geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 06 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 62660-1:2017 - Acumuladores de energia secundários para veículos elétricos – Parte 1: Requisitos de desempenho e segurança.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14021:2017 – Rótulos e declarações ambientais – Autodeclarações ambientais (rotulagem ambiental tipo II).** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14046:2017 – Gestão ambiental – Pegada hídrica – Princípios, requisitos e diretrizes.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50001:2018 – Sistemas de gestão de energia – Requisitos com orientações para uso.** Rio de Janeiro, 2018.

CHEN, J. et al. (2023). Progress and Applications of Seawater-Activated Batteries. Sustainability. DOI: 10.3390/su15021635. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071278>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).** Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 fev. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Regulamento de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Equipamentos.** Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro>. Acesso em: 06 fev. 2025.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61427-1:2013 - Secondary cells and batteries for renewable energy storage – General requirements and methods of test.** Geneva: IEC, 2013.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62619:2017 - Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Safety requirements for secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications.** Geneva: IEC, 2017.

MCELDREW, M. et al. (2018). **Theory of the Double Layer in Water-in-Salt Electrolytes.** DOI: 10.1016/j.coelec.2020.01.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2451910320300132>.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO. **ISO 55000:2014 - Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologia.** Genebra: ISO, 2014.

SON, M. et al. (2021). **Simultaneous Energy Storage and Seawater Desalination using Rechargeable Seawater Battery.** Advanced Science. DOI: 10.1002/adv.202101289. Disponível em: <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adv.202101289>.

CNAE D

5

Eletricidade
e Gás



SUMÁRIO

1. Sugestões para atividades já propostas dentro do objetivo “Mitigação da mudança do clima”	42
D1: Geração de energia elétrica de origem hidráulica.....	42
D2: Geração de energia de origem eólica.....	44
D3: Geração de energia de origem solar	48
D4: Geração de energia elétrica de origem térmica a partir de biomassa renovável, biogás, biometano e outros combustíveis	52
D5: Geração de eletricidade através das marés, ondas e correntes oceânicas.....	54
D6 e D7: Transmissão e distribuição de energia elétrica.....	57
D9: Sistemas de Armazenamento de Energia.....	60
D10: Produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono	61
D11 - Produção de Biogás e Biometano.....	65
Sugestão de Seção D17: energias renováveis para cocção.....	66
2. Observações sobre a seção dedicada ao objetivo “Adaptação à mudança do clima”.....	67
3. Níveis de contribuição à sustentabilidade.....	67

1. Sugestões para atividades já propostas dentro do objetivo “Mitigação da mudança do clima”

D1: Geração de energia elétrica de origem hidráulica

O agravamento das mudanças climáticas tem tornado cada vez mais frequentes e intensos eventos extremos, como enchentes e estiagens. Nesse contexto, é fundamental dispor de um sistema energético que não seja apenas limpo, mas também diversificado, permitindo que uma fonte compense outra em momentos de baixa produção. No Brasil, contamos com uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, em grande parte devido ao potencial hídrico nacional. Grandes projetos hidrelétricos, considerados relativamente limpos apesar dos impactos ambientais das barragens, foram construídos há décadas. Isso posiciona o país entre os líderes globais em matrizes ener-

géticas sustentáveis. No entanto, é importante reconhecer que a energia hidrelétrica não está isenta de impactos ambientais. A construção de barragens frequentemente demanda a inundação de vastas áreas, acarretando desapropriações, alterações na paisagem e impactos significativos nos ecossistemas locais. Diante disso, aproveitar a infraestrutura existente para gerar energia auxiliar a partir de outras fontes torna-se uma estratégia vantajosa. Essa abordagem deve ser incorporada como uma estratégia-chave para garantir resiliência e prevenir a escassez, especialmente no setor energético, frente às crescentes incertezas climáticas.

Recomenda-se a inclusão, como item elegível capaz de contribuir tanto com a mitigação quanto com a adaptação às mudanças climáticas, do seguinte sistema híbrido:

- **Mix hidro-solar:** o aproveitamento da in-

fraestrutura de hidrelétricas para a geração de energia solar é uma **adaptação** relevante para enfrentar o agravamento das mudanças climáticas. Além disso, representa uma estratégia de **mitigação**, ao ampliar a capacidade de geração de energia renovável. Essa integração é especialmente útil em períodos de estiagem, quando a produção hidrelétrica diminui e, no Brasil, as termoelétricas costumam ser ativadas, aumentando as emissões de gases de efeito estufa. Dessa forma, combinar essas fontes contribui para um sistema energético mais resiliente e sustentável.

Algumas usinas hidrelétricas têm adotado a instalação de painéis solares em seus reservatórios como uma estratégia para aumentar a produção de energia renovável. Os painéis são posicionados diretamente sobre a superfície do reservatório, aproveitando o espaço disponível e contribuindo para a redução da evaporação da água. Além disso, podem ser instalados ao redor, na própria infraestrutura da planta, otimizando ainda mais o uso do espaço.

Entre as vantagens desse modelo estão o aumento da eficiência dos painéis, graças ao resfriamento proporcionado pela água, a maximização do uso de áreas já ocupadas e as sinergias com a infraestrutura existente.

Um exemplo dessa abordagem é o [Hydro-Solar-Hybrid Project](#), em Gana, a primeira instalação híbrida do país. Este projeto destaca-se como uma estratégia para ampliar a geração de energia renovável e fortalecer o sistema elétrico, tornando-o mais diversificado e resiliente.

Balan *et al* (2024) fazem simulações sobre a hibridização da instalação no Rio Tietê, em São Paulo, e concluem que a combinação de placas solares com usinas hidrelétricas pode gerar quantidades significativas de energia, sob vários cenários. Isso aponta potencialidades que podem ser aproveitadas para tornar o sistema energético brasileiro mais resiliente, usando a infraestrutura existente.

• Parâmetros quantitativos

Emissões GEE: embora a energia hidrelétrica

seja renovável e limpa, ainda assim existem emissões de gases de efeito estufa relacionados, principalmente em reservatórios de armazenamentos. Por conta disso, muitos padrões globais destacam a importância desse tipo de monitoramento na produção de energia através de hidrelétricas, como ENCORE, IFC, GRI, CBI, Science-based Targets Initiative e EFFAS KPIs ESG. Por exemplo, CBI e a Science-based Targets Initiative estabelecem que novas instalações hidrelétricas que entrem em operação a partir de 2020 devem apresentar uma intensidade de emissões menor que **50g CO₂e/kWh**. Para instalações anteriores a 2020, o limite é um pouco maior, sendo de até **100g CO₂e/kWh**. Nesse sentido, sugere-se o estabelecimento de um parâmetro quantitativo para que as instalações hidrelétricas no Brasil sejam consideradas “verdes”, alinhando-se às melhores práticas globais. A adoção de parâmetros claros para emissões auxilia na promoção de transparência, no incentivo à eficiência operacional e no cumprimento de metas climáticas, ao mesmo tempo em que prepara o setor para atender às crescentes demandas por sustentabilidade e inovação tecnológica.

Além disso, destaca-se que parâmetros quantitativos foram definidos em Taxonomias Verdes de outros países, como Ruanda, Singapura, Sri Lanka e Geórgia, onde, para que uma instalação seja considerada verde, é necessário apresentar uma intensidade de emissões de até 100 g CO₂e/kWh. Isso reforça a necessidade de estabelecer um parâmetro quantitativo claro na Taxonomia Brasileira considerando o contexto local.

Considerando a dificuldade de medir emissões de reservatórios, pode-se também adotar o critério de corte do CDM/MDL, que adotou a densidade de potência para projetos de carbono em hidrelétricas. Projetos com uma densidade menor do que 4 W/m² não são aceitos. Projetos com densidade maior do que 10 W/m² são aceitos. Há uma equação de correção para projetos neste intervalo, conforme pode se ver na metodologia ACM002, disponível em: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/XB-ITX7TAZ6SLWM9B7BC67THHVD16JV>

Eficiência energética: outro aspecto relevan-

te a se considerar é a eficiência energética das instalações hidrelétricas. É essencial que tecnologias cada vez mais eficientes sejam empregadas, permitindo a geração de mais energia com o uso reduzido de recursos naturais e com menos emissões. Essa abordagem não apenas minimiza o impacto ambiental, mas também contribui diretamente para o bem-estar da população, garantindo o acesso sustentável à energia. Nesse sentido, sugere-se o estabelecimento de parâmetros quantitativos amplamente aceitos para a eficiência energética de instalações de geração hidrelétrica no Brasil, assim como em padrões de sustentabilidade internacionais. Por exemplo, a Climate Bonds Initiative (CBI) propõe que as instalações hidrelétricas em operação antes de 2020 apresentem uma densidade de potência superior a $5\text{W}/\text{m}^2$, enquanto para instalações que iniciaram operações a partir de 2020, a densidade de potência sugerida é superior a $10\text{W}/\text{m}^2$. Ademais, parâmetros quantitativos também foram adotados em outras Taxonomias Verdes, como as de Ruanda, Singapura, Sri Lanka e Geórgia, nas quais, para uma instalação ser considerada verde, é necessário apresentar uma potência superior a $5\text{W}/\text{m}^2$.

A necessidade de incremento na eficiência dos reservatórios existentes em usinas hidrelétricas com mais de 30MW de potência no Brasil é ilustrada pelo fato de que a média nacional é de apenas $2,1\text{W}/\text{m}^2$ (soma das capacidades instaladas / soma da área dos reservatórios declarados na ANEEL), de modo que mais da metade tem potência inferior a $5\text{W}/\text{m}^2$.

Assim, sugere-se que a Taxonomia estabeleça parâmetros claros e quantitativos para classificar instalações hidrelétricas como “verdes”, alinhando-se às melhores práticas internacionais. Considerando o nível de maturidade que a geração de energia hidrelétrica possui no Brasil, sugere-se que sejam adotados os padrões da CBI.

// Referências:

BALAN, M. H.; CAMARGO, L. A. S.; RAMOS, D. S.; CASTRO, R.; LEONEL, L. D.; PULCHERIO, E. S.; MELENDEZ, J. Hydro-solar hybrid plant operation in a hydropower plant cascade: optimi-

zing local and bulk system benefits. *Water*, v. 16, p. 2053, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16142053>. Acesso em: jan 2025.

KOUGIAS, Ioannis; AGGIDIS, George; AVELLAN, François; DENIZ, Sabri; LUNDIN, Urban; MORO, Alberto; MUNTEAN, Sebastian; NOVARA, Daniele; PÉREZ-DÍAZ, Juan Ignacio; QUARANTA, Emanuele; SCHILD, Philippe; THEODOSSIOU, Nicolaos. Analysis of emerging technologies in the hydropower sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 113, p. 109257, 2019. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109257>. Acesso em: 24 jul. 2024.

D2: Geração de energia de origem eólica

Não temos propostas de exclusão de nenhum dos pontos trazidos pelo texto.

Sugerimos, porém, nos requisitos gerais, a inclusão de um **critério de não elegibilidade**: usinas elétricas dedicadas a apoiar a infraestrutura de combustíveis fósseis (por exemplo, operações de atividades de produção de combustíveis fósseis) não devem ser elegíveis, tal como definido na Taxonomia de Singapura para Finanças Sustentáveis.

Além dessa sugestão, nossas contribuições estão concentradas nos requisitos de não causar dano a outros objetivos ambientais, como se vê a seguir.

• **Requisitos a serem elencados no item “Não prejudicar significativamente a nenhum objetivo ambiental”:**

a) Mitigação das mudanças climáticas

A redução das emissões de CO₂ associadas à produção de energia eólica podem ser alcançadas por meio da redução no consumo de combustíveis fósseis na fabricação e transporte de turbinas, e durante a operação, pela associação com a energia solar.

Tecnologias de automatização nos processos de fabricação podem reduzir o consumo de combustível, além da produção local de peças e componentes das turbinas e, como consequência, reduzir o desperdício de ener-

gia e materiais.

Algumas melhorias nos métodos de transporte das turbinas eólicas podem incluir o uso de meios de transporte mais eficientes quando for possível (ferroviário ou fluvial, elétricos ou que operem com biocombustíveis) e a otimização da logística (mudança nas rotas).

// Referências:

I. <https://doi.org/10.1201/9780429243608>

II. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138778>

b) Adaptação às mudanças climáticas:

Modificações no *design* das turbinas eólicas e principalmente o uso de materiais mais resistentes (como ligas metálicas mais fortes ou compósitos avançados) podem aumentar a durabilidade, resiliência a eventos climáticos extremos (como tempestades, furacões, etc.) e a variações da intensidade dos ventos, contribuindo para a eficiência energética da produção de energia eólica.

Projetos de usina a partir de materiais adaptados podem operar por mais tempo, minimizam a quantidade de turbinas descartadas e resíduos em geral e integram a sustentabilidade do início ao fim da cadeia de suprimentos.

// Referências:

I. <https://www.nrel.gov/wind/assets/pdfs/wind-capabilites-advanced-manufacturing-and-materials.pdf>

II. <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/81483.pdf>

III. <https://gwec.net/global-wind-report-2024/#download>

c) Proteção da biodiversidade:

A localização inadequada de parques eólicos pode representar uma ameaça e ser um fator de ameaça a sobrevivência de aves migratórias e fauna local, pois a instalação de turbinas em rotas migratórias pode causar colisões fatais, comprometendo a biodiversidade e desequilibrando ecossistemas. Portanto, é crucial realizar estudos de monitoramento do comportamento de aves migratórias e outras espécies vulneráveis, definir o isolamento do parque em relação a zonas de migração e quais as distâncias seguras entre turbinas dentro da usina. A partir desses aspectos, a serem devidamente

verificados no licenciamento, é possível escolher cuidadosamente o local de implantação da usina eólica.

Diversas taxonomias em vigor, seguindo o padrão da Taxonomia da União Europeia para Atividades Sustentáveis, discorrem sobre a necessidade de evitar possíveis distúrbios, deslocamentos ou colisões de aves devido à construção, operação e/ou manutenção de parques eólicos. Importa verificar se o licenciamento analisou com qualidade esses aspectos.

// Referências:

I. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/OCEaN-Mitigation-Report-2024.pdf>

II. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46909-z>

III. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02386>

d) Uso sustentável da terra/florestas:

A erosão e degradação do solo durante a construção e implantação de parques de energia eólica, se não forem controlados, podem afetar negativamente a fertilidade do solo, a qualidade da água e até mesmo a fauna local. Por isso, o monitoramento do uso do solo é uma condição para escolha do local mais adequado, em especial quando áreas degradadas são uma opção de escolha. Outras medidas de controle, como o uso de cobertura do solo, plantio de vegetação nativa ou a instalação de barreiras contra o vento são essenciais para reduzir a erosão (preexistente ou provocada pela atividade) e garantir que a construção não altere a dinâmica natural do terreno, minimizando assim os impactos ecológicos.

// Referências:

I. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2024-037-En.pdf>

II. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107934>

III. <https://doi.org/10.3390/land12101822>

e) Uso sustentável de recursos hídricos e marinhos:

Diversos fatores interferem na performance das turbinas eólicas offshore e na distribuição de espécies marinhas, como temperatura da água, velocidade do vento, direção das correntes oceânicas e marés, condições do solo

do leito do mar, etc. O monitoramento contínuo desses fatores se torna a ferramenta mais apropriada para garantir o desempenho das turbinas e minimizar impactos da usina eólica na biodiversidade marinha.

Um desses impactos é a perturbação do ambiente aquático. O processo de instalação de turbinas eólicas pode afetar a qualidade da água, causar ruído subaquático, perturbar a fauna marinha e afetar o habitat de espécies sensíveis, como peixes, mamíferos marinhos e aves. O uso de tecnologias de redução de ruído durante a etapa de construção e a escolha cuidadosa da localização da usina eólica, evitando áreas sensíveis como zonas de reprodução de peixes, são medidas importantes para manter a responsabilidade ambiental da atividade.

// Referências:

- I. <https://doi.org/10.3390/en17133098>
- II. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114386>

f) Economia circular:

As empresas do setor de energia eólica, ao adotar os princípios da economia circular, devem se certificar de que práticas de não geração, redução, reutilização e reciclagem de materiais estejam sendo implementadas de forma efetiva, durante as fases de planejamento e construção, afim de prevenir contaminações do solo, da água e aumento dos custos de gestão de resíduos.

O uso de materiais com certificação de origem, especialmente metais e materiais como o aço, é um elemento importante para a sustentabilidade dos projetos eólicos. Ao analisar a cadeia de suprimentos, é preciso adquirir materiais de fontes responsáveis, que garantam que o processo de extração e produção minimize os impactos ambientais, como a degradação de ecossistemas, desmatamento ilegal ou exploração de recursos naturais não renováveis.

Tornar as estruturas de turbinas eólicas mais resilientes em termos de recuperação de danos é também uma forma de economia circular aplicada. Isso implica em projetar as turbinas eólicas de maneira que possam suportar condições climáticas atípicas e, caso haja fa-

lhas, que seja possível recuperar ou reparar essas estruturas sem precisar substituir grandes componentes, evitando assim a geração de resíduos e prolongando o tempo de vida útil dos materiais, minimizando o desperdício de recursos.

Diversas taxonomias em vigor, seguindo o padrão da Taxonomia da União Europeia para Atividades Sustentáveis, discorrem sobre avaliar a disponibilidade e, quando viável, utilizar equipamentos e componentes de alta durabilidade e reciclabilidade e que são fáceis de desmontar e reformar.

// Referências:

- I. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/position-papers/WindEurope-position-paper-how-to-build-a-circular-economy.pdf>
- II. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.016>
- III. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105439>

g) Prevenção e controle da contaminação:

A Taxonomia Verde de Ruanda traz como recomendações adicionais para o subtópico Prevenção e controle da poluição o controle de resíduos líquidos, tais como garantir o descarte apropriado de lubrificantes e refrigerantes usados pelos sistemas de turbinas eólicas, a fim de evitar contaminação do solo devido ao não tratamento desses resíduos.

h) Redução das desigualdades sociais e regionais, de gênero e de raça

Estudos e reportagens investigativas nos últimos 2-3 anos apontam para impactos negativos dos parques eólicos nas comunidades locais, como por exemplo, essa matéria da Agência Brasil (EBC): <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-04/afetados-por-eolicas-discutem-danos-causados-comunidades> e essa reportagem da Mongabay: <https://brasil.mongabay.com/2023/10/comunidades-rurais-do-nordeste-enfrentam-desafios-causados-por-parques-eolicos/>

As comunidades se organizaram e, com apoio de organizações da sociedade civil e de universidades, produziram um documento com uma lista de salvaguardas que pleiteiam sejam

adotadas por novos projetos: [Salvaguardas socioambientais para energia renovável](#). Sugere-se que o conteúdo desse documento seja levado em consideração para inclusão entre os requisitos de não causar dano a outros objetivos da Taxonomia.

• **Sugestões de redação:**

Não prejudicar significativamente (a nenhum dos seguintes objetivos):	
Mitigação das mudanças climáticas	<p>Durante a operação, sempre que possível, utilizar a associação com a energia solar</p> <p>Redução no consumo de combustíveis fósseis na fabricação e transporte de turbinas</p> <p>Usar tecnologias de automatização nos processos de fabricação para reduzir o consumo de combustível, além da produção local de peças e componentes das turbinas</p> <p>Incrementar o desenvolvimento de melhorias em tecnologias que corrijam falhas no consumo de combustível durante o transporte de turbinas eólicas</p> <p>Uso de meios de transporte ferroviário, fluvial, elétricos ou que operem com biocombustíveis sempre que possível e otimização da logística (mudança nas rotas) no transporte das turbinas eólicas</p>
Adaptação à mudança do clima	Realizar modificações nos projetos de turbinas eólicas que podem aumentar a eficiência do uso de materiais (que sejam mais resistentes).
Proteção e restauração da biodiversidade e dos ecossistemas	Incluir no critério de localização distância de áreas importantes para aves ou rotas migratórias.
Uso sustentável da terra e conservação, manejo e uso sustentável das florestas	Utilizar medidas de controle durante a construção para reduzir a erosão e impactos ecológicos
Uso sustentável e proteção dos recursos hídricos e marinhos	<p>Monitorar as condições oceanográficas e meteorológicas e seus impactos na carga das turbinas eólicas <i>off-shore</i></p> <p>Implementar protocolos rigorosos de construção para reduzir o grau de perturbação no ambiente</p>
Transição para uma economia circular	<p>Adotar medidas para evitar a produção de resíduos durante a construção e instalação das turbinas</p> <p>Utilizar materiais (especialmente metais) com certificação de origem</p>

Prevenção e controle da contaminação	Aumentar a resiliência da estrutura em termos de recuperação de danos causados Garantir o descarte apropriado de lubrificantes e refrigerantes usados pelos sistemas de turbinas eólicas, a fim de evitar contaminação do solo devido ao não tratamento desses resíduos.
Redução das desigualdades sociais, regionais, de gênero e raça	Ver documento: https://climainfo.org.br/wp-content/uploads/2024/02/Salvaguuardas_FEV02_CLIMAINFO.pdf

D3: Geração de energia de origem solar

Sugere-se excluir o texto que consta em “Não prejudicar significativamente (a nenhum dos seguintes objetivos)”, no item “Uso sustentável da terra e conservação, manejo e uso sustentável das florestas”: “priorizar o uso de terras não produtivas para a instalação de painéis solares”. Isso porque uma alternativa muito mais interessante é o sistema agrivoltaico, que combina a geração de energia solar com a produção agropecuária. As placas solares não precisam, necessariamente, ser instaladas no solo, já que isso não afeta sua eficiência. Ao mesmo tempo, as mudanças climáticas intensificam a exposição da agropecuária à radiação solar, tornando-a mais vulnerável. Nesse sentido, elevar as placas solares pode oferecer sombra para os animais e reduzir a incidência de radiação sobre as plantações. Dessa forma, o sistema agrivoltaico é uma solução híbrida que traz benefícios duplos: além de impulsionar a produção agropecuária, também gera energia, que pode ser utilizada em parte para atender às demandas da própria propriedade. Esse sistema já pode ser encontrado na Europa, Estados Unidos e na China. Destaca-se que esse sistema não é novo, apesar das [vantagens](#), sendo citado em um documento do governo federal como uma alternativa ao uso sustentável e eficiente do solo¹.

Sugere-se incluir, além do sistema agrivoltaico, outros exemplos de inovação, na seção Exemplos de Atividades, tais como: células solares

de perovskita, células solares orgânicas e os sistemas híbridos que integram energia solar com outras fontes renováveis (como o armazenamento em baterias, energia eólica e painéis solares flutuantes).

// Referências:

- I. <https://www.energy.gov/eere/solar/perovskite-solar-cells>
- II. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23099>
- III. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2023.04.036>
- IV. <https://www.solarpowereurope.org/advocacy/position-papers/recommendations-for-onshore-floating-pv>
- V. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133790>
- VI. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf

Também para energia solar, nossas contribuições estão concentradas nos requisitos de não causar dano a outros objetivos ambientais.

• **Requisitos a serem elencados no item “Não prejudicar significativamente a nenhum objetivo ambiental”:**

a) Proteção da biodiversidade e ecossistemas:

A fim de promover a restauração de áreas degradadas em uso por usinas solares ou adjacentes às instalações, é possível que a instituição mantenedora da usina, pública ou privada, receba incentivos/subsídios ou disponha de recursos próprios para implementar projetos que reconstituam vegetação nativa ou projetos de permacultura. Recuperar áreas com foco na melhoria da biodiversidade e na pre-

¹SCHNEIDER, K; VIDOTTO, L. C. **Conhecimentos e Habilidades para o Uso de Energia Solar na Agricultura Familiar**. Revisão: Lucas Nascimento, Ricardo Rùther. Coordenação: Martin Studte, Roberta Knopki. Brasília: Ministério da Educação, Dez. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/areas-de-atuacao/ept/profissionais-futuro/Perfis_profissionais_AgriPV2.pdf. Acesso em: fev 2025.

servação de serviços ecossistêmicos vitais, como a purificação da água, o controle de inundações, melhoria da qualidade do solo e aumento do sequestro de carbono, também contribui para redução da quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera.

Evitar possíveis impactos negativos sobre a avifauna devido às altas temperaturas geradas pelas plantas nessa atividade é uma recomendação apresentada pela Taxonomia Verde da República Dominicana.

// Referência:

I. https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/restaurac%C3%A7%C3%A3o/Guia-de-Restauracao-Ecologica_digital.pdf

Corredores ecológicos em parques solares e em qualquer área onde haja atividade humana permitem que animais e espécies de plantas se conectem entre áreas distintas (a conexão favorece a movimentação e migração de comunidades, colonização de áreas degradadas, dispersão de sementes, etc.), o que é essencial para preservar a biodiversidade e permitir que as espécies se adaptem às mudanças ambientais provocadas pela perda e fragmentação de habitats, efeitos advindos da construção e operação das usinas solares e projetos de infraestrutura adjacentes. Dessa forma, a inserção de corredores ecológicos é essencial para manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Durante a fase de estudos de localização do empreendimento, deve-se verificar a presença de corredores ecológicos no ambiente. A construção de parques fotovoltaicos poderá impactar os corredores ecológicos existentes, diminuindo sua permeabilidade. Essa consideração garante a proteção de corredores ecológicos existentes e propicia a construção em locais apropriados.

// Referências:

I. <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/corredores-ecologicosdigital.pdf>
II. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02381>

A coabitação de animais silvestres deve ocorrer de forma segura nas instalações do parque solar, sem colocar em risco a sobrevivência destes e a proteção da saúde de trabalhadores contra animais peçonhentos que buscam abrigo sob os painéis solares, por exemplo.

A proteção da fauna local dentro dos parques solares pode ser alcançada por meio da atuação de um corpo técnico competente e pela disponibilização de locais adequados para captura e proteção de animais silvestres. Essas medidas de manejo são essenciais para evitar que as instalações afetem a fauna local, reduzindo a exposição a riscos, como colisões com estruturas ou a interrupção dos seus habitats naturais.

As taxonomias de Ruanda e Panamá sugerem a criação de plano de resgate e realocação de fauna, em especial quando houver evidência significativa da presença de animais selvagens em termos de quantidade e variedade de espécies.

// Referências:

I. <https://doi.org/10.1111/csp2.319>
II. <https://rewi.org/wp-content/uploads/2023/05/REWI-Solar-Energy-Wildlife-Interactions-Summary-2023.pdf>
III. <https://www.energy.gov/eere/solar/summary-solar-impacts-wildlife-and-ecosystems-request-information>
IV. <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2014/10/mtb-03-salv-terr.pdf>
V. <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/10-afugentamento-e-salvamento-de-fauna-rodoviario.pdf>

b) Uso sustentável da terra/florestas:

Especificamente nesse item, sugere-se a consideração de sistemas agrivoltaicos, em que é possível a produção de alimentos – pecuária e/ou agricultura – juntamente com a produção de energia solar. Entende-se a importância da não conversão de áreas naturais em grandes parques solares, contudo deve-se considerar que é possível, e vantajoso, a produção de energia juntamente com a produção de alimentos. Ademais, utilizar

terras não produtivas ou áreas com baixa densidade populacional como locais para instalação de parques solares contribui para redução da pressão sobre as terras agrícolas e do desmatamento de áreas naturais e para preservação das áreas de vegetação natural. Da mesma forma, construir em áreas próximas à infraestrutura existente diminui a necessidade de construção de novas linhas de transmissão, conseqüentemente evita a perda de outros habitats naturais. Ainda há como benefícios o aumento da disponibilidade de energia renovável que será produzida, gerando de forma veloz a substituição da matriz energética.

Essas medidas também são abordadas na Taxonomia Verde da República Dominicana, quando incentiva gerenciar riscos como o deslocamento de comunidades ou o impacto negativo na produção de alimentos devido à destinação de áreas inadequadas para construção de parques solares.

// Referências:

- I. <https://www.wri.org/insights/sustainable-land-use-management>
- II. <https://www.fao.org/4/i1861e/i1861e.pdf>
- III. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82042-5>

c) Prevenção e controle da contaminação:

O descarte incorreto de componentes solares que contenham substâncias tóxicas, mesmo que em baixa quantidade, podem torná-los agentes de contaminação do solo e da água. Assim, se torna necessário adotar boas práticas como o uso de materiais alternativos e a implementação de planos de gestão de resíduos e reciclagem de materiais no fim da vida útil. Este controle rigoroso reduz os impactos negativos locais das práticas de construção e operação do parque solar, fortalece o compliance com a legislação ambiental e garante a sustentabilidade do ciclo de vida dos painéis solares.

A Taxonomia de Finanças Sustentáveis do Panamá sugere para o subtópico Transição

para uma Economia Circular que seja estabelecido um local temporário para acumular todos os resíduos e assim garantir que todos sejam descartados de forma correta, em especial os que podem ser reciclados, reutilizados ou recondicionados. Essa sugestão corrobora o controle de poluição que deve ser estabelecido tanto na etapa de construção quanto operação do parque solar.

// Referências:

- I. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100885>
- II. <https://www.epa.gov/hw/end-life-solar-panels-regulations-and-management>
- III. <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>
- IV. <https://iea-pvps.org/key-topics/end-of-life-management-of-photovoltaic-panels-trends-in-pv-module-recycling-technologies-by-task-12/>

d) Redução das desigualdades sociais e regionais, de gênero e de raça

Estudos e reportagens investigativas nos últimos 2-3 anos apontam para impactos negativos dos parques fotovoltaicos nas comunidades locais, como por exemplo, essa matéria da Agência Brasil (EBC): <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-04/afetados-por-eolicas-discutem-danos-causados-comunidades> e essa reportagem da Mongabay: <https://brasil.mongabay.com/2023/10/comunidades-ruais-do-nordeste-enfrentam-desafios-causados-por-parques-eolicos/>

Recentemente, as comunidades se organizaram e, com apoio de organizações da sociedade civil e de universidades, produziram um documento com uma lista de salvaguardas que pleiteiam sejam adotadas por novos projetos: Salvaguardas socioambientais para energia renovável. Sugere-se que o conteúdo desse documento seja levado em consideração para inclusão entre os requisitos de não causar dano a outros objetivos da Taxonomia.

• **Sugestões para incorporação no texto:**

Não prejudicar significativamente (a nenhum dos seguintes objetivos):	
Adaptação à mudança do clima	Sistema híbrido com usinas eólicas ou hidrelétricas, sempre que possível
Proteção e restauração da biodiversidade e dos ecossistemas	<p>Implementar programas de restauração de habitat em áreas adjacentes após a construção e programas que financiam a melhoria dos ativos ambientais e dos serviços ecossistêmicos locais</p> <p>Inserir corredores ecológicos que permitam a conectividade do habitat em torno do parque solar</p> <p>Fornecer corpo técnico e locais adequados para captura e proteção de animais silvestres dentro do parque solar</p>
Uso sustentável da terra e conservação, manejo e uso sustentável das florestas	Priorizar o uso de terras não produtivas, áreas de baixa densidade populacional e próximos a infraestrutura de eletricidade existente para a instalação de painéis solares e garantir que as áreas de implantação não tenham sido convertidas de vegetação natural.
Uso sustentável e proteção dos recursos hídricos e marinhos	–
Transição para uma economia circular	–
Prevenção e controle da contaminação	Controlar substâncias potencialmente tóxicas ou perigosas utilizadas nos componentes do sistema fotovoltaico e durante a construção do parque solar, que podem resultar em poluição.
Redução das desigualdades sociais, regionais, de gênero e raça	Ver documento: https://climainfo.org.br/wp-content/uploads/2024/02/Salvaguuardas_FEV02_CLIMAINFO.pdf

D4: Geração de energia elétrica de origem térmica a partir de biomassa renovável, biogás, biometano e outros combustíveis

• Descrição:

Sugere-se a inclusão, após “biometano”, de mais duas categorias: “lodo de esgoto sanitário (digestão anaeróbica de resíduos orgânicos em Estações de Tratamento de Esgoto - ETE), combustíveis renováveis de origem não biológica (RFNBOs)”

Além disso, sugere-se o acréscimo do seguinte parágrafo:

“As rotas tecnológicas de conversão podem incluir, mas não se limitam a processos de gaseificação, pirólise e digestão anaeróbia. Devem também ser consideradas tecnologias associadas à captura, uso e armazenamento de carbono (CCUS), desde que atendam aos critérios de sustentabilidade e eficiência energética”.

Justificativa: a Política Nacional dos Combustíveis do Futuro introduz a perspectiva de novos combustíveis renováveis para apoiar a transição energética. O conceito de RFNBOs (Renewable Fuels of Non-Biological Origin) está diretamente alinhado com essa diretriz, especialmente para combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis de eletricidade e processos de eletrólise. A Lei 14.993/2024 estabelece que os combustíveis devem seguir critérios de intensidade de carbono (ICE), o que está relacionado aos RFNBOs, como o hidrogênio renovável, a amônia verde e os combustíveis sintéticos derivados de CO₂ capturado. Os RFNBOs são reconhecidos como ferramentas de descarbonização do setor de energia e transporte, permitindo a redução de emissões de GEE em setores difíceis de eletrificar, como aviação, navegação e transporte pesado.

• Exclusões:

A proposta submetida a consulta pública exclui tão somente a geração de eletricidade que seja 100% de origem fóssil. Sugere-se que a restrição seja muito mais ampla e ambiciosa:

“Atividades de geração de energia que utilizem combustíveis fósseis como fonte predominante (acima de 25%), exceto quando associadas a tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCUS) que garantam a captura de 100% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) ao longo do ciclo de vida”.

Essa medida é fundamental para promover a transição para uma matriz energética mais sustentável e atender aos objetivos climáticos globais. Além das emissões de CO₂, a queima de combustíveis fósseis libera poluentes atmosféricos adicionais, como NOx e material particulado, que geram graves impactos à saúde humana e ao meio ambiente.

Além dessa, sugerem-se outras exclusões importantes:

“Utilização de lodo de esgoto sanitário em processos que não incluam recuperação energética ou que apresentem disposição inadequada, como lançamento em aterros sem aproveitamento energético.

Geração de energia elétrica a partir de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) que utilizem tecnologias de oxidação térmica, pirólise, gaseificação ou plasma nos seguintes casos: - ausência de recuperação térmica (quando não houver recuperação e aproveitamento do calor residual gerado no processo de conversão térmica, resultando na ineficiência energética e no desperdício de recursos naturais); - falta de etapas prévias de manejo e triagem de resíduos”.

• Contribuição substancial para o objetivo 1 – Mitigação da mudança do clima – sugestão de critérios C, D e E

“C. Utilização de lodo de esgoto sanitário para produção de biogás, observados os seguintes requisitos: - o processo deve incluir sistemas de captação e purificação de biogás, com eficiência mínima de conversão de 60% em energia elétrica ou térmica; - as instalações devem dispor de planos de gestão para resíduos gerados no

processo (ex.: biofertilizantes), em conformidade com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010); sistemas devem incluir tecnologias de controle para captura de metano (CH₄)."

Justificativa: O lodo de esgoto sanitário possui alto potencial para a produção de biogás por meio de digestão anaeróbica. Segundo o PROBIOGÁS, essa tecnologia é amplamente utilizada para transformar resíduos orgânicos em biometano e energia elétrica, reduzindo emissões de GEE e oferecendo uma solução sustentável para o setor de saneamento.

"D. Integração de tecnologias avançadas de digestão anaeróbica: a utilização de digestores anaeróbicos em sistemas mesofílicos e bifásicos oferece oportunidades de melhoria na eficiência energética e produção de biogás. Este processo pode ser otimizado pela inclusão de co-substratos, como gordura de caixas de gordura, aumentando a produção de biogás e reduzindo custos de tratamento."

Justificativa: como se vê nesse estudo da IEA, a integração de tecnologias avançadas promove maior resiliência climática e economia operacional no setor de saneamento.

"E. Tecnologia Híbrida para Produção de Biometano e Cogeração de Energia"

Justificativa: o uso de tecnologias híbridas que combinam a produção de biometano e cogeração de energia térmica e elétrica apresenta um potencial significativo no setor de saneamento". Conforme o [Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto \(PROBIOGÁS, 2017\)](#), a integração dessas tecnologias permite que o biometano produzido a partir do lodo de esgoto seja utilizado diretamente na secagem térmica do lodo residual, otimizando o processo de gestão de resíduos e reduzindo o consumo de combustíveis fósseis. A cogeração permite o aproveitamento simultâneo da energia elétrica e térmica, alcançando eficiência energética global superior a 80%. Além dis-

so, ocorre a redução de emissões de GEE por meio da substituição de combustíveis fósseis e melhor controle de emissões no processo de secagem. Por fim, a transformação de resíduos orgânicos em energia útil promove a economia circular.

Sistemas híbridos podem ser implementados em ETEs para processar o biogás gerado no digestor anaeróbico, convertendo-o em biometano para uso interno, como na secagem do lodo, e exportando o excedente para a rede de gás natural ou para frotas veiculares.

• Requisitos elencados no item "Não prejudicar significativamente a outros objetivos ambientais"

Sugere-se o acréscimo dos seguintes requisitos, para cada um dos objetivos:

a) Adaptação às mudanças climáticas

"Obrigatoriedade de avaliações climáticas de risco antes da instalação de unidades de biomassa e lodo de esgoto em digestão anaeróbica, incluindo: resiliência a eventos climáticos extremos, como enchentes, secas e aumento da temperatura; diversificação de substratos e fontes de biomassa, reduzindo a dependência de fontes únicas e aumentando a flexibilidade operacional"

Justificativa: deve-se incorporar a avaliação de resiliência climática para mitigar os riscos de interrupção do fornecimento de biomassa. O objetivo é garantir que o empreendimento esteja adaptado a eventos climáticos extremos e estimular o uso de matéria-prima de resíduos agrícolas para reduzir a dependência de monoculturas. Diversificar as fontes reduz os riscos de interrupção da produção de biomassa em caso de seca prolongada, pragas e doenças.

b) Proteção e restauração da biodiversidade e dos ecossistemas

"É proibido o uso de biomassa oriunda de Áreas de Alto Valor de Conservação (AAVC) e Áreas de Importância para a Biodiversi-

dade (*Key Biodiversity Areas - KBA*). Essa restrição inclui a proibição de biomassa de ecossistemas críticos, como manguezais e restingas.”

Justificativa: esta medida visa preservar ecossistemas sensíveis e habitats críticos, essenciais para a biodiversidade e o equilíbrio ecológico, além de garantir a resiliência climática.

c) Uso sustentável da terra e das florestas

“Para cada área utilizada para cultivo de biomassa, deve ser exigida contrapartida de reflorestamento em uma proporção de 1:1 ou superior, a fim de promover a neutralização de carbono e a recuperação de áreas degradadas.”

“Deve-se priorizar a cogeração a partir de resíduos secundários, como bagaço de cana, cavacos de madeira e resíduos florestais, evitar a queima de biomassa de primeira utilização e priorizar o uso de subprodutos do setor agroindustrial.”

Justificativa: prevenção e compensação do desmatamento, que é grande fonte de emissões GEE e de perda da biodiversidade

d) Uso sustentável e proteção dos recursos hídricos e marinhos

“Deve ser elaborado um Plano de Avaliação de Impacto Hídrico (PAIH) para verificar a disponibilidade de água e o impacto na capacidade hídrica local.”

Justificativa: é preciso garantir que o uso de água para produção de biomassa não comprometa o abastecimento de água para consumo humano e agrícola.

“Deve ser observada a reutilização de água em processos de cogeração e digestão anaeróbia e devem ser adotadas Tecnologias de Eficiência Hídrica, como sistemas de resfriamento a seco.”

Justificativa: é preciso reduzir a captação de água de aquíferos e rios, minimizando o im-

pacto nos recursos hídricos.

e) Prevenção e controle da contaminação

“Fica proibida a utilização de resíduos perigosos (Classe I) como “outros combustíveis” em processos de geração de energia elétrica, salvo para resíduos que apresentem características de inflamabilidade, conforme o § 1º do artigo 72 do Decreto Federal nº 10.936/2022. Nesses casos, a utilização será permitida apenas mediante a comprovação de que as tecnologias de controle de emissões utilizadas estão em conformidade com os padrões internacionais de emissões, com destaque para as Melhores Técnicas Disponíveis (Best Available Techniques - BAT), e em conformidade com as normas ambientais nacionais.

É necessária a instalação de Sistemas de Monitoramento Contínuo de Emissões (CEMS) para medir em tempo real monóxido de carbono (CO) e oxigênio (O2).”

Justificativa: a incineração de resíduos perigosos, como resíduos químicos e industriais, é uma fonte significativa de emissão de dioxinas e furanos. Esses compostos são classificados como Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) devido à sua alta persistência no ambiente e capacidade de bioacumulação na cadeia alimentar. A exposição humana a dioxinas e furanos está associada a diversos efeitos adversos à saúde, incluindo câncer, distúrbios endócrinos, imunológicos e reprodutivos. Essas informações são corroboradas por estudos científicos, como o artigo [“Dioxinas e furanos: origens e riscos”](#) publicado na Revista de Saúde Pública. A [Resolução CONAMA 316/2002](#) exige que a incineração de resíduos perigosos seja realizada com controle de emissões. Portanto, a exclusão garante conformidade com a regulamentação ambiental e a saúde pública.

D5: Geração de eletricidade através das marés, ondas e correntes oceânicas

Destaca-se, no cenário atual e naquele que se avizinha, a necessidade de criar um ambiente mais resiliente às mudanças climá-

ticas, o que exige a intensificação e diversificação das fontes de geração de energia. À medida que essas mudanças se aprofundam, espera-se um aumento nas oscilações climáticas e na frequência e intensidade de eventos extremos. A diversificação torna-se essencial, funcionando como chave para garantir resiliência e prevenir a escassez energética.

Nesse sentido, é necessário considerar o desenvolvimento de plantas híbridas de geração de energia. Esse modelo permite um melhor aproveitamento da infraestrutura existente, ao integrar diferentes fontes renováveis, trazendo maior resiliência ao sistema e reduzindo a pegada material associada à produção de energia. Estudo da [IRENA \(2020\)](#) traz alguns modelos híbridos que já estão em desenvolvimento ou em fase de pesquisas:

- **Sistemas híbridos – oceânica e eólica:** modelo híbrido mais complexo que combina energia eólica *offshore* flutuante com energia das ondas. Esse modelo contribui significativamente para a adaptação climática, ao diversificar a produção de energia e fortalecer a resiliência energética diante das oscilações climáticas esperadas com o avanço das mudanças climáticas. Além disso, permite um melhor aproveitamento da infraestrutura, maximizando a geração de energia a partir de uma única instalação. Também promove a transição energética, ampliando a produção de energia por meio de fontes renováveis de baixa emissão de carbono, reforçando assim um importante aspecto da mitigação climática.

- **Sistemas híbridos – oceânica e solar:** dispositivos híbridos que combinam conversores de energia das ondas com painéis solares. Esse modelo já está em funcionamento através da [Eco Wave Power](#) com instalações em Gibraltar e Israel, marcando um marco comercial importante na operação de tecnologias híbridas de energia oceânica. Essa combinação permite diversificar a geração de energia, maximizando a produção mesmo em períodos de mar mais calmo, enquanto reduz o impacto ambiental e otimi-

za o uso das instalações. Além disso, essas tecnologias contribuem tanto para a **adaptação climática**, ao aumentar a resiliência energética frente às oscilações climáticas, quanto para a **mitigação das mudanças climáticas**, ao usar apenas fontes de energia renovável com baixas emissões de carbono.

- **Sistemas híbridos – oceânica e produção de hidrogênio:** o uso da eletricidade gerada por turbinas de maré para produzir hidrogênio a partir da água do mar representa uma solução inovadora e eficiente. Nesse modelo, a energia gerada é diretamente utilizada no processo de eletrólise, transformando a água do mar em hidrogênio, que pode ser armazenado na própria unidade por até duas semanas. Essa abordagem elimina a necessidade de conexão à rede elétrica, evitando a instalação de infraestrutura submarina cara e complexa, o que reduz significativamente os custos de instalação, manutenção e operação. Além disso, a proximidade com a água do mar simplifica e torna o processo de eletrólise mais acessível, contribuindo para uma produção eficiente de hidrogênio verde. Essa solução desempenha um papel crucial na **adaptação às mudanças climáticas**, pois o hidrogênio oferece uma versatilidade superior à energia elétrica. Além de poder ser armazenado por longos períodos, o hidrogênio pode ser facilmente transportado, permitindo sua utilização em locais distantes da fonte de geração.

Sugere-se, assim, a **inclusão desses sistemas híbridos**, inclusive para favorecer a sua disseminação em território brasileiro.

• **Requisitos elencados no item “Não prejudicar significativamente a outros objetivos ambientais”**

Existe ainda uma carência significativa de dados sobre os impactos ambientais da geração de energia através das ondas, já que os projetos em operação atualmente são apenas testes experimentais, sem grandes implementações comerciais. O fato de que dispositivos de energia das ondas e correntes de maré ainda estão em fases experimentais significa que os dados disponíveis

sobre os efeitos ambientais em desenvolvimentos comerciais são limitados. Contudo, alguns estudos já elencam alguns possíveis impactos ambientais, sendo necessária a inclusão dos seguintes requisitos para não prejudicar significativamente os demais objetivos ambientais:

a) Proteção e restauração de cursos hídricos e recursos marinhos:

- **Avaliação sobre a quantidade e qualidade de espécies marinhas impactadas** - a instalação de turbinas pode gerar impactos significativos nos ecossistemas marinhos, afetando diretamente diversas espécies. As alterações no ecossistema podem influenciar padrões de alimentação, migração e outros comportamentos dessas espécies. Por isso, recomenda-se incluir esse aspecto no monitoramento ambiental, a fim de avaliar e mitigar possíveis efeitos adversos. (Frid et al., 2011; Copping et al., 2020; Li, 2022).

- **Avaliação da taxa de erosão ou sedimentação em áreas próximas às instalações e adoção de medidas de mitigação dos impactos, se necessário** - alterações nos padrões de fluxo espacial impactam a deposição e o movimento de sedimentos, influenciando diretamente as comunidades bentônicas. Nas áreas próximas às turbinas, ocorre a remoção e compactação dos sedimentos, enquanto, a montante da barragem, há maior assoreamento e acúmulo de materiais finos, comprometendo a adequação dos habitats como berçários ou áreas de desova para peixes (Frid et al., 2011; Copping et al., 2020; Li, 2022). Assim, é fundamental monitorar esse aspecto para evitar danos significativos ou, pelo menos, garantir a implementação de um plano eficaz de mitigação ambiental.

- **Avaliação da mudança na velocidade/direção das correntes marítimas** - essas instalações removem energia do movimento das ondas, alterando os padrões de correntes locais e modificando a dinâmica hidrodinâmica do ambiente, o que pode impactar significativamente o ecossistema marinho (Frid et al., 2011). Por isso, esse é outro aspecto

que merece atenção e monitoramento constante.

- **Gestão de riscos de incidentes de colisão ou distúrbio comportamental de animais marinhos com turbinas** - um dos possíveis danos associados a essas instalações é a colisão de animais com as turbinas. Contudo, ainda não há evidências suficientes para determinar o grau de risco desse impacto, conforme destacado por Copping et al. (2020) e Li (2022). Nesse sentido, esse é um outro aspecto importante que necessita monitoramento.

- **Avaliação do impacto da intensidade e frequência dos ruídos marinhos** - barragens de maré, fazendas de correntes de maré e fazendas de energia das ondas são grandes estruturas de engenharia civil, cuja construção e descomissionamento geram ruídos em níveis potencialmente prejudiciais à vida marinha. Por isso, é importante monitorar a intensidade e a frequência dos ruídos em todas as fases do projeto, desde a construção, incluindo a operação das turbinas, que também pode gerar emissões sonoras. No entanto, Frid et al. (2011) destacam que é improvável que o ruído operacional dessas instalações tenha impacto ecológico significativo, embora ainda haja pouca informação disponível sobre os níveis sonoros produzidos durante sua operação.

- **Avaliação da incidência de alterações no comportamento ou migração de espécies marinhas devido ao aumento do tráfego** - a presença de instalações de médio ou grande porte para produção de energia pode aumentar significativamente o tráfego marítimo relacionado à manutenção. Esse aumento pode impactar a vida marinha, especialmente em áreas historicamente mais tranquilas. Assim, esse é outro aspecto que deve ser monitorado, como destacado por Copping et al. (2020) e Li (2022).

- **Parâmetros quantitativos:**

Não há uma definição específica de parâmetros para emissões de gases de efeito estufa no caso da energia oceânica. Contudo, tanto a Taxonomia Verde colombiana quan-

to a Mexicana consideram essa fonte de energia como qualquer outra renovável, aplicando o mesmo critério de um máximo de emissões de **100 gCO₂e/kWh**, no qual fica isenta de uma avaliação do ciclo de vida, desde que atenda ao parâmetro. Este limite pode ser revisado periodicamente, caso necessário. Nesse sentido, sugere-se o estabelecimento de um limite quantitativo também para essa fonte de energia, já que sua contribuição à mitigação das mudanças climáticas advém justamente de ficar aquém do volume de emissões de gases de efeito estufa de outras fontes tradicionais – e isso precisa ser mensurado.

// Referências:

COPPING, Andrea E.; HEMERY, Lenaig G.; OVERHUS, Dorian; TUGADE, Levy. Potential environmental effects of marine renewable energy development: the state of the science. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 11, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse8110879>. Acesso em dez. 2024.

FRID, Chris; ANDONEGI, Eider; DEPESTELE, Jochen; JUDD, Adrian; RIHAN, Dominic; ROGERS, Stuart I.; KENCHINGTON, Ellen. The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 32, n. 1, p. 133-139, 2012. ISSN 0195-9255. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.002>. Acesso em: jul. 2024.

IRENA. **Innovation outlook: Ocean energy technologies**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Innovation_Outlook_Ocean_Energy_2020.pdf?rev=c5025e856b1f4a4c8eda2b8e-5b10c974.

Li, Hangfei; Sun, Xiwen; Zhou, Hui. Wave energy: history, implementations, environmental impacts, and economics. In: **2nd International Conference on Materials Chemistry and Environmental Engineering** (CONF-MCEE 2022), 2022, Online, United States. Proceedings of SPIE, v. 12326, p. 123260N, 5 ago. 2022. DOI: 10.1117/12.2646119.

D6 e D7: Transmissão e distribuição de energia elétrica

Não temos sugestões de exclusão de nenhum texto.

• Parâmetros quantitativos:

Sugere-se que a elegibilidade tenha como base o parâmetro de um máximo de emissões de 100 gCO₂e/kWh. Infraestruturas de T&D dedicadas à criação de uma conexão direta ou à expansão de uma conexão direta de rede entre países/regiões existente entre uma usina de energia cujas emissões de CO₂ excedam esse valor de referência não são elegíveis. Diversas Taxonomias em vigor, seguindo o padrão da Taxonomia da União Europeia para Atividades Sustentáveis, seguem esse limiar como critério de elegibilidade. Já a Taxonomia Verde da Mongólia estabelece o seguinte limiar para eficiência energética em sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia para fins de enquadramento: redução mínima de 20% das emissões de GEE.

• Requisitos elencados no item “Não prejudicar significativamente a outro objetivo ambiental”:

a) Proteção da biodiversidade e ecossistemas:

A instalação de estruturas de transmissão e distribuição, como torres e condutores, pode representar uma ameaça à fauna aérea, principalmente aves que podem se chocar com essas estruturas. Portanto, implementar medidas de segurança para a fauna, como desviadores de voo, distanciamento adequado das linhas de rede e altura das torres, densidade da vegetação (isolamento da área), telas ao redor das torres, etc., são uma forma viável para proteger a biodiversidade local e migratória de aves de colisões e choques fatais.

A Taxonomia Verde da República Dominicana sugere evitar rotas de linhas elétricas subterrâneas e terrestres com fortes impactos ambientais negativos associados.

// Referências:

I. <https://doi.org/10.1111/cobi.14191>

II. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.10.005>

III. http://www.bestgrid.eu/uploads/media/D7.2_Guidelines_Protecting_Nature.pdf

b) Uso sustentável dos recursos hídricos e marinhos:

A instalação de linhas de transmissão pode impactar ecossistemas frágeis, como as zonas ripárias e costeiras, aumentando o risco de erosão, perturbação do solo e da vegetação, também prejudicando a qualidade da água das áreas afetadas e o equilíbrio natural dos ecossistemas aquáticos. As áreas ripárias e costeiras são importantes sumidouros de carbono, assim sendo, sua preservação deve ser prioritária, e os impactos ambientais minimizados.

// Referências:

- I. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X1822>
- II. <https://www.epri.com/research/products/1021826>
- III. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/10327/riparian-areas-functions-and-strategies-for-management>

c) Prevenção e controle da poluição:

Poluição térmica: as linhas de transmissão e distribuição podem gerar calor residual, especialmente se localizadas próximas a corpos d'água. A poluição térmica pode afetar a temperatura dos ecossistemas aquáticos, alterando a fauna e flora aquáticas e as interações físico-químicas destes com o ambiente. Portanto, nessas condições é importante planejar o distanciamento seguro e, caso haja proximidade da rede preexistente de corpos d'água, o monitoramento da temperatura da água para detectar possíveis variações anormais de calor deve ser realizado continuamente.

// Referências:

- I. https://psc.wi.gov/Documents/Brochures/Environmental_Impacts_TL.pdf
- II. <https://www.epa.gov/cre/actions-could-reduce-water-temperature>

Campos eletromagnéticos (EMF): em áreas residenciais próximas a linhas de transmissão de alta voltagem, deve ser realizado o monitoramento da exposição do público aos campos eletromagnéticos (EMF), a fim de minimizar potenciais riscos à saúde, assegurando que os níveis de EMF estejam dentro dos limites estabelecidos por organismos de saúde internacional e, caso necessário, medidas de controle como barreiras físicas ou ajustes nas linhas da rede podem ser ado-

tadas. A Taxonomia da União Europeia para Atividades Sustentáveis e diversas outras taxonomias apontam que deve-se limitar o impacto da radiação eletromagnética sobre a saúde humana de acordo com a legislação vigente sobre radiação não-ionizante.

// Referências:

- I. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/96-129/default.html>
- II. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfg-dl2020.pdf>

Emissões de SF₆: o hexafluoreto de enxofre (SF₆) é um gás utilizado em equipamentos de transmissão de energia elétrica, como interruptores e transformadores, com potencial de poluição e efeitos adversos sobre o clima global mais intensos que os do CO₂. Sendo assim, o monitoramento e controle de emissões de hexafluoreto de enxofre deve ser realizado através da recuperação e reciclagem do gás durante a instalação, manutenção e desativação de equipamentos elétricos, da realização de manutenção regular, para evitar vazamentos e por fim, substituição do SF₆ por gás C₄, por exemplo.

// Referências:

- I. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2020-04/2020_03_25_sf6_and_alternatives_en.pdf
- II. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3_5_SF6_Electrical_Equipment_Other_Uses.pdf
- III. <https://www.epa.gov/eps-partnership/sulfur-hexafluoride-sf6-basics>

• Sugestões para incorporação no texto:

Não prejudicar significativamente (a nenhum dos seguintes objetivos):	
Adaptação à mudança do clima	–
Proteção e restauração da biodiversidade e dos ecossistemas	Promover a segurança do entorno, como isolamento e espaçamento adequado dos condutores e torres e a instalação desviadores de voo de aves, evitando rotas migratórias e de deslocamento intenso de aves, sempre que possível.
Uso sustentável da terra e conservação, manejo e uso sustentável das florestas	–
Uso sustentável e proteção dos recursos hídricos e marinhos	Proteger a vegetação ripária, áreas costeiras ou margens de rios que estão em risco devido à erosão em que as linhas da rede traspassaram.
Transição para uma economia circular	–
Prevenção e controle da poluição	<p>Monitorar e controlar a poluição térmica gerada pelo calor residual das linhas de transmissão localizadas em proximidade a corpos d'água</p> <p>Monitorar e controlar a exposição a campos eletromagnéticos do público em geral</p> <p>Monitorar e controlar as emissões de hexafluoreto de enxofre (SF₆) provenientes da transmissão e distribuição de energia elétrica</p>

D9: Sistemas de Armazenamento de Energia

Sugere-se a inclusão específica de **baterias de água e sal**, também conhecidas como “baterias redox de água salgada”, que representam uma tecnologia emergente de armazenamento de energia, operando por meio de reações de oxidação-redução entre eletrólitos contendo íons de sal dissolvidos em água. Este método inovador oferece soluções seguras, sustentáveis e escaláveis para o armazenamento de energia, com aplicações que abrangem integração com fontes renováveis, indústrias, transporte, dessalinização e tratamento de água.

As baterias de água e sal têm ganhado visibilidade devido ao seu potencial de sustentabilidade. De acordo com a Engie Brasil, essas baterias podem ser fabricadas com água do mar, o que aumenta a abundância de matéria-prima e facilita sua aplicação em locais próximos a corpos hídricos costeiros, como é o caso da tecnologia Salgenx, *startup* norte-americana, que “desenvolveu uma bateria de fluxo com dois tanques separados de eletrólitos, um dos quais é água salgada e o outro um eletrólito proprietário. Os fluidos circulam através de eletrodos, que regulam a entrada e saída de eletricidade da bateria.”

Além disso, conforme destacado pelo InsideEVs, essa tecnologia pode ser utilizada em veículos elétricos, proporcionando uma alternativa ao uso de lítio e outros metais raros, que possuem maior custo e impacto ambiental. Segundo o portal Fuel Economy, as tecnologias emergentes de baterias, incluindo as de água e sal, estão alinhadas com as metas de eficiência energética e com a redução das emissões de gases de efeito estufa, além de promover maior independência energética. De acordo com a Recharge News, as baterias de água e sal também podem revolucionar o armazenamento de energia verde, contribuindo de forma significativa para a expansão de fontes renováveis no mundo.

As baterias de água e sal são altamente compatíveis com fontes renováveis, como

solar e eólica, proporcionando soluções de armazenamento e estabilidade da rede elétrica, especialmente para comunidades remotas. Adicionalmente, elas apresentam vantagens significativas na regulação de frequência e voltagem, redução de custos de infraestrutura elétrica e suporte à geração distribuída em locais isolados.

Exemplos de atividades:

- Integração de baterias em parques solares e eólicos para armazenamento de energia.
- Implementação de sistemas de armazenamento para estabilização de redes elétricas.
- Uso em sistemas isolados para fornecer eletricidade a comunidades remotas.

Contribuição Substancial para o Objetivo 1 - Mitigação da Mudança do Clima:

As baterias de água e sal contribuem para a descarbonização do setor elétrico ao viabilizar o armazenamento de energia renovável e reduzir a dependência de usinas termoeletricas movidas a combustíveis fósseis.

Crterios de elegibilidade: As atividades são elegíveis se atenderem a todos os critérios a seguir:

A. Integração comprovada com fontes renováveis: os sistemas de armazenamento devem demonstrar compatibilidade técnica e operacional com fontes de energia solar, eólica e outras fontes renováveis, garantindo que a energia armazenada seja predominantemente de origem limpa.

B. Eficiência energética e segurança operacional comprovadas: as baterias devem atender a requisitos de eficiência energética elevados, minimizando perdas de conversão e maximizando o aproveitamento da energia armazenada. Além disso, precisam demonstrar conformidade com normativas de segurança para evitar riscos elétricos e ambientais.

C. Viabilidade técnica e econômica para ex-

pansão da capacidade de armazenamento: a solução deve permitir escalabilidade, garantindo que sua implementação possa ser ampliada conforme a demanda energética, sem comprometer a estabilidade financeira dos projetos e assegurando custos competitivos a longo prazo.

D. Compatibilidade com o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE): o armazenamento de energia deve estar alinhado com as regras do SCEE para facilitar a compensação de créditos de energia.

E. Adesão ao Programa de Energia Renovável Social (PERS): projetos devem contemplar critérios de acessibilidade e benefícios sociais para populações vulneráveis, conforme diretrizes do PERS.

• **Requisitos de “Não prejudicar significativamente a outros objetivos ambientais”:**

Sugere-se os seguintes requisitos para prevenir danos a outros objetivos ambientais:

a) **Adaptação às mudanças climáticas:** garantir que as atividades implementadas utilizem tecnologias resilientes a eventos climáticos extremos e promovam soluções baseadas na natureza para reduzir impactos ambientais a longo prazo.

b) **Proteção da biodiversidade e ecossistemas:** exigir análises detalhadas de impacto ambiental pré-implementação, com foco na conservação de habitats sensíveis e na mitigação de impactos diretos sobre a fauna e flora locais.

c) **Uso sustentável do solo e conservação das florestas:** priorização de processos que promovam práticas regenerativas no uso do solo e evitam a ocupação de áreas de preservação permanente (APPs) ou de uso restrito.

d) **Uso sustentável de recursos hídricos:** garantir que projetos relacionados ao uso de

baterias de água e sal utilizem água proveniente de fontes renováveis e tenham sistemas de reuso eficientes, reduzindo a pressão sobre recursos hídricos locais.

e) **Transição para a economia circular:** incentivar o uso de matérias-primas recicladas ou recicláveis e a implementação de programas de logística reversa para componentes usados, como baterias e equipamentos.

f) **Prevenção e controle da contaminação:** adotar limites rigorosos para emissões atmosféricas e geração de resíduos, incluindo diretrizes específicas para o manejo e descarte de resíduos perigosos.

// Referências:

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewable energy for remote communities: **A guidebook for off-grid projects**. Abu Dhabi, 2023. Disponível em: www.irena.org/publications. Acesso em: 04 fev. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access: An opportunity not to be missed**. Abu Dhabi, 2019. Disponível em: www.irena.org/publications. Acesso em: 04 fev. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Innovation landscape brief: Peer-to-peer electricity trading**. Abu Dhabi, 2020. Disponível em: www.irena.org/publications. Acesso em: 04 fev. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable energy integration in power grids: Technology brief**. Abu Dhabi, 2015. Disponível em: www.irena.org/publications. Acesso em: 04 fev. 2025.

D10: Produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono

• Exclusão de atividades do escopo de elegibilidade:

- produção de hidrogênio a partir de reforma de metano de origem fóssil sem captura e armazenamento de carbono (CCS)² ou sem controle de emissões de GEE;

²De acordo com a [International Energy Agency \(IEA\)](http://www.iea.org), a produção de hidrogênio a partir de gás natural sem captura de carbono resulta em uma intensidade de emissões na faixa de 10 a 14 kg de CO₂ equivalente por kg de H₂ produzido. Portanto, a exigência de excluir tecnologias que não façam a captura e o armazenamento de carbono é justificada devido às altas emissões de gases de efeito estufa associadas a esse processo.

- produção de hidrogênio utilizando água subterrânea de regiões com alto índice de estresse hídrico, exceto se houver dessalinização e plano de manejo de salmoura adequadamente implementados.

• Sugestão de inclusão de parâmetro quantitativo no critério A, que define uma das formas de “Contribuição Substancial para o Objetivo 1 - Mitigação da Mudança do Clima”:

“As emissões de gases de efeito estufa (GEE) no ciclo de vida do hidrogênio não devem ultrapassar 7 kgCO₂e/kgH₂, conforme o marco regulatório brasileiro para indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono estabelecido pela Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024.”

Justificativa:

Diferentes rotas tecnológicas apresentam variações nas emissões ao longo do ciclo de vida. O hidrogênio renovável, produzido pela reforma de gás natural com captura e armazenamento de carbono (CCS), deve manter suas emissões entre 1 e 7 kgCO₂e/kgH₂, garantindo uma captura mínima de carbono conforme os padrões da Taxonomia da União Europeia e do CertifHy. Já o hidrogênio, obtido por eletrólise com eletricidade 100% renovável, apresenta emissões significativamente menores, variando entre 0 e 1,5 kgCO₂e/kgH₂, alinhado às diretrizes da Diretiva RED II da União Europeia.

O hidrogênio de biogás, produzido via reforma a vapor do biometano com CCS pode ter emissões que variam de -2 a 3 kgCO₂e/kgH₂, sendo potencialmente carbono-negativo dependendo da origem e do processo. Da mesma forma, o hidrogênio obtido a partir da gaseificação ou pirólise da biomassa apresenta emissões entre -5 e 2 kgCO₂e/kgH₂, sendo altamente eficiente do ponto de vista climático quando associado à captura de carbono. O hidrogênio, obtido pela pirólise do metano, pode apresentar emissões de 0 a 3 kgCO₂e/kgH₂, dependendo da eficiência do processo e do destino do carbono sólido resultante.

• Sugestão de inclusão no item B:

“A produção por eletrólise deve incluir a exigência de comprovação de origem renovável da eletricidade utilizada por meio de garan-

tias de origem (GOs), conforme prática internacional adotada no [CertifHy da União Europeia](#).”

• Sugestão de critério C:

“Implementação de práticas de valorização e reutilização de subprodutos gerados nos processos de produção de hidrogênio, com vistas à economia circular e à redução de impactos ambientais.”

• Sugestão de item com lista de requisitos obrigatórios para os critérios A a C:

- Deve haver Análise de Ciclo de Vida (ACV) para comprovação das emissões de GEE, conforme a ISO 14067, e o uso de metodologias de certificação de carbono alinhadas ao CertifHy e ao [H2 Global](#).

- Exige-se a implementação de um sistema de rastreabilidade da energia consumida no processo de produção de hidrogênio, garantindo que a energia elétrica utilizada provém de fontes renováveis e seja certificada por garantias de origem.

- Deve-se usar ferramentas digitais para MRV (Monitoramento, Relato e Verificação), tais como tecnologias de blockchain e gêmeos digitais para monitoramento em tempo real, promovendo a integridade e a transparência dos dados de emissões de GEE e do consumo de energia.

- Deve-se assegurar que as metodologias de contabilização de GEE estejam alinhadas à ISO 14067 e ISO 19694, garantindo que as emissões ao longo do ciclo de vida do hidrogênio sejam contabilizadas de forma transparente e auditável.

- Deve-se garantir que a produção de hidrogênio seja suportada por infraestrutura de energia de backup, incluindo sistemas de armazenamento de energia elétrica (baterias ou supercapacitores) e fontes alternativas de energia renovável, para evitar interrupções de produção devido à indisponibilidade de eletricidade renovável.

- Devem ser mensurados Indicadores de De-

sempenho Climático, quais sejam:

a) emissões de GEE geradas na produção de hidrogênio, englobando emissões diretas (Escopo 1), indiretas de energia elétrica (Escopo 2) e emissões indiretas ao longo da cadeia de fornecimento (Escopo 3); Indicadores Chave: Intensidade de emissões de GEE ($\text{kgCO}_2\text{e/kg H}_2$) – Limite máximo: $7 \text{ kgCO}_2\text{e/kg H}_2$ (Lei nº 14.948/2024). Emissões de GEE por Escopo ($\text{tCO}_2\text{e/ano}$) – Emissões separadas por Escopos 1, 2 e 3. Emissões evitadas ($\text{tCO}_2\text{e/ano}$) – Quantidade de emissões de GEE evitadas com a adoção de tecnologias de baixa emissão (comparação com hidrogênio cinza). Referências: **SASB – RT-CH-110a.1 e RT-CH-110a.2**, **GRI 305** – Emissões de GEE (Escopo 1, 2 e 3), **EFFAS KPIs ESG** – Intensidade de emissões ($\text{kgCO}_2\text{e/MWh}$).

b) eficiência energética (%) - mede a eficiência da transformação da energia elétrica em energia química (H_2) no processo de eletrólise. Indicadores Chave: eficiência energética do processo de eletrólise (%) – razão entre a energia química no hidrogênio e a energia elétrica consumida. Relação de conversão energia/hidrogênio ($\text{kg H}_2\text{/MWh}$) – Quantidade de hidrogênio produzido por unidade de energia consumida. Padrões de Referência: **EFFAS KPIs ESG** – Eficiência energética no Escopo 1, **GRI 302** – Consumo de energia, **ISO 50001** – Eficiência Energética e **ISO 14067** – Pegada de Carbono de Produtos.

c) consumo de água ($\text{m}^3\text{/kg H}_2$ produzido) - avalia a eficiência no uso de água, especialmente relevante para regiões de estresse hídrico. Indicadores Chave: Volume de água consumida ($\text{m}^3\text{/kg H}_2$) – Indicador de eficiência hídrica. Porcentagem de reuso de água (%) – proporção de água reutilizada no processo. Padrões de Referência: **GRI 303** – Captação, Consumo e Descarte de Água, **EFFAS KPIs ESG** – Eficiência no uso de água ($\text{m}^3\text{/kg de H}_2$) e **ODS 6** – Água Potável e Saneamento.

d) pegada de carbono no Ciclo de Vida (LCA – Life Cycle Assessment) - mede as emissões de carbono ao longo de todo o ciclo de vida do hidrogênio, desde a extração de matérias-primas até o uso final. Indicadores Chave: Pega-

da de carbono total ($\text{kgCO}_2\text{e/kg H}_2$) – Emissões totais ao longo do ciclo de vida. Intensidade de emissões ($\text{kgCO}_2\text{e/MWh}$) – Pegada de carbono associada ao consumo de eletricidade. Padrões de Referência: **ISO 14067** – Pegada de Carbono de Produtos e **ISO 14044** – Análise do Ciclo de Vida (LCA)."

• **Requisitos de não prejudicar significativamente a nenhum dos objetivos ambientais**

São sugeridos os seguintes requisitos adicionais para os objetivos listados:

a) Adaptação à mudança do clima:

- Adotar tecnologia de eletrolisadores com capacidade de adaptação a variações de temperatura e umidade, permitindo a operação contínua mesmo em ondas de calor e secas prolongadas. As instalações devem ser equipadas com sistemas de controle de temperatura e umidade, que garantam a continuidade operacional e a eficiência dos eletrolisadores.

- Projetar e implementar instalações de produção de hidrogênio que resistam a condições climáticas adversas, incluindo inundações, ondas de calor, escassez hídrica, tempestades e ventos fortes. As estruturas críticas, como eletrolisadores, sistemas de reforma e gaseificação de biogás, devem ser adaptadas para suportar condições extremas, com reforço de drenagem, isolamento térmico de alta eficiência e controle de temperatura para reduzir riscos de evaporação e perda de eficiência dos sistemas de resfriamento e liquefação de hidrogênio.

- Desenvolver Planos de Contingência para Eventos Climáticos Extremos, incluindo protocolos de evacuação, interrupção de atividades e medidas para proteção de equipamentos e materiais críticos. Estes planos devem ser integrados a um Sistema de Gestão de Riscos Climáticos (SGRC) e revisados periodicamente com base nas projeções climáticas mais recentes. A exigência de planos de contingência aumenta a resiliência operacional e mitiga os riscos financeiros, ambientais e de segurança ocupacional. Esta abordagem é utilizada em políticas de descarbonização do [Banco Mun-](#)

dial e na metodologia de [“Climate Resilience Plans”](#) da IEA.

b) Uso sustentável e proteção dos recursos hídricos e marinhos:

“- Realizar estudos de impacto hídrico e climático para avaliar a disponibilidade de água e as alterações na geração de energia renovável que podem afetar a produção de hidrogênio.

- Garantir a priorização do uso de águas residuais tratadas e a adoção de tecnologias de eletrólise com água do mar, para reduzir a dependência de água doce. A capacidade instalada deve contar com sistemas de recuperação de efluentes e reuso de água nas operações industriais.”

Justificativa:

A produção de hidrogênio consome quantidades significativas de água, variando conforme a tecnologia empregada apresentada nos estudos pela [Argonne National Laboratory](#), sendo pela Eletrólise da água, de aproximadamente 9 kg de água por kg de hidrogênio produzido; e pela reforma de metano a vapor (SMR) com captura e armazenamento de carbono (CCS): de 13 a 18 kg de água por kg de hidrogênio. Esse elevado consumo hídrico é particularmente preocupante em regiões com escassez de água. Para mitigar esse impacto, alternativas como o uso de água do mar e águas residuais tratadas estão sendo exploradas. Contudo, a corrosão dos eletrodos representa um desafio técnico significativo na eletrólise com água do mar. Empresas como a [Siemens Energy](#) e a [Thyssenkrupp Nucera](#) estão desenvolvendo eletrolisadores avançados que utilizam água e energia renovável para produzir hidrogênio de forma eficiente e sustentável.

c) Proteção e restauração da biodiversidade e dos ecossistemas:

- Realizar o planejamento e a seleção de locais para a instalação de plantas de produção de hidrogênio priorizando áreas previamente degradadas, industriais ou de baixo valor de biodiversidade.

- Evitar a implantação de instalações em Áreas

de Preservação Permanente (APP), Unidades de Conservação (UCs), zonas de amortecimento e áreas reconhecidas como [“Key Biodiversity Areas” \(KBAs\)](#) ou áreas designadas sob convenções internacionais, como a [Convenção de Ramsar](#).

- Elaborar Avaliação de Impacto de Biodiversidade (AIB) para qualquer instalação de produção de hidrogênio. A AIB deve abordar a identificação de espécies sensíveis, corredores ecológicos, impactos cumulativos e riscos associados a espécies migratórias. A avaliação deve considerar as diretrizes definidas pelo [IFC Performance Standard 6](#) e pela [Convenção sobre Diversidade Biológica \(CDB\)](#).

- Implementar e monitorar medidas de restauração de áreas degradadas e impactadas pela instalação de infraestruturas de produção de hidrogênio, priorizando a restauração ecológica com base no conceito de [“Rehabilitation for Biodiversity”](#). As medidas devem incluir replantio de vegetação nativa, controle de espécies invasoras, recuperação de solos compactados e reabilitação de corredores ecológicos para fauna. A restauração deve ser acompanhada de indicadores de sucesso e monitoramento contínuo por pelo menos cinco anos após a implantação do projeto.

- Aplicar a hierarquia de mitigação de impactos para todos os projetos de produção de hidrogênio, conforme os princípios do **IFC Performance Standard 6 (PS6)**. A hierarquia deve seguir a seguinte ordem de prioridade: (1) evitar o impacto, (2) minimizar o impacto, (3) restaurar o impacto, e (4) compensar o impacto. A compensação deve ser a última medida, aplicada apenas após esgotar todas as alternativas de mitigação e restauração locais.

- Exigir o monitoramento contínuo das condições de biodiversidade nas áreas afetadas pelas instalações de produção de hidrogênio. O monitoramento deve ser realizado anualmente por pelo menos cinco anos, utilizando indicadores de biodiversidade (por exemplo, densidade de espécies, taxa de regeneração de vegetação nativa, presença de fauna). Relatórios anuais de conformidade devem ser enviados à autoridade reguladora e disponibiliza-

dos ao público, promovendo a transparência e o controle social.

d) Transição para uma economia circular:

- Priorizar o uso de resíduos sólidos urbanos (RSU) e lodo de estações de tratamento de esgoto (ETE) como fontes de insumos para a produção de hidrogênio.

- As plantas de hidrogênio que utilizarem RSU e lodo de ETE devem realizar uma triagem prévia para separação de materiais recicláveis e garantir que os resíduos perigosos sejam tratados adequadamente, minimizando riscos de contaminação ambiental.

- Implementar indicadores de desempenho para medir a eficiência dos processos de reaproveitamento de resíduos orgânicos na produção de hidrogênio. Os indicadores de circularidade devem incluir a **taxa de utilização de biomassa residual (% do total de insumos), redução de resíduos destinados a aterros sanitários e proporção de resíduos reaproveitados**. Esses indicadores devem ser relatados anualmente e auditados por um organismo independente.

- Adotar a hierarquia de resíduos estabelecida pela [Lei nº 12.305/2010 \(Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS\)](#), garantindo que a produção de hidrogênio priorize o aproveitamento de resíduos orgânicos de forma a: (1) Reutilizar, (2) Reciclar, (3) Recuperar energia e (4) Dispor de forma controlada e responsável. Esse princípio deve ser aplicado para os resíduos sólidos urbanos (RSU), biomassa residual de atividades agroindustriais e lodo de estações de tratamento de esgoto (ETE).

- Maximização do Aproveitamento de Resíduos: aplicar o conceito de “economia circular” por meio de etapas que maximizam a reutilização, reciclagem e a recuperação de energia.

[Como exemplos práticos, no setor de biogás, o lodo de ETEs e a biomassa residual já são amplamente utilizados como insumos para a produção de gás de síntese (syngas) e metano, sendo que o mesmo conceito pode ser aplicado à produção de hidrogênio.]

- Exigir a rastreabilidade e a certificação dos resíduos utilizados na produção de hidrogênio, com base nos princípios da **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)** e na **Diretiva Europeia de Economia Circular**. A rastreabilidade deve assegurar a identificação da origem dos resíduos e garantir que a biomassa e os resíduos utilizados não tenham origem em áreas de preservação ambiental ou áreas de alto valor de conservação (HCV - High Conservation Value).

- Fomentar a integração de tecnologias de conversão de resíduos orgânicos na produção de hidrogênio, como pirólise, gaseificação e digestão anaeróbica, priorizando a conversão de resíduos sólidos urbanos (RSU), lodo de estações de tratamento de esgoto (ETE), resíduos agroindustriais e biomassa residual. As instalações devem aplicar práticas de **controle de emissões atmosféricas**, de forma a minimizar as emissões de poluentes secundários, como dioxinas e furanos, durante o processo de conversão térmica.

- Implementar indicadores de circularidade para medir o desempenho dos processos de aproveitamento de resíduos orgânicos na produção de hidrogênio. Os indicadores devem incluir a **taxa de reciclagem, percentual de resíduos reutilizados e a quantidade de resíduos desviados de aterros sanitários**. Esses indicadores devem ser monitorados e reportados anualmente às autoridades reguladoras de acordo com as diretrizes da **PNRS**.

D11 - Produção de Biogás e Biometano

Não temos nenhuma sugestão de exclusão de texto.

Inclusões: Para o critério A, a atividade deverá atender aos requisitos abaixo:

- Para que a produção de biogás e biometano ocorra com eficiência, faz-se necessária a adoção de tecnologias avançadas que otimizem os processos de digestão anaeróbia. Isso inclui a **utilização de reatores de fluxo contínuo e batelada, além de sistemas de purificação para conversão do biogás em biometano**, ga-

rantindo sua qualidade para injeção na rede de gás natural. Também se destaca a necessidade de **recuperar e reutilizar o calor residual gerado durante o processo**, promovendo maior eficiência energética.

// Referências:

I. <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>

II. <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-guia-etes.pdf>

III. <https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-tecnologias-biogas.pdf>

• **Requisitos elencados no item “Não prejudicar significativamente outros objetivos ambientais”:**

a) Mitigação das mudanças climáticas

Com o objetivo de minimizar impactos climáticos, é essencial implementar mecanismos de redução de emissões fugitivas de metano e adoção de tecnologias de dessulfurização para remoção de H₂S.

b) Transição para a economia circular:

A produção de biogás deverá comprovar a origem sustentável da biomassa utilizada, assegurando que os insumos sejam provenientes de fontes renováveis e compatíveis com a economia circular. Nesse sentido, além das tradicionais fontes como resíduos agroindustriais e dejetos animais, também devem ser incluídos **resíduos alimentares urbanos, lodo de estações de tratamento de esgoto e resíduos industriais orgânicos**. Isso amplia as possibilidades de aproveitamento de substratos e reduz a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários.

c) Prevenção e Controle de Contaminação:

A captura e o uso do biogás em vez da liberação direta do metano para a atmosfera evitam emissões significativas de gases de efeito estufa. Tecnologias modernas de purificação permitem que o biogás seja convertido em biometano de alta qualidade, substituindo combustíveis poluentes e reduzindo a pegada de carbono do setor energético.

O controle da qualidade do ar é reforçado pelo uso de filtros avançados para remoção de contaminantes como o sulfeto de hidrogênio (H₂S) e outras impurezas presentes no biogás bruto. Esse processo melhora a segurança operacional e evita impactos ambientais adversos, garantindo uma combustão mais limpa e eficiente quando o biogás é utilizado para geração de energia.

Para garantir a segurança ambiental e evitar riscos de contaminação, as instalações de biogás devem seguir normas rigorosas para o manuseio de substratos e efluentes. Monitoramentos contínuos da qualidade do ar, água e solo devem ser implementados para assegurar a conformidade com os padrões ambientais.

Seções D8, D12, D13, D14, D15 e D16:

Não foram analisadas

Sugestão de Seção D17: energias renováveis para cocção

Em regiões rurais de baixa renda, é comum o uso da lenha para cocção, levando tanto ao desmatamento quanto à degradação florestal. Esse é um problema que não deve ser ignorado, devendo ser fomentadas tecnologias para uso mais eficiente ou substituição da lenha, tais como fogões movidos a energia solar, uso de cascas de côco no lugar da lenha, etc.

Sugere-se a inclusão da seguinte atividade:

- Fabricação de fogões ou combustíveis renováveis para cocção.

// Referências:

CAMARA, André Felipe et al. **Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios**. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339284371_Aproveitamento_de_cascas_de_coco_para_geracao_de_energia_termica_potencialidades_e_desafios

Instituto Perene. **Fogões mais eficientes para comunidades rurais**. Disponível em: <https://www.perene.org.br/fo-goes-eficientes/>

SANTOS, Camila; FERRARETTO, Tânia. **Fogão solar: ferramenta viável para cozimento de alimentos a partir de materiais de baixo custo**. UFSC, 2016. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&id=W2403551072>

2 Observações sobre a seção dedicada ao objetivo “Adaptação à mudança do clima”

• Sugestão para as Tabelas 1 (Atividades de Adaptação Elegíveis CNAE D) e 2 (Medidas de Adaptação Elegíveis CNAE D) – coluna Ameaças:

Deve-se especificar ameaças por eventos climáticos adversos e/ou inusitados causados por mudanças climáticas.

• Considerações para a Tabela 4 (Requisitos específicos para investimentos em adaptação para o setor energia) – Linha “Mitigação das Mudanças Climáticas”: A atividade/medida não leva a um aumento nas emissões líquidas de gases de efeito estufa.

Há necessidade de mais especificidade em termos quantitativos, por exemplo, há aumento em relação as emissões por qual medida de tempo? Qual a porcentagem de aumento aceitável? Falta também um valor de referência ou uma faixa aceitável do total de emissões.

3 Níveis de contribuição à sustentabilidade

A classificação em vários “tons de verde” pode ser aprofundada tanto à luz de critérios ambientais quanto sociais. Para efeitos preliminares, elabora-se sugestão de que sejam adotados ao menos dois níveis de enquadramento:

a) Verde claro:

a) novas usinas de produção, transmissão ou distribuição de eletricidade renovável, biogás ou biometano que atendam aos parâmetros quantitativos previstos nessa Taxonomia;

b) armazenamento de CO₂ e iluminação pública eficiente

b) Verde escuro:

a) sistemas de eletricidade híbridos, que conjugam baixas emissões com resiliência às intempéries climáticas;

b) sistemas de geração, transmissão ou distribuição de eletricidade renovável ou produção de biogás ou biometano para populações que não tinham acesso a esses serviços;

c) medidas de eficiência energética ou hídrica para usinas de energia renovável já em funcionamento;

d) armazenamento de energia usando baterias de água e sal;

e) utilização de energias renováveis para cocção.

CNAE E

6

Água e
esgoto



SUMÁRIO

1º. ponto – Exclusões (questão 11.2)	69
2º. ponto – Inclusões:	69
I – Sistemas alternativos de abastecimento de água	69
Sistemas alternativos de captação de água bruta	70
Sistemas alternativos de tratamento da água	71
II – Sistemas alternativos de esgotamento sanitário	73
Sistemas alternativos de tratamento do esgoto.....	74
Sistemas alternativos para disposição final do efluente	76
III - Seção E5: Digestão anaeróbica de lodo e esgoto – sugestões de inclusões	77
Integração de tecnologias avançadas de digestão anaeróbica	77
Tecnologia Híbrida para Produção de Biometano e Cogeração de Energia.....	77
3º. ponto: Requisitos elencados no item “Não prejudicar significativamente outros objetivos ambientais”	78
I - Abastecimento de água	78
II - Esgotamento sanitário.....	78
4º. ponto – Níveis de contribuição à sustentabilidade	78
Referências	79
Parâmetros quantitativos	79

1º. ponto – Exclusões:

Não foi encontrado nenhum ponto cuja exclusão se sugere.

2º. ponto – Inclusões:

I – Sistemas alternativos de abastecimento de água

O Brasil, com seu extenso território e grande diversidade geográfica, apresenta uma distribuição populacional concentrada em grandes centros urbanos, mas ainda há muitas comunidades em áreas remotas e afastadas desses centros. Em relação ao termo “comunidades

isoladas”, refere-se a periferias urbanas áreas periurbanas/ rururbanas, rurais ou litorâneas e podem, inclusive, estar muito próximas ou ser contíguas às regiões atendidas pelos serviços municipais de saneamento e, mesmo assim, estarem desconectadas destes. Da mesma forma, podem estar localizadas em territórios especiais, como unidades de conservação, terras indígenas, territórios quilombolas e outros de populações tradicionais (TONETTI *et al*, 2018). Essa realidade exige a consideração de sistemas alternativos de abastecimento de água, especialmente em regiões onde a construção de redes tradicionais, como tubulações, torna-se topográfica (como favelas em morros) ou economicamente inviável devido às grandes

distâncias e custos envolvidos na extensão da rede pública para uma baixa demanda do ponto de vista quantitativo. Os tomadores de crédito (como a modalidade financeira mais básica de captação de recursos) para viabilizar a modelagem financeira das operações tanto podem ser Municípios quanto associações de moradores (o Brasil possui mais de 4 mil associações de moradores registradas), além das próprias concessionárias, visando ampliar a prestação de serviços.

Ressalta-se a importância de considerar essas soluções como parte de estratégias de **adaptação**, considerando-se que a escassez hídrica é o principal risco climático físico (ou consequência mais intensa das mudanças climáticas). Além disso, considerando-se a importância do saneamento básico para o direito à saúde, e que a indisponibilidade afeta justamente as regiões mais precárias do país (o acesso ao tratamento de água e esgoto nas regiões Norte e Nordeste tem uma proporção de aproximadamente a metade das regiões Sul e Sudeste, por exemplo) e também as camadas sociais mais desfavorecidas, as soluções alternativas de esgotamento sanitário contribuem com os **objetivos sociais da Taxonomia, voltados à redução de desigualdades**.

O próprio Manual de Saneamento do Ministério da Saúde descreve algumas soluções alternativas que são viáveis e sustentáveis, aos quais acrescentamos abaixo tecnologias disruptivas, que são chave para universalizar o acesso a água tratada para toda a população brasileira. Apresentamos primeiro as soluções relativas à captação de água, e depois aquelas relativas ao tratamento.

Sistemas alternativos de captação de água bruta:

• Coleta de águas pluviais por superfície

A captação e o reaproveitamento de águas pluviais representam uma solução eficiente e sustentável para o abastecimento de água destinada a **usos não potáveis**. Esse sistema coleta a água da chuva em coberturas e telhados, permitindo sua utilização em atividades como lavagem de pisos, descargas sanitárias e

irrigação de jardins. Diante das mudanças climáticas e do aumento da frequência de períodos de estiagem, essa alternativa se torna uma medida importante de **adaptação** climática, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos. Ao direcionar a água pluvial para usos gerais, reduz-se a demanda por água potável, promovendo o uso mais racional e sustentável desse recurso vital.

• Nascentes de encostas por caixa de tomada

O sistema de captação por nascentes de encostas por caixa de tomada é uma técnica de captação e armazenamento de água proveniente de nascentes ou infiltrações localizadas em encostas. É uma boa alternativa em áreas rurais ou em regiões onde o acesso a fontes de água tratada é limitado e que não são alcançadas pela infraestrutura urbana de distribuição de água.

• Fundos de vale por galerias filtrantes

O aproveitamento de fonte de fundo de vale é um método de captação de água que utiliza sistemas de drenagem subsuperficial para coletar a água proveniente de áreas de baixa altitude, como vales. Essa técnica é particularmente eficaz em regiões onde há infiltração natural de água no solo e o lençol freático é raso, mas não são alcançadas pelo sistema de distribuição de água convencional.

• Cisterna com captação de água fluvial

É um sistema descentralizado e alternativo de suprimento, com a vantagem da conservação dos recursos hídricos e baixo custo de implantação; a água coletada na cobertura ou telhado da casa é conduzida por calhas e tubulação adequada até um reservatório (pré-moldado de cimento, plástico, fibra de vidro, etc); um dispositivo de descarte separa os resíduos da primeira água coletada (fuligem, folhas, galhos, etc.); o sistema permite acumular água nos períodos chuvosos para uso posterior.

• Poço tubular profundo com captação do lençol artesiano

Os poços tubulares profundos são sistemas

de captação de água subterrânea que retiram água de aquíferos profundos, como o artesiano ou confinado, situados abaixo do lençol freático. Esses aquíferos estão localizados entre camadas impermeáveis de rocha ou solo, que criam pressão superior à atmosférica, resultando em características específicas de comportamento da água no poço. Poços artesianos são comuns em regiões rurais e distantes de centros urbanos, sendo uma boa alternativa para o acesso a água potável.

• Poço escavado ou perfurado com captação do lençol freático

Poços rasos ou freáticos são uma solução prática e acessível para o aproveitamento do lençol freático, ideal para o abastecimento tanto individual quanto coletivo.

• Poços tubulares com bomba submersa, com painéis fotovoltaicos

São poços simples, com a proteção adequada para evitar contaminação pelo terreno adjacente; os painéis fotovoltaicos fornecem a energia à bomba para a retirada da água e atendimento a populações locais em que a energia seria um empecilho ao abastecimento.

• Águas superficiais (rios, lagos e açudes) por tomada direta fixa ou móvel

A captação de águas superficiais por tomada direta refere-se à retirada de água de rios, lagos, açudes ou outros corpos hídricos superficiais sem o uso de estruturas intermediárias, como tanques de armazenamento ou sistemas de tratamento. Se for direcionado ao consumo humano, é importante a adoção de opções “caseiras” de tratamento como fervura para possível desinfecção. Em localidades isoladas, muitas vezes a única fonte de água é a superficial, podendo ser uma importante alternativa de adaptação à escassez hídrica.

• Captação de água através da umidade do ar

Uma inovação tecnológica que pode levar água até regiões remotas é a extração de água do ar. Essa solução, ainda em fase de desenvolvimento e não comercializada, surge como

uma alternativa viável para **adaptação** climática e enfrentamento de estiagens. Protótipos como o WaterSeer (Bora et al., 2018) estão sendo projetados para captar água da atmosfera de forma simples e eficiente. Esse dispositivo utiliza o princípio da condensação para produzir água potável, sem depender de fontes de energia não renováveis, emissões de gases de efeito estufa ou causar impactos ambientais significativos. Além disso, a energia solar, uma fonte geralmente abundante em regiões áridas, pode ser utilizada para alimentar essa tecnologia. Já existe [pesquisa](#) nessa área, apesar de estarem em estágios iniciais.

• Dessalinização da água

Outro método que merece atenção é a dessalinização da água, em combinação com energia solar. Pesquisas realizadas no Brasil, conforme apontado por Campos et al (2019), vêm explorando a eficiência dessa abordagem sob diversas técnicas. Diversos métodos já foram identificados, como descrito por Campos et al, sendo os destiladores solares diretos uma opção particularmente viável para produções inferiores a 200 m³/dia, em áreas isoladas para volumes reduzidos, tornando-se uma alternativa promissora para locais com infraestrutura limitada.

Sistemas alternativos de tratamento da água:

Diferentes técnicas de tratamento de água bruta são aplicadas no Brasil, principalmente em sistemas já operantes. A escolha da técnica mais adequada depende das características locais, incluindo densidade populacional e infraestrutura disponível. Em áreas remotas com menor densidade populacional, métodos mais simples e economicamente viáveis podem ser mais indicados, desde que mantenham a eficiência. Por outro lado, em regiões mais urbanizadas, as técnicas tradicionais podem demandar modernização, seja devido à necessidade de substituição de sistemas antigos ou à degradação contínua da qualidade dos mananciais, que deveriam ser prioritariamente preservados. Dessa forma, defende-se que diferentes técnicas de tratamento devem ser implementadas conforme a necessidade específica de cada contexto, promovendo a **adaptação** climática ao se considerar as mu-

danças no regime hídrico e a maior pressão sobre os recursos hídricos. Além disso, essas técnicas podem atuar como medida de **mitigação**, ao reduzir os impactos ambientais associados à poluição e assegurar a disponibilidade de água potável.

• Estações compactas de tratamento de água

São unidades pré-fabricadas, com todas as etapas necessárias ao tratamento da água; têm a vantagem da instalação em prazo reduzido, podendo ser montadas em contêineres ou pequenas construções nas localidades a abastecer.

• Tratamento sem coagulante: Filtração lenta, Filtração em múltiplas etapas

Essa tecnologia envolve o processo de passagem da água a ser tratada através de um meio filtrante poroso, geralmente composto por areia fina. Nesse processo, o material em suspensão é retido, principalmente na superfície da areia, por meio de mecanismos como transporte, adesão e atividades biológicas. As baixas velocidades de filtração permitem que a água flua lentamente através da camada de sujeira formada pela retenção e decantação de partículas, localizada na parte superior do meio filtrante. Trata-se de uma tecnologia de baixo custo que, apesar de estar sendo gradualmente substituída devido ao desconhecimento sobre seu funcionamento e à percepção de baixa eficiência no tratamento, ainda apresenta relevância.

Souza *et al* (2018) desenvolveram uma **pesquisa** com trabalho de campo indicando que essa técnica continua sendo amplamente utilizada no interior de Santa Catarina, com a argumentação de que o processo é eficaz, desde que os mananciais sejam preservados. Ou seja, a deterioração na qualidade da água tratada não está diretamente ligada ao processo de filtração, mas sim à piora da qualidade da água bruta. Nesse contexto, a proteção dos mananciais torna-se não apenas necessária, mas também mais viável como uma medida de **adaptação**. Isso, juntamente com a maior proteção ao meio ambiente e a preservação dos recursos naturais, ajuda a evitar investimentos e gas-

tos públicos relacionados à substituição da infraestrutura já estabelecida — o que implicaria em custos com materiais, maquinários, entre outros. Essa abordagem pode ser considerada uma estratégia de **mitigação**, ao reduzir a necessidade de intervenções onerosas e promover a sustentabilidade a longo prazo.

Além do tratamento mencionado, existem outras formas alternativas e complementares de tratamento de água que podem ser utilizadas dependendo das características da água e dos objetivos desejados. Essas alternativas podem ser incorporadas em sistemas já existentes ou usadas como soluções independentes, entre elas:

• Tratamento com coagulante

Essa técnica é amplamente utilizada nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) atualmente, sendo uma das mais eficazes para a remoção de impurezas e a clarificação da água. Apesar de sua predominância, o tipo de coagulante empregado pode variar, dependendo das características da água bruta e das condições locais.

• Nanotecnologia

Além dos métodos tradicionais, é fundamental considerar inovações emergentes no setor, como o tratamento de água por meio de filtros de nanotecnologia. Essa tecnologia, embora recente, já está sendo utilizada para mitigar a escassez de água em comunidades brasileiras afetadas por estiagens, especialmente na região amazônica (<https://saudeealegria.org.br/redemocoronga/ministerio-da-saude-reconhece-filtros-de-nanotecnologia-como-eficazes-na-purificacao-de-agua/>). Nesse contexto, os filtros de nanotecnologia representam uma medida adaptativa crucial, fornecendo água potável durante períodos de seca extrema, como os que o Brasil tem enfrentado recentemente. São soluções compactas, fáceis de transportar, o que reforça o potencial para resposta de outros eventos extremos que comprometam o acesso à água. A alternativa pode ser considerada em outros eventos extremos que comprometam o acesso à água potável para as populações afetadas.

• Biotecnologia

A biotecnologia é outra solução importante para o tratamento, principalmente de água residuais. Essa solução oferece soluções eficazes para tratar águas residuais, utilizando microrganismos geneticamente modificados que degradam contaminantes específicos. Um exemplo é o uso da biotecnologia pela SuperBac para ajudar uma empresa a reduzir custos com descarte de lodo. A solução diminuiu significativamente os resíduos, alcançando o resultado desejado e gerando economia (<https://rmai.com.br/2022/08/30/uso-da-biotecnologia-no-tratamento-de-efluentes-industriais/>). Essa solução é uma importante alternativa de **adaptação**, pois reduz o volume de resíduos, e uma medida de **mitigação**, ao diminuir a necessidade de transporte de águas residuais. Isso resulta em menor emissão de gases de efeito estufa e demanda por infraestrutura.

• Eletrocoagulação e Eletrodeionização

Essa é uma tecnologia nova, amigável ao meio ambiente na medida em que não tem impacto ambiental, sendo uma alternativa econômica para tratamento e recuperação de água. A tecnologia é um conhecido processo de tratamento de águas residuais que consiste na aplicação de corrente elétrica para remover contaminantes sem a necessidade de adição de produtos químicos que podem gerar poluentes secundários (GRECCO, SOUZA & ZANONI, 2022). Nesse sentido, uma ótima alternativa de **adaptação** e **mitigação**, já que não gera resíduos ao meio ambiente.

• Membranas de Grafeno na Osmose Reversa

Essa tecnologia, já estudada há algum tempo, pode ser a solução para ampliar a disponibilidade de água em situações de crise hídrica. Como a maior parte da água no mundo é salgada, tecnologias que aumentem o acesso à água potável são medidas promissoras de adaptação. De acordo com Bertoncello, Modaeli & Batista (2021), a tecnologia com grafeno pode atingir um custo de apenas 0,30 dólares por 1.000 galões, oferecendo uma oportunidade concreta de desenvolvimento para regiões do semiárido brasileiro.

• Desinfecção Avançada com Ozônio e UV

Outras tecnologias para auxiliar e melhorar o sistema de armazenagem de água incluem a instalação de mecanismos adicionais de tratamento, como a desinfecção com ozônio e luz ultravioleta (UV). Essas tecnologias são capazes de eliminar microrganismos patogênicos, reduzindo o risco de doenças e diminuindo os custos de manutenção dos sistemas de abastecimento. Além disso, são medidas eficazes e sustentáveis de adaptação em cenários de crise hídrica, pois garantem maior eficiência no reaproveitamento da água e promovem a segurança hídrica (<https://www.snatural.com.br/filtracao=-agua-potavel-reuso-desinfeccao/?srsltid=AfmBOoqxDUdpP-kNZLMk6W9andJrHRpCD-vE-b1BsvND2jsudlBo7cc-U>).

II – Sistemas alternativos de esgotamento sanitário

Assim como no caso do abastecimento de água, o acesso ao esgotamento sanitário é um direito fundamental, exigindo-se que todas as famílias tenham, no mínimo, um banheiro com lavabo e sistema de esgotamento sanitário adequado dentro do domicílio e com tratamento e descarte correto dos efluentes. No entanto, em regiões isoladas e distantes dos grandes centros urbanos ou em comunidades urbanas com topografia inadequada, como favelas, levar a rede pública de esgoto até esses locais nem sempre é viável, seja pela condição topográfica, seja pelos altos custos de construção e manutenção.

Nesse contexto, sistemas alternativos aos convencionais são, muitas vezes, a solução mais viável para a universalização do serviço, se não a única. Entre essas alternativas, há soluções individuais e coletivas. As soluções individuais atendem a apenas um imóvel, enquanto as coletivas abrangem o esgotamento de mais de um imóvel. Entretanto, quanto maior for o sistema, maior será a concentração de gases, lodos e efluentes líquidos (FUNASA, 2018). Ressalta-se, assim, a importância de considerar essas soluções como parte de estratégias de **adaptação às mudanças climáticas**, ao reduzir a poluição hídrica associada à ausência de saneamento adequado, considerando-se que

a escassez hídrica é o principal risco climático físico (ou consequência mais intensa das mudanças climáticas). Além disso, considerando-se a importância do saneamento básico para o direito à saúde, e que a indisponibilidade afeta justamente as regiões mais precárias do país (o acesso ao tratamento de água e esgoto nas regiões Norte e Nordeste tem uma proporção de aproximadamente a metade das regiões Sul e Sudeste, por exemplo) e também as camadas sociais mais desfavorecidas, as soluções alternativas de esgotamento sanitário contribuem com os **objetivos sociais da Taxonomia, voltados à redução de desigualdades**.

Para tanto, destacam-se sistemas alternativos de esgotamento sanitário que devem ser incluídos na Taxonomia, começando pelo tratamento do esgoto e depois passando à destinação final dos efluentes. A escolha da solução alternativa ideal passa por muitos fatores, entre eles, o custo, os hábitos das comunidades, topografia, e até mesmo, infraestrutura preexistente. TONETTI *et al* (2018) elaboraram um fluxograma para escolha da alternativa mais adequada, O primeiro critério a ser analisado é a necessidade de uso de água na descarga.

Outro aspecto relevante a ser destacado para a adaptação é considerar alternativas adaptadas a áreas alagáveis e resilientes a episódios de inundações e enchentes. PEDRO *et al*. (2020), levantaram mais de 21 soluções para o esgotamento sanitário em áreas alagáveis, partindo do mesmo critério da necessidade de uso de água na descarga. Em geral, estas soluções consistem em adaptações das tecnologias listadas a seguir.

Sistemas alternativos de tratamento do esgoto:

1. Soluções sem uso de água na descarga

- **Fossa seca:** A fossa seca é uma solução simples para o saneamento, consistindo em um buraco escavado no solo, sobre o qual se constrói um piso e uma casinha. Essa estrutura não apenas protege a fossa, mas também proporciona mais conforto ao usuário. O buraco onde são depositados os dejetos pode ser revestido ou não, sendo o concreto e a alvenaria algu-

mas das opções disponíveis. É essencial ter cuidado com sua localização, evitando áreas próximas a rios, lençóis freáticos e outras fontes de água.

- **Banheiro seco compostável ou fossa de fermentação:** uma alternativa para locais com escassez hídrica em que se tratam apenas os dejetos sólidos. Consiste no confinamento das fezes em uma câmara impermeabilizada localizada abaixo do acento de evacuação. Além das fezes, adiciona-se serragem a cada uso do banheiro, proporcionando condições para a compostagem do material armazenado. O resultado desse processo é um material rico em nutrientes que pode ser utilizado no cultivo de várias plantas.

- **Estocagem e uso de urina:** técnica que coleta e utiliza a urina como fertilizante natural, contribuindo assim com o uso econômico da água e a ciclagem de nutrientes. Para isso, deve-se separar urina e fezes no momento de sua produção, deixando a urina armazenada por tempo suficiente para o seu uso seguro em práticas agrícolas.

2. Soluções com uso de água na descarga:

Quando a descarga utiliza água, mas o esgoto do vaso sanitário é separado do restante da casa, o tratamento pode ser dividido em duas categorias: o tratamento das águas do vaso sanitário e o tratamento das águas cinzas (águas residuais provenientes de pias, chuveiros, banheiras, máquinas de lavar e outros usos domésticos que não envolvem esgoto sanitário).

2.1 Tratamento de águas de vaso sanitário

- **Fossa verde** (também conhecido como tanque de evapotranspiração (Tevap), ecofossa, fossa biosséptica, biorremediação vegetal, fossa de bananeira ou canteiro biosséptico): É uma alternativa ecológica e de baixo custo para o tratamento de efluente domiciliar, no qual as águas e os nutrientes do esgoto são reaproveitados para o cultivo de plantas; tem a forma de uma vala de alvenaria impermeabilizada, com estrutura interna em forma de câmara; o esgoto é direcionado para dentro da câmara e escoado por materiais porosos que ser-

vem como filtro (entulho, casca de coco, etc.), em que são cultivadas as plantas; a digestão anaeróbia consome a matéria orgânica proveniente do dejetos domiciliares, em conjunto com a ação de micro-organismos aeróbios na zona de raízes das plantas (FAGUNDES e SCHERER, 2009).

- Fossa séptica biodigestora: a fossa séptica biodigestora (FSB) é uma tecnologia desenvolvida em 2001 pela Embrapa Instrumentação (São Carlos/SP) para tratar a água do vaso sanitário. O sistema é composto por três caixas d'água interligadas, onde a matéria orgânica do esgoto é degradada e transformada em biofertilizante, que pode ser utilizado em algumas culturas. Projetado para atender residências com até cinco pessoas, o sistema pode ser adaptado para acomodar um número maior de moradores.

2.2 Tratamento de águas cinzas

- Círculo de bananeiras: Consiste em uma vala circular preenchida com galhos e palhada, onde desemboca a tubulação. Ao redor são plantadas bananeiras e/ou outras plantas que apreciem o solo úmido e rico em nutrientes.

2.3 Tratamento conjunto das águas cinzas e do vaso sanitário – outras tecnologias de tratamento de esgoto doméstico

- RAFA compacto (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente): consiste em um sistema em que o esgoto entra pela parte de baixo do reator, percorrendo internamente a unidade até a saída no topo. Esse fluxo ascendente faz com que o reator sempre esteja cheio de esgoto. Em seu interior há a formação de uma “manta de lodo” constituída por micro-organismos soltos ou em pequenos grupos. Esse lodo decompõe a matéria orgânica sem a presença de oxigênio (degradação anaeróbia). No topo do reator, são colocados defletores (placas) que separam o líquido dos materiais sólidos e do biogás formado naturalmente pelo processo.

- Tanque séptico: o sistema é formado por uma câmara que armazena o esgoto por um determinado período, proporcionando a sedimentação de material sólido e a flutuação de óleos

e gorduras. Esses sólidos retidos no fundo formam o lodo do tanque séptico, que aloja os micro-organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica do esgoto. Necessário tratamento complementar.

- Biodigestor: é formado por uma câmara fechada onde acontece a digestão anaeróbia da matéria orgânica (na ausência de oxigênio) e por um gasômetro que armazena o biogás produzido. O biogás pode ser aproveitado como gás de cozinha, utilizando-se uma tubulação instalada na parte superior do gasômetro. Necessário tratamento complementar.

- Reator anaeróbio compartimentado (RAC): sistema semelhante ao tanque séptico, porém com múltiplas câmaras em série, onde o esgoto flui de baixo para cima, aumentando o contato com o lodo acumulado no fundo. Nesse lodo, micro-organismos degradam a matéria orgânica e purificam o esgoto. Em alguns casos, pode ser necessário um tratamento complementar.

- Tratamento complementar do efluente: etapa adicional que melhora a qualidade do esgoto tratado no tanque séptico. Essa etapa adicional pode ser uma boa alternativa para garantir a não poluição dos ecossistemas através do esgoto. O tratamento complementar (por exemplo, filtros anaeróbios, sistemas alagados construídos, vermifiltro, filtro de areia entre outros) atua como uma barreira adicional, removendo contaminantes residuais que não foram eliminados no processo primário.

2.4 Tecnologias Integradas de Tratamento e Disposição Final

- Estações compactas de tratamento de esgoto (inclusive com reutilização do esgoto tratado para irrigação): são unidades pré-fabricadas, com todas as etapas necessárias ao tratamento do esgoto; têm a vantagem da instalação em prazo reduzido, podendo ser montadas em contêineres ou pequenas construções ou módulos integrados que englobam todas as etapas do tratamento, desde a remoção de sólidos até a desinfecção final da água, garantindo que o efluente tratado esteja dentro dos padrões ambientais. Sua principal vantagem é a

otimização do uso do espaço, tornando-a uma solução viável em áreas onde a instalação de uma rede de esgoto convencional não é possível, como em regiões urbanas densas, áreas rurais ou localidades remotas.

- Redes coletoras condominiais: tecnologia alternativa desenvolvida no Brasil na década de 1980, pode ser implantada em qualquer localidade, especialmente quando os terrenos apresentam declividades acentuadas para os fundos, impedindo o escoamento da ligação predial para um coletor da rede pública convencional que estaria situado na rua frontal; podem ter menores diâmetros de tubulação, com redução da escavação necessária (item de grande peso no custo das redes); não dependem de ruas urbanizadas para implantação, coletando esgotos no interior de terrenos irregulares e de implantação inviável para a rede convencional.

- Canteiro de infiltração e evapotranspiração: canteiro artificial de solo, destinado ao tratamento e à disposição final de esgoto, onde se permite a infiltração e evapotranspiração da parte líquida do esgoto.

- Fossa séptica com sumidouro ou poço absorvente: trata-se de uma **escavação no solo** projetada para a disposição final do efluente tratado no tanque séptico. Esse sistema permite que o efluente se infiltre no solo por meio das paredes verticais da estrutura. De acordo com a norma ABNT NBR nº 13.969/1997, seu uso é recomendado apenas em áreas onde o aquífero é profundo, garantindo uma distância mínima de 1,50 metros (exceto em solos arenosos) entre o fundo do sumidouro e o nível máximo do aquífero. Esse critério visa evitar a contaminação das águas subterrâneas, tornando o sistema seguro e eficiente para locais com condições geológicas adequadas (BRASIL, s/dB).

Sistemas alternativos para disposição final do efluente:

A etapa seguinte ao tratamento do esgoto é a sua disposição final, de modo a proteger o solo e os recursos hídricos contra a contaminação, além de prevenir doenças relacionadas à poluição ou à escassez hídrica. São muitos os

sistemas alternativos que podem ser utilizados e que podem ser incluídos na taxonomia para garantia de atendimento a comunidades periféricas. TONETTI *et al* (2018) destacam principalmente três categorias de disposição final: disposição final no solo, disposição final em corpos hídricos e alternativas para aproveitamento ou disposição final.

Disposição final no solo

- Campo de infiltração horizontal: é um processo de disposição controlada do esgoto no solo, que nos últimos anos tem sido objeto de muitas pesquisas e aplicações práticas em todo o mundo; serve ao tratamento de esgotos das fossas sépticas, quando se dispõe de terreno suficiente e de baixa permeabilidade; são canais ou compartimentos rasos escavados no solo, impermeabilizados, preenchidos com cascalho e areia, nos quais são plantadas plantas aquáticas (macrófitas); para o escoamento horizontal, implanta-se uma tubulação de distribuição contínua do esgoto, dreno e tubo de saída, com dispositivo para o controle de nível de água.

- Vala de infiltração: é um sistema que direciona o efluente do tanque séptico para o solo de forma controlada. Esse sistema é composto por um conjunto de canalizações assentadas a uma profundidade específica, em um solo com características adequadas para absorção do efluente. A estrutura inclui **caixas de distribuição, caixas de inspeção e tubos perfurados**, que são colocados sobre uma camada de pedra britada (BRASIL, s/dB).

- Vala de filtração: sistema de tratamento biológico do efluente do tanque séptico, que consiste em um conjunto ordenado de caixa de distribuição, caixas de inspeção, tubulações perfuradas superiores, para distribuir o efluente sobre leito biológico filtrante, e tubulações perfuradas inferiores, para coletar o filtrado e encaminhá-lo à disposição final. O sistema deve ser empregado quando o **tempo de infiltração** do solo não permite a adoção de outro sistema mais econômico (como a vala de infiltração) e/ou quando é necessário evitar a **poluição do lençol freático** (BRASIL, s/dB).

- **Sumidouro:** consiste em um poço escavado no solo, de formato cilíndrico ou prismático, que visa a depuração e disposição final do esgoto previamente tratado por outros sistemas.

- **Círculo de bananeiras:** consiste em uma unidade de disposição final de esgoto doméstico ou águas de vaso sanitário já tratados. Também é uma tecnologia de tratamento de águas cinzas.

Disposição final em corpos hídricos

Destaca-se que a disposição final em corpos hídricos exige que a qualidade do resíduo tratado atinja determinado padrão para não causar impacto ambiental e oferecer risco de contaminação das águas a serem utilizadas pela população. A combinação de técnicas de tratamento juntamente com etapas de tratamento complementar dos efluentes permite que os resíduos sejam descartados com segurança. Ademais, destaca-se algumas tecnologias de disposição final em corpos hídricos.

- **Galeria de águas pluviais:** tubulação ampla que conduz águas de chuva e, em alguns casos, esgotos tratados, até corpos d'água¹.

- **Depósito em águas superficiais:** utilização de rios, riachos e lagoas como locais para destinação de águas residuais tratadas.

Alternativas para o aproveitamento ou disposição final do lodo

- **Equipamentos e serviços de limpeza de fossa séptica:** trata-se de serviços essenciais de manutenção para garantir a eficácia do uso de fossas sépticas e, portanto, a prevenção de contaminação de cursos hídricos.

- **Bomba ou Caminhão Limpa-Fossa:** alternativa viável quando o tratamento local dos efluentes não é possível é o uso de caminhões para a sucção dos resíduos. Nesse processo, cerca de 10% do material é deixado na fossa para preservar as bactérias responsáveis pela digestão dos resíduos. O material coletado é transportado para locais autorizados, onde

recebe a destinação correta. Embora essa solução dependa do transporte, pode ser uma opção eficaz em situações em que outras alternativas são inviáveis.

- **Reuso local:** o aproveitamento de efluentes tratados para usos não potáveis, como irrigação, é uma alternativa eficaz de adaptação climática, especialmente diante do aumento da escassez de água em diversas regiões do planeta. A agricultura, que já consome cerca de [70% dos recursos hídricos no Brasil](#)², enfrenta uma demanda crescente por irrigação devido ao aprofundamento das mudanças climáticas, tornando essa prática ainda mais relevante.

III - Seção E5: Digestão anaeróbica de lodo e esgoto – sugestões de inclusões

Sugere-se as seguintes inclusões, baseadas em experiências já existentes de usinas de geração de eletricidade a partir do esgoto:

• Integração de tecnologias avançadas de digestão anaeróbica

A utilização de digestores anaeróbicos em sistemas mesofílicos e bifásicos oferece oportunidades de melhoria na eficiência energética e produção de biogás. Este processo pode ser otimizado pela inclusão de co-substratos, como gordura de caixas de gordura, aumentando a produção de biogás e reduzindo custos de tratamento. Segundo a [IEA](#), a integração de tecnologias avançadas promove maior resiliência climática e economia operacional no setor de saneamento. O lodo de esgoto sanitário possui alto potencial para a produção de biogás por meio de digestão anaeróbica. Segundo o [PRO-BIOGÁS](#), essa tecnologia é amplamente utilizada para transformar resíduos orgânicos em biometano e energia elétrica, reduzindo emissões de GEE e oferecendo uma solução sustentável para o setor de saneamento.

• Tecnologia Híbrida para Produção de Biometano e Cogeração de Energia

O uso de tecnologias híbridas que combinam a produção de biometano e cogeração de

¹<https://blog.brkambiental.com.br/galerias-pluviais-e-rede-de-esgoto/>

²<https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2022/08/23/o-uso-da-agua-na-agricultura#:~:text=Segundo%20o%20Fundo%20de%20Na%C3%A7%C3%B5es,40%25%20de%20toda%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o.>

energia térmica e elétrica apresenta um potencial significativo no setor de saneamento”. Conforme o [Guia Técnico de Aproveitamento Energético](#) de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto (PROBIOGÁS, 2017), a integração dessas tecnologias permite que o biometano produzido a partir do lodo de esgoto seja utilizado diretamente na secagem térmica do lodo residual, otimizando o processo de gestão de resíduos e reduzindo o consumo de combustíveis fósseis.

São benefícios da tecnologia híbrida: a) eficiência energética: a cogeração permite o aproveitamento simultâneo da energia elétrica e térmica, alcançando eficiência global superior a 80%; b) sustentabilidade ambiental: redução de emissões de GEE por meio da substituição de combustíveis fósseis e melhor controle de emissões no processo de secagem; c) valorização energética: transformação de resíduos orgânicos em energia útil, promovendo a economia circular.

Sistemas híbridos podem ser implementados em ETEs para processar o biogás gerado no digestor anaeróbico, convertendo-o em biometano para uso interno, como na secagem do lodo, e exportando o excedente para a rede de gás natural ou para frotas veiculares. Conforme descrito por PROBIOGÁS (2017), esses sistemas apresentam eficiência energética elevada e são uma solução integrada para o setor de saneamento, promovendo economia circular e redução de emissões de GEE.

3º. ponto: Requisitos elencados no item “Não prejudicar significativamente outros objetivos ambientais”

I - Abastecimento de água

Uso sustentável de recursos hídricos:

Especificamente no que se refere à captação de água bruta, a retirada de água em excesso de rios e aquíferos tem um potencial considerável para alterar os regimes de fluxo, influenciando o equilíbrio físico, químico e ecológico dos ecossistemas de água doce. Nesse sentido, **é essencial considerar o balanço hidrológico**, de modo a mensurar o impacto da extração

sobre o ecossistema aquático (Booker, 2018). Booker cita exemplos de países que possuem normas sobre a captação de água bruta com o intuito de proteger o ecossistema. Além disso, sob a ótica da **mitigação**, o estresse hídrico causado pela captação excessiva de água pode impactar negativamente a capacidade dos ecossistemas aquáticos de atuarem como sumidouros de carbono, reduzindo a absorção de gases de efeito estufa. Sob a ótica da **adaptação**, a preservação dos regimes de fluxo e da biodiversidade aquática é importante para fortalecer a resiliência dos ecossistemas e das comunidades humanas aos impactos das mudanças climáticas, já que a escassez hídrica é um de seus principais efeitos.

II - Esgotamento sanitário

Prevenção e controle da contaminação: deve haver um plano de gerenciamento adequado para descarte e tratamento das substâncias utilizadas nos sistemas sanitários e similares. Um ponto relevante citado pela Taxonomia da África do Sul é a implementação de medidas apropriadas de prevenção para evitar e mitigar o transbordamento combinado de esgoto em caso de chuvas fortes, como soluções baseadas na natureza, sistemas separados de coleta de água da chuva, tanques de retenção e/ou tratamento da primeira descarga.

Proteção e restauração da biodiversidade e ecossistemas: destaca-se que a atividade deve evitar impactos adversos significativos sobre habitats naturais e espécies protegidas e promover a restauração de ecossistemas degradados e a proteção da biodiversidade. É necessário realizar uma avaliação de impacto ambiental, considerando os impactos diretos e indiretos das atividades, como destacado em outras taxonomias como as da União Europeia e África do Sul.

4º. ponto – Níveis de contribuição à sustentabilidade

Defende-se que cada atividade do sistema de saneamento (abastecimento de água ou esgotamento sanitário), alternativa ou convencional, **seja classificada em graus ou tons de**

verde, de acordo com o fato de o serviço estar ou não sendo estendido a uma comunidade que não desfrutava desses serviços, conjugando-se os objetivos climáticos e de redução das desigualdades sociais, da seguinte forma:

a) Verde claro – obras que melhorem a eficiência hídrica ou a eficiência do sistema de tratamento de esgoto na rede pública já existente;

b) Verde médio – obras que estendam a rede pública convencional de água ou esgoto a comunidade que não tinha acesso a esses serviços;

c) Verde escuro – sistemas alternativos de abastecimento de água ou esgotamento sanitário para famílias ou comunidades que não tinham acesso a esses serviços.

// Referências

BERTONCELLO, A. G.; MODAELI, E. V.; BATISTA, V. S. O grafeno na dessalinização d'água e o impacto nas regiões com crise hídrica. **South American Development Society Journal**, v. 7, n. 19, p. 74-86, 2021.

BOOKER, D. J. Quantifying the Hydrological Effect of Permitted Water Abstractions across Spatial Scales. **Environmental Management**, [s.l.], v. 62, n. 1, p. 84-98, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1040-7>.

BORA, P. M.; JAIN, S.; GANGURDE, Y.; BHAMARE, N.; DEORE, M. Solar Powered Water Seer. In. **Proceedings of the 6th International Conference on Recent Trends in Engineering & Technology** (ICRTET – 2018, Nnashik, Maharashtra, Índia). p. 531. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Pradyumna-Bora/publication/361637545_Solar_Powered_Water_Seer/links/62bd6a60a31ea259bdbd13d6/Solar-Powered-Water-Seer.pdf. Acesso em: 4 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Departamento de Saneamento. **Manual de saneamento**. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/ambiente/Manual%20de%20Saneamento.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Capítulo 3: Padrões e Normas de Procedimentos Técnicos. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/capitulo_3.pdf. Acesso em: 18 dez. 2024.

CAMPOS, B. L. de O.; FRAGA, M. M. C.; COSTA, A. O. S.; COSTA JUNIOR, E. F. da. Análise do processo de dessalinização so-

lar com ênfase no método de umidificação e desumidificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 861-873, set./out. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/esa/a/TMMc-NysYbLQPGYQLYDMF4Yf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 9 dez. 2024.

FAGUNDES, R. M.; SCHERER, M. J. Sistemas alternativos para o tratamento local dos efluentes sanitários. **Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 53-65, 2009.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Esgotamento sanitário: manual de instruções**. Brasília: FUNASA, 2018. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Esgotamento+Sanit%C3%A1rio.pdf/8bf6a259-872e-4030-b3ca-af-92689d8bd8?version=1.0>. Acesso em: 18 dez. 2024.

GRECCO, L. H. A.; SOUZA, B. C. A.; ZANONI, M. V. B. Eletrocoagulação/Eletrofloculação para tratamento de águas residuárias: eletrodos não convencionais e acoplamento de técnicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 45, n. 4, p. 410-423, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170846>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PEDRO, J. P. B., OLIVEIRA, C. A. S., REZENDE, S. C. B., VON SPERLING, M. A review of sanitation Technologies for flood-prone areas. **Journal of water, sanitation, and hygiene for development**, 10.3.2020. Disponível em <<https://iwaponline.com/washdev/article/10/3/397/75339/A-review-of-sanitation-technologies-for-flood>>. Acesso em: 7 mar. 2025.

SOUZA, F. H.; TOSCANO, B.; CARNEIRO, C. G.; SENS, M. L. Diagnóstico e discussão sobre o uso da Filtração Lenta para abastecimento público em Santa Catarina, Brasil. **Revista DAE**, v. 66, n. 209, jan./mar. 2018. DOI: 10.4322/dae.2017.013.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP: Biblioteca/Unicamp, 2018. e-book. ISBN 978-85-85783-94-5.

Parâmetros quantitativos

No primeiro documento submetido a consulta pública, não foi considerado um parâmetro de intensidade média de carbono com relação ao consumo de energia, deixando-se para ser definido pelo setor de eletricidade e gás. Contudo, destaca-se que a Taxonomia de Singapura considera os seguintes parâmetros, com diferentes tonalidades de sustentabilidade:

- **verde** (mais sustentável): a energia usada para a usina de dessalinização deve ter intensidade de carbono inferior a 100 gCO₂/kWh durante a vida útil restante do sistema (esse parâmetro é o mesmo estabelecido pela Taxonomia Verde do México);

- **amarelo**: (1) o consumo de energia das usinas de dessalinização deve ser inferior a 3,5 kWh/m³ de água potável produzida até 2025; (2) entre 2025 e 2030, o consumo de energia deve ser inferior a 3 kWh/m³; e entre 2030 e 2035, o consumo de energia deve ser inferior a 2,5 kWh/m³; (3) depois de 2035, as plantas de dessalinização deverão atender aos critérios da categoria verdes;

- **vermelho**: caso não atenda os critérios de verde ou amarelo.

Nesse sentido, em Singapura, existe não somente uma definição quantitativa para o parâmetro verde, como também parâmetros intermediários que oferecem um caminho de adaptação para que as usinas em operação avancem gradualmente até atingir o padrão verde. Esse sistema incentiva a **mitigação e adaptação** às mudanças climáticas por meio da redução das emissões de carbono, da promoção de maior eficiência energética e do alinhamento com as metas globais de sustentabilidade.

Perdas na distribuição:

O Brasil tem elevadíssimos índices de perdas na distribuição e sem evidências de melhora nos últimos anos. Em 2018, era de 38,95%, elevando-se até 40,35% em 2021, caindo um pouco em 2022 com 37,78%. Contudo, bem longe da meta de 25% estabelecida como meta até 2035 na [Portaria MCID nº 788](#), de 1 agosto de 2024. O país apresentou um valor de relacionamento elevado em comparação a outros países, visto que ficou em 78ª posição entre as 139 nações analisadas, atrás da China em 2012 (20,54%), da Rússia em 2020 (26,59%) e da África do Sul em 2017 (33,73%). Contudo, ficou à frente apenas da Índia em 2009, que registrou 41,27% de perdas de água ([INSTITUTO TRATA BRASIL, 2024](#)). Sugere-se adotar uma meta mais ambiciosa, **com novos sistemas já projetados para atin-**

gir no máximo 25% de perdas na distribuição, em vez de depender de melhorias graduais até 2033. Essa abordagem ganha ainda mais relevância ao compararmos com as diretrizes de outros países e suas Taxonomias Verdes, nas quais mesmo perdas de 25% são consideradas excessivas. Singapura, por exemplo, classifica como “verde” os sistemas com perdas de até 10%, enquanto perdas de 20% são consideradas “amarelas”. Já a Colômbia estabelece uma meta de 20% para perdas na distribuição.

Consumo energético de sistemas de tratamento de águas residuais:

E3: Construção, ampliação e operação de sistemas de tratamento de esgoto sanitário (sistemas novos e existentes)

Para esse tópico, não foi considerado nenhum parâmetro quantitativo com relação ao consumo energético. Para tanto, resgata-se aqui os parâmetros utilizados na Taxonomia da União Europeia em que de acordo com o Regulamento UE 2021/2139 os quais são os mesmos parâmetros utilizados pela Taxonomia de Singapura, as condições para que uma estação de tratamento de águas residuais seja considerada “verde” incluem o consumo energético, variando conforme a capacidade da estação em equivalentes de população (e.p.):

1. Capacidade inferior a 10.000 e.p.: o consumo líquido de energia deve ser igual ou inferior a 35 kWh por e.p. por ano.
2. Capacidade entre 10.000 e 100.000 e.p.: o consumo líquido de energia deve ser igual ou inferior a 25 kWh por e.p. por ano.
3. Capacidade superior a 100.000 e.p.: o consumo líquido de energia deve ser igual ou inferior a 20 kWh por e.p. por ano.

Em Singapura, onde as graduações de cores são usadas para a classificação ambiental, uma estação de tratamento de águas residuais será classificada como amarela se o consumo líquido de energia for igual ou inferior a 68 kWh por equivalente de população (e.p.) por ano, independentemente da capacidade da estação. Nesse sentido, sugere-se a inclusão de

um parâmetro similar e talvez mais adaptado à realidade brasileira.

// Referências:

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo de perdas de água de 2024 (SNIS, 2022): desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil**. 2024. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/06/Estudo-da-GO-Associados-Perdas-de-Agua-de-2024-V2.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2025.

CNAE E

7

Destinação de
resíduos sólidos



SUMÁRIO

1º. ponto – Exclusões	83
2º. ponto – Inclusões:	83
E6 – Coleta e transporte de resíduos não perigosos	83
E7 – Recuperação de materiais recicláveis ou reutilizáveis	83
E8 – Centrais de compostagem.....	84
E10 – Tratamento e destinação de resíduos não perigosos (captura de gás de aterro)	86
E11 – Construção de aterros sanitários de resíduos sólidos.....	87
E12 – Mineração Urbana de Resíduos Eletroeletrônicos.....	88
3º. ponto – Níveis de contribuição à sustentabilidade	91

1º. ponto – Exclusões:

Não foi encontrado nenhum ponto cuja exclusão se sugere.

2º. ponto – Inclusões:

São apresentadas sugestões para cada um dos itens de E6 a E11. Sugere-se a inclusão de um item E12, tratando da destinação de resíduos eletroeletrônicos.

E6 – Coleta e transporte de resíduos não perigosos

Apresentamos sugestão de aprimoramentos no texto da “Descrição”:

“As atividades de coleta e transporte de resíduos não perigosos devem incluir infraestrutura especializada para garantir a segregação das frações na origem, priorizando a reutilização, reciclagem e destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. Essa infraestrutura deve contar com contêineres apropriados para diferentes tipos de resíduos, veículos otimizados com sistemas mecanizados ou semimecanizados de coleta e tecnologias avançadas, como monitoramento por GPS e plataformas digitais para rastreamento e gestão eficiente.”

Ferramentas digitais como monitoramento via GPS promovem rastreabilidade e controle logístico, conforme recomendam, por exemplo, o [Caderno Temático de Regulação](#) e o [Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos](#).”

Sugere-se a inclusão de um critério E no item “Contribuição substancial para o objetivo 1 – Mitigação da mudança do clima”:

“Conversão da frota para veículos otimizados e sustentáveis, movidos a combustíveis renováveis, como biometano ou eletricidade, equipadas com tecnologia mecanizada ou semimecanizada de coleta, além de possuir sistema híbrido que recupera energia cinética gerada durante a frenagem dos veículos e a armazena em ultracapacitores para aumentar a eficiência logística e reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE); uso de tecnologias de monitoramento da frota para redução dos percursos”.

E7 – Recuperação de materiais recicláveis ou reutilizáveis

Sugere-se a adição do CNAE: 38.39-4-99: Recuperação de materiais não especificados anteriormente.

Sugere-se a inclusão dos seguintes exemplos

de atividades no item “Recuperação de materiais” (página 20):

- *Processamento mecânico de resíduos: inclui a trituração e moagem de materiais como plásticos, papelão e madeira, além da separação magnética para recuperação de metais ferrosos e não ferrosos.*

- *Triagem semiautomatizada: utiliza esteiras automatizadas com sistemas de separação óptica e pneumática para a classificação de resíduos secos, com apoio manual dos catadores na separação.*

- *Recuperação de materiais de construção e demolição: engloba a britagem de resíduos de concreto e tijolos para a fabricação de agregados reciclados, bem como a reutilização de madeira proveniente de demolições.*

- *Manufatura de matérias-primas secundárias: abrange a separação semimecanizada de plásticos, papéis e metais para a transformação em matéria-prima secundária, além da produção de fibras têxteis a partir de resíduos têxteis recicláveis.*

- *Valorização de vidros e cerâmicas: compreende a trituração e fusão de vidro para a produção de novas embalagens ou produtos, bem como o reaproveitamento de resíduos cerâmicos em revestimentos ou pavimentação.*

- *Reciclagem socialmente inclusiva: envolve a coleta seletiva e triagem realizadas por cooperativas ou outras formas de associação de catadores constituídas por pessoas físicas de baixa renda, bem como por catadores autônomos, promovendo a inclusão social e a geração de renda.*

Sugere-se a inclusão do seguinte item elegível adicional no critério B do item “Contribuição substancial para o objetivo 1 – Mitigação da mudança do clima” (página 21), como parte de esforços para promover inclusão social e aumento da eficiência da coleta seletiva:

“iii. Pontos de entrega voluntária (PEVs) e sistemas de triagem operados por cooperativas

ou outras formas de associação de catadores com sua localização.

iv. *Proteção dos catadores contra eventos extremos, pois 91% dos catadores relatam enfrentar eventos climáticos severos, como enchentes e ondas de calor (WIEGO, 2023)*

v. *Criação de infraestrutura resiliente: barreiras e áreas de triagem devem ser projetados para resistir a eventos climáticos e garantir condições de trabalho seguras.*

vi. *Mecanismos para organização coletiva e registro dos catadores autônomos no Registro Nacional de Catadores, garantindo acesso facilitado a programas sociais (MMA, 2024)*

vii. *Programas de treinamento e qualificação dos trabalhadores no uso de novas tecnologias e boas práticas ambientais (ANCAT, 2025), bem como em projetos para acesso ao Fundo de Apoio ao Trabalho Decente, com subsídios para infraestrutura e melhoria das condições de trabalho nas associações de catadores (GOMES; CAVALCANTI, 2024)”*

E8 – Centrais de compostagem

Sugere-se atualizar a denominação para “Unidades de compostagem”, terminologia que está em acordo com o PLANARO (Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos Urbanos), visto que “centrais de compostagem” é um termo antigo que remete a unidades centralizadas, e hoje o sistema tende à descentralização para maior eficiência.

É necessário destacar que a revisão dos CNAEs será necessária visto que hoje dentro do sistema do CNAE estão misturadas a compostagem descentralizada (de pequeno e média porte) com base em resíduos segregados na fonte com “usinas de lixo”, que realizam tratamento biológica de resíduos misturados com alto potencial contaminante.

Sugere-se remover o item iii do item C: as informações necessárias já constam no item ii. Atualmente existem diversos métodos de compostagem, em que, para reduzir a geração de odor e emissões é reduzida a aeração e revolvimento (como método desenvolvido em pesquisas na UFSC sendo o principal método utilizado hoje pelas cidades), permitindo soluções descentralizadas e intraurbanas. A quali-

dade do método não está associada somente ao sistema de aeração, mas a uma boa “aeração” do sistema que pode ocorrer sem um sistema de aeração (uma estruturação adequada e arquitetura da leira, por exemplo).

Sugere-se remover a necessidade de a compostagem atender a todos os critérios: atualmente a compostagem não atinge nem 0,3% do total de resíduos sólidos urbanos no Brasil, portanto é necessário expandi-la rapidamente, aumentar a reciclagem de resíduos orgânicos e reduzir a segunda maior fonte de emissões de metano no país: resíduos orgânicos em aterros sanitários. A obrigatoriedade de a compostagem atender todos os critérios é desnecessária, visto que os modelos podem ser diversos e complexos, como por exemplo, um empresa de compostagem pode utilizar o composto para substrato de plantas, ou reflorestamento, ou recuperação de áreas degradadas ou ainda devolver aos munícipes, o que não atenderia o critério B. Da mesma forma, hoje existem sistemas de compostagem que não recebe, resíduos segregados na fonte (como o UTMB da Ceilândia em Brasília), mas que produzem material final que atende “às normas nacionais sobre fertilizantes ou melhoradores de solo para uso agrícola” e pode ser uma solução de transição a ser utilizada para o resíduo ainda sem segregação na fonte. Dessa forma, estabelecer que o projeto deve atender a pelo menos um dos critérios (como descrito em outras atividades E6, E7 e E11) é o ideal no momento do setor, permitindo que soluções diversas se expandam.

Sugere-se a seguinte redação para o critério C do item “Contribuição substancial para o objetivo 1 – Mitigação da mudança do clima” (página 22):

“- Minimização de emissões e monitoramento:

i. As perdas de metano durante o processo de produção do composto devem ser minimizadas, garantindo condições aeróbicas com oxigênio acima de 10% nas pilhas de composto.

ii. Deve-se garantir uma boa aeração do sistema, mediante uso de aeração passiva (pilhas estruturadas com galhos) ou ativa (ventiladores, sopradores e revolvedores) para manter a oxigenação ideal e acelerar a decomposi-

ção, para evitar o desenvolvimento de zonas anaeróbicas que emitam metano. A aeração deve utilizar materiais estruturantes secos (serragem, galhos triturados) e promover revolventos ou aeração forçada para garantir circulação de ar e evitar zonas anaeróbicas.

iii. O sistema de monitoramento deve medir a temperatura (o ideal é que seja mantida entre 55°C e 65°C), umidade e oxigênio, recomendando-se sistemas automatizados para grandes instalações.

iv. Deve-se manter um registro do volume de resíduos recebidos e do volume de composto produzido, com relatórios sobre eficiência e redução de emissões de GEE.

v. Em instalações de maior porte (mais que 100 toneladas por dia), deve-se instalar biofiltros ou filtros químicos e medidas de manejo para neutralizar emissões de metano e amônia.”

Em relação ao tema “Não prejudicar significativamente a nenhum dos demais objetivos ambientais” (página 23), seguem sugestões de inclusões no item “Prevenção e controle de contaminação”:

- Para fins de controle de emissões atmosféricas ([Sistemas Baseados em BAT](#)), deve-se usar a ventilação forçada, que garante a aeração contínua nas pilhas de compostagem, ou revolventos periódicos, evitando condições anaeróbicas e minimizando emissões de metano, ou ainda tecnologias de oxidação térmica, que utilizam oxidadores térmicos ou catalíticos para eliminar compostos orgânicos voláteis (COVs).

- Gerenciamento de emissões e odores: deve incluir monitoramento contínuo e estratégias para minimizar odores, especialmente em áreas sensíveis, tais como encapsulamento de pilhas (que reduz a dispersão de odores em operações ao ar livre), biofiltros e lavadores de gás (que mitigam odores e compostos voláteis emitidos durante o processo). [em substituição ao terceiro item, que começa com “Um plano...]

- Devem ser adotados sistemas de drenagem e tanques de armazenamento, que assegurem a coleta, tratamento e possível reaproveitamento do chorume em processos agrícolas.

• Deve haver monitoramento e relatórios (sistema contínuo baseado em BAT) de qualidade do ar, água e solo, sendo que os relatórios periódicos devem incluir: volume de emissões atmosféricas e líquidas, conformidade com os níveis BAT-AEL e mitigação de impactos em comparação às tecnologias convencionais.

E9 – Digestão anaeróbica de resíduos orgânicos

Para o critério A do item “Contribuição substancial para o objetivo 1 – Mitigação da mudança do clima”, sugere-se permitir, além do uso como combustível em veículos ou como matéria-prima no setor químico, a “injeção em redes de fornecimento de gás (notadamente para uso industrial)” (já existe um projeto nesse sentido na Região Metropolitana de Curitiba, por exemplo).

Para o critério B, sugere-se que o texto seja substituído pelo seguinte:

“O lodo, digestato ou biossólidos devem ser tratados de forma sustentável, priorizando seu uso como composto orgânico. Os processos de estabilização devem atender às normas técnicas ([ABNT NBR 10004](#)) e diretrizes da [OMS](#) para reuso seguro. É essencial realizar o monitoramento contínuo de contaminantes, como metais pesados, patógenos, micropoluentes orgânicos, além de parâmetros de qualidade como DBO e DQO”.

Em relação aos aspectos de não prejudicar significativamente a nenhum dos demais objetivos ambientais, segue proposta de acréscimo de um item para “Prevenção e controle da Contaminação”:

“Monitoramento para Controle de Poluição em Processos de Digestão Anaeróbica:

- Deve ser utilizado reator CSTR (sistema de tancaagem), capaz de monitorar sólidos, pH, temperatura e tempo de retenção hidráulica para eficiência do processo.

- Em relação ao biogás, deve-se garantir qualidade (CH_4 entre 50-70%), controlar H_2S , umidade e medir produção (m^3/t).

- Em relação aos subprodutos, deve-se analisar DQO, DBO, metais pesados, patógenos e micropoluentes.

São proibidas instalações sem controle adequado de emissões, tecnologias com eficiência energética de conversão do biogás em eletricidade inferior a 30%, e destinações inadequadas como aterros ou incineração sem recuperação energética.”

E10 – Tratamento e destinação de resíduos não perigosos (captura de gás de aterro)

O termo “tratamento e destinação de resíduos não perigosos” é extremamente genérico e pode incluir as atividades E7, E8 e E9 conforme definições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal 12.305/10). Como o próprio título atual indica entre parênteses (captura de gás de aterro) e como se vê no conteúdo desta seção, o título da atividade E10 deveria ser “Captura e aproveitamento de biogás de aterros sanitários”, visto que a atividade E11 já contempla a construção de novos aterros sanitários.

Para garantir que os aterros sanitários e suas células não se tornem fontes contínuas de emissões de gases de efeito estufa, propõe-se abordar também o ciclo de vida para encerramento, com foco na implementação de projetos que promovam usos alternativos, como a geração de energia solar ou a reabilitação ecológica, e o uso de infraestruturas modulares com coberturas dinâmicas que evoluam ao longo do tempo, maximizando o controle de emissões de metano e promovendo a oxidação natural do solo. Uma das ferramentas da [UNFCCC](#) detalha metodologias para monitoramento de emissões, fechamento e controle de aterros, com foco na minimização de emissões fugitivas por meio de estratégias avançadas de gestão. Já o documento elaborado pelo [BNDES](#) aponta como práticas integradas, como a requalificação de aterros para usos alternativos, podem criar benefícios ambientais e econômicos. As diretrizes do [IPCC 2006](#) apresentam parâmetros e boas práticas para fechamento de aterros e controle de emissões, como o uso de coberturas impermeáveis e oxidação natural do solo.

A valorização energética do biogás em aterros

sanitários propõe seu uso como insumo integrado em ecossistemas econômicos, incluindo a produção descentralizada de energia em microrredes, sistemas híbridos de cogeração para maior eficiência e transformação de biometano em insumos como metanol e hidrogênio. Metodologias como a e estudos do destacam tecnologias de cogeração, purificação e injeção de biometano em redes de gás natural, exemplificando projetos bem-sucedidos, como o Novagerar. Além disso, a [CDM](#) e diretrizes do [IPCC 2006](#) oferecem parâmetros para controle de emissões e monitoramento eficiente.

Sugere-se que no item “Exclusões”, fique claro, quanto à incineração e combustão, que estão abrangidos resíduos perigosos e não perigosos, como está previsto na Taxonomia da União Europeia.

Propõe-se, assim, as seguintes inclusões como itens elegíveis:

“- Reabilitação ecológica ou geração de energia solar em aterros sanitários encerrados.

- Conversão de áreas de aterros sanitários encerrados em unidades de compostagem, digestão anaeróbia e/ou triagem de materiais recicláveis, aproveitando a área já impactada para um uso mais adequado.

- Ferramentas avançadas de monitoramento e controle de emissões baseadas em inteligência artificial (IA), como drones equipados com sensores de metano e sistemas de blockchain para transparência de dados”.

Essas tecnologias de IA permitem análises preditivas e mitigação de emissões em tempo real, complementadas por metodologias internacionais como a [CDM – TOOL09](#) e [CDM – TOOL04](#), que avaliam a eficiência energética em projetos de valorização.

Em relação aos aspectos de não prejudicar significativamente (a nenhum dos demais objetivos ambientais), segue proposta de acréscimo no item Prevenção e controle de contaminação (página 27): :

“No âmbito do monitoramento ambiental, re-

comenda-se avaliar a qualidade do solo com base na [Resolução CONAMA nº 420/2009](#), incluindo valores de prevenção e investigação, além de gerenciar áreas contaminadas por meio de diagnósticos, investigações e medidas corretivas. Para emissões atmosféricas, o monitoramento deve abranger partículas (PM_{2,5}, PM₁₀), gases primários (CH₄, CO₂, H₂S, NH₃) e compostos orgânicos voláteis (VOCs), com frequência e metodologia baseadas nas resoluções CONAMA nº 382/2006, nº 436/2011 e nº 506/2024. Também é necessário realizar estudos de dispersão atmosférica após o primeiro ano de medições e disponibilizar dados ao órgão ambiental.”

E11 – Construção de aterros sanitários de resíduos sólidos

Segue sugestão de aprimoramento do texto da descrição, para que seja considerado obrigatório o aproveitamento energético do biogás:

“Desenvolvimento e implementação de infraestruturas de engenharia avançadas para a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos de resíduos sólidos urbanos no solo, priorizando a minimização de impactos ambientais, incluindo sistemas integrados de coleta, drenagem e tratamento de lixiviados e/ou unidades para o aproveitamento energético sustentável do biogás gerado.”

Sugere-se que no item “Exclusões”, fique claro, quanto à incineração e combustão, que estão abrangidos resíduos perigosos e não perigosos, como está previsto na Taxonomia da União Europeia.

Em relação aos critérios de elegibilidade para “Contribuição substancial para o objetivo 1 - mitigação da mudança do clima” (página 28), segue proposta de texto para o item B:

“B. Aproveitamento energético do biogás: deve-se implementar medidas de coleta, drenagem e tratamento do biogás, com sistemas eficientes de controle e monitoramento, garantindo o aproveitamento energético dos gases para produção de calor, energia elétrica ou outros usos, atingindo, no míni-

mo, taxa de captura de 60% do biogás gerado pelo aterro sanitário. Além disso, o biogás capturado deve ser direcionado para micro-redes de energia locais, priorizando o abastecimento de comunidades de baixa renda ou áreas rurais, promovendo inclusão energética e redução de desigualdades regionais.”

Essa taxa de 60% foi estabelecida no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) e é reconhecida por boas práticas internacionais. Nos Estados Unidos, a agência ambiental (Environmental Protection Agency, 2023) estimou que 61% do metano gerado pela decomposição de resíduos alimentares não são capturados nos aterros atuais. Dada a extensão dos aterros sanitários e a dificuldade de métodos para amostrar todo o terreno, por anos o potencial de emissão foi subestimado; com o desenvolvimento do monitoramento via satélite, estudos indicam que os inventários de emissões podem estar subestimando as emissões de metano com origem em aterros sanitários em 1,6 a 2,8 vezes (Maasackers et al., 2022).

Sugerem-se também os seguintes aprimoramentos para os requisitos exigíveis dos projetos:

“Em todos os casos, os projetos devem ser acompanhados das seguintes práticas:

A. *Drenagem e tratamento de lixiviados: deverá ser utilizado sistema de osmose reversa para tratamento de lixiviados, que são sistemas de membranas de alta eficiência para remover contaminantes orgânicos, metais pesados e sólidos dissolvidos, permitindo o reuso da água tratada em aplicações não potáveis. Documentação sobre metodologias avançadas para lixiviados em aterros, destacando a osmose reversa como tecnologia eficaz para tratar resíduos altamente contaminados.*

B. *Tratamento biológico avançado:*

- *adição de reatores anaeróbios seguidos por processos aeróbios para tratar lixiviados complexos com alta carga orgânica e nutrientes, reduzindo significativamente a demanda bioquímica de oxigênio (DBO);*

- *barreiras de impermeabilização avançada:*

implementação de geomembranas de última geração combinadas com camadas drenantes de alta condutividade para evitar infiltração de águas pluviais e melhorar a coleta de lixiviados);

- *sistemas de tratamento modular: unidades modulares que combinam diferentes tecnologias, como filtração avançada, coagulação, precipitação química e UV, permitindo ajuste às condições específicas do lixiviado;*

- *reuso de efluentes tratados: integração de sistemas de polimento (ultrafiltração e desinfecção UV) para garantir a produção de água de reuso segura para aplicações não potáveis, como irrigação ou lavagem de veículos (Ministry for the Environment, 2001).*

C. *Plano de encerramento do aterro e cuidados posteriores: o encerramento de aterros sanitários deve seguir diretrizes técnicas e normativas para minimizar impactos ambientais e promover sustentabilidade. Deve ocorrer a implementação de cobertura final avançada, utilizando geomembranas multicamadas e vegetação nativa, que reduz infiltrações, emissões difusas de biogás e riscos de erosão. O monitoramento de águas subterrâneas por meio de poços construídos conforme a ABNT NBR 15.495, com sensores automáticos para análise em tempo real, é essencial para identificar contaminantes como metais pesados e VOCs. A gestão do biogás deve incluir sistemas de coleta e tratamento com conversão para biometano, além de monitoramento contínuo com sensores IoT para prevenir vazamentos. Estudos de risco residual, baseados na ABNT NBR 16.209, devem avaliar impactos no solo, água e biota. Relatórios anuais devem consolidar dados sobre qualidade hídrica, emissões de biogás e conformidade com normas ambientais, como a Resolução CONAMA nº 420/2009, garantindo um encerramento ambientalmente responsável.”*

E12 – Mineração Urbana de Resíduos Eletrônicos

A mineração urbana de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) é o processo de recuperação, separação e revalorização de materiais críticos e estratégicos

presentes nesses resíduos, permitindo sua reinserção na cadeia produtiva. Esse processo reduz a dependência da mineração convencional, minimiza os impactos climáticos e ambientais associados à extração de recursos naturais primários e **sua transformação** (que é intensiva em energia), ao otimizar o aproveitamento de metais valiosos, como ouro, prata, cobre e terras raras (CARVALHO et al., 2020). A viabilidade da mineração urbana depende de diversos fatores essenciais, como localização, tamanho, concentração de materiais e recursos disponíveis para a prospecção, além da compreensão do fluxo de produtos dentro das cadeias de resíduos (XAVIER et al., 2023). A recuperação eficiente de materiais valiosos a partir de Placas de Circuito Impresso (WPCBs) exige a adaptação de processos tradicionais da mineração e da metalurgia para o setor de recuperação secundária de materiais. Dentre os principais métodos de recuperação, destacam-se três técnicas:

- Separação física, que consiste no processamento mecânico das WPCBs para segregar diferentes materiais com base em propriedades físicas como densidade, magnetismo e condutividade elétrica. Técnicas como trituração, peneiramento e separação eletrostática são frequentemente utilizadas para isolar metais valiosos de componentes plásticos e cerâmicos.
- A hidrometalurgia, que é amplamente utilizada para recuperação de metais a partir de resíduos industriais, sendo um método eficiente e ambientalmente mais seguro quando comparado a processos pirometalúrgicos. O processo ocorre em três etapas: dissolução, concentração e purificação, e recuperação do metal. Métodos como lixiviação ácida, extração por solventes e eletrodeposição são frequentemente empregados (GUNARATHNE et al., 2020).
- O processo pirometalúrgico, que é um método amplamente utilizado para a recuperação de metais a partir de resíduos industriais e minérios, baseado no uso de altas temperaturas para fundir, oxidar ou reduzir compostos metálicos. Esse método é eficiente para a extração de metais como cobre, ouro e prata, sendo aplicado principalmente na reciclagem de placas de circuito impresso (WPCBs) e outros re-

síduos eletrônicos (GUNARATHNE et al., 2020).

O Brasil, maior economia da América Latina e um dos principais geradores de resíduos eletroeletrônicos (REEE) do hemisfério Sul, enfrenta desafios complexos na gestão sustentável desses materiais. Com uma geração anual de 2,4 milhões de toneladas de REEE (equivalente a 11,4 kg por habitante), o país possui um potencial significativo para a “mineração urbana”, dada a concentração de metais nobres como ouro, prata, cobre e elementos de terras raras em placas de circuito impresso, baterias e componentes eletrônicos. No entanto, esse potencial esbarra em uma realidade marcada pela fragmentação institucional, infraestrutura insuficiente e dependência de processos externos: enquanto a triagem inicial de componentes ocorre em solo nacional, as etapas mais sofisticadas e lucrativas de recuperação de materiais são realizadas no exterior, principalmente na Europa e na Ásia (NETO et al., 2025).

Apesar de possuir um arcabouço legal avançado, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) e o Decreto 10.240/2020, que regulamenta a logística reversa obrigatória para eletroeletrônicos, a implementação prática dessas políticas é limitada. Apenas 2% do volume total de REEE gerado é coletado formalmente, enquanto grande parte é descartada irregularmente em lixões, misturada a resíduos domiciliares ou desviada para o mercado informal. Este último, composto por catadores e pequenas oficinas, opera sem controle técnico ou ambiental, utilizando métodos rudimentares que comprometem a segurança dos trabalhadores e a eficiência da recuperação de materiais. A ausência de tecnologias adequadas e a carência de conhecimento técnico especializado perpetuam um ciclo de dependência externa, onde o Brasil exporta componentes valiosos como matéria-prima bruta e importa produtos refinados, perdendo oportunidades econômicas e agravando impactos ambientais.

Além disso, as disparidades regionais acentuam o problema. Enquanto estados do Sudeste e Sul concentram a maioria das unidades de desmontagem formal, regiões como o

Norte e Nordeste carecem de infraestrutura básica para coleta e tratamento. A informalidade, que responde por cerca de 90% da gestão de REEE no país, não apenas limita a escala de recuperação, mas também contribui para a contaminação do solo e da água devido à liberação de substâncias tóxicas, como chumbo e mercúrio, durante processos inadequados de desmontagem.

Nesse contexto, a inserção da mineração urbana na Taxonomia Sustentável Brasileira não apenas contribui para viabilizar a recuperação de materiais críticos e estratégicos, mas também para promover a transição para uma economia circular e de baixo carbono.

Proposta de inclusão do tema no Caderno do CNAE E, na destinação final de resíduos sólidos

CNAEs sugeridos:

- CNAE 3812-2/00: Coleta de resíduos perigosos.
- CNAE 38.32-7/00: Tratamento e disposição de resíduos perigosos.
- CNAE 38.21-1/00: Tratamento e disposição de resíduos não perigosos.
- CNAE 3839-9/00: Recuperação de materiais.
- CNAE 38.31-9/00: Recuperação de materiais metálicos.
- CNAE 3900-5/00: Atividades de remediação e outros serviços de gestão de resíduos.

Descrição: a mineração urbana de REEE consiste na coleta, triagem, processamento e reciclagem de resíduos metálicos provenientes de equipamentos eletroeletrônicos, baterias, placas de circuito impresso, cigarros eletrônicos, sucatas industriais e outros resíduos eletroeletrônicos. O setor se baseia em técnicas de separação física, hidrometalurgia e piro-metalurgia para recuperar metais como cobre, alumínio, ferro, ouro, prata e elementos de terras raras, reduzindo a necessidade de extração primária de minérios.

Exemplos de atividades:

- Coleta e desmontagem de equipamentos eletrônicos e industriais para extração de metais.
- Separação física e processamento mecânico de resíduos metálicos.

- Aplicação de processos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos para extração e refinamento de metais.

- Comercialização e reintegração dos metais recuperados na indústria.

- Desenvolvimento e aplicação de tecnologias para aumento da eficiência da reciclagem de metais.

Contribuição Substancial para o Objetivo 1 - Mitigação da Mudança do Clima:

Critérios de Elegibilidade: As atividades do setor são elegíveis se atenderem a todos os critérios A, B, C, D, E e F:

A. Preparação e triagem dos REEE: separação eficiente dos componentes dos REEE antes do processamento, garantindo a remoção de materiais contaminantes, como plásticos bromados e baterias. Identificação da composição dos resíduos para otimizar os processos hidrometalúrgicos, priorizando a recuperação de metais valiosos como ouro, cobre, prata e terras raras. Uso de tecnologias automatizadas (ex.: separação por sensores, flotação eletrostática e raios X) para segmentação de frações metálicas e não metálicas. Desmontagem segura dos equipamentos, evitando a liberação de substâncias perigosas, como mercúrio, chumbo e cádmio.

B. Redução de impactos ambientais: os processos hidrometalúrgicos devem ter preferência aos pirometalúrgicos devido ao menor impacto climático e ambiental, reduzindo emissões de gases de efeito estufa e lixiviados tóxicos. Deve haver a implementação de sistemas de captação e tratamento de efluentes para evitar a contaminação do solo e da água e utilização de reagentes com baixa toxicidade e reutilização de soluções químicas para reduzir a geração de resíduos secundários.

C. Priorização da separação e purificação de metais críticos, como cobre, níquel, cobalto e terras raras, utilizando processos eficientes como: extração por solventes, que aumenta a seletividade na separação de metais valiosos. Devem ser empregadas adsorção e troca iônica, garantindo purificação de metais estra-

tégicos, eletrodeposição e precipitação, métodos essenciais para recuperar metais em sua forma pura (GUNARATHNE et al., 2020). Deve haver integração com a cadeia produtiva nacional, reduzindo a dependência da mineração primária e incentivando a reintrodução dos materiais reciclados na indústria.

D. Monitoramento dos subprodutos da recuperação de metais, evitando a formação de compostos tóxicos durante os processos hidrometalúrgicos.

E. Implementação de sistemas de rastreabilidade para garantir a transparência na recuperação e destino dos metais extraídos e monitoramento contínuo das emissões atmosféricas e qualidade dos efluentes, reduzindo riscos de contaminação ambiental.

F. Viabilidade econômica e social: a mineração urbana deve garantir viabilidade financeira, com redução dos custos operacionais por meio do uso de tecnologias limpas e eficientes. Incentivo ao registro de trabalhadores informais, integrando catadores e operadores de resíduos na cadeia produtiva formal.

• **Requisitos de “Não prejudicar significativamente” a outros objetivos ambientais:**

Uso sustentável de recursos hídricos: a mineração urbana de REEE deve minimizar o uso de água potável em seus processos, adotando sistemas fechados de reutilização e reciclagem de efluentes industriais. O uso de produtos químicos nos processos de recuperação deve ser controlado, evitando contaminação de águas subterrâneas e superficiais por lixiviados tóxicos. Deve haver a implementação de sistemas de tratamento de efluentes que garantam a remoção de metais pesados e substâncias perigosas antes do descarte ou reuso da água no processo.

Prevenção e controle da contaminação: os processos de extração e separação devem seguir normas rigorosas de controle ambiental, evitando a liberação de substâncias perigosas no solo, ar e água. Deve haver a utilização de tecnologias limpas, como extração por solventes e adsorção seletiva, reduzindo a necessidade de produtos químicos agressivos e a gera-

ção de resíduos tóxicos. Deve ser garantido o armazenamento e disposição final adequada para resíduos perigosos gerados durante a recuperação de metais, conforme normas ambientais nacionais e internacionais.

3º. ponto – Níveis de contribuição à sustentabilidade:

Sugere-se que sejam reconhecidos níveis distintos nas soluções propostas, atribuindo maior peso a soluções mais avançadas e que contemplem critérios sociais, por exemplo, da seguinte forma:

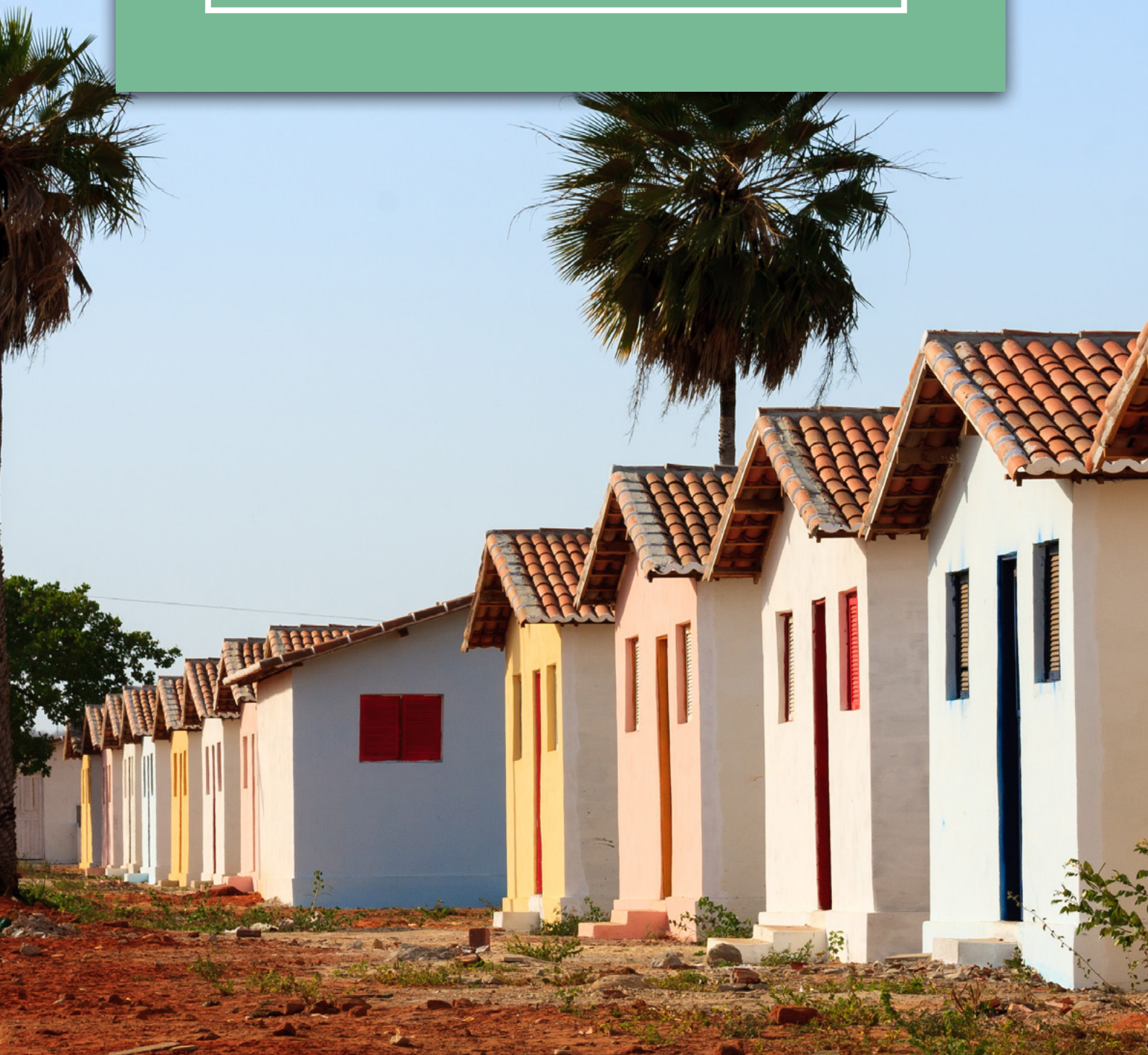
a) Verde escuro: - atividades de coleta de resíduos em regiões que não eram anteriormente atendidas; - atividades de mineração urbana; - atividades de compostagem; - digestão anaeróbica de resíduos orgânicos; - aterros sanitários com aproveitamento energético do biogás; - atividades de recuperação ou reciclagem de materiais.

b) Verde médio: - construção de aterros sanitários de resíduos sólidos; - captura de gás de aterro; - conversão da frota que atende áreas onde já existe coleta; - reabilitação ecológica ou geração de energia solar em aterros sanitários encerrados; - conversão de áreas de aterros sanitários encerrados em unidades de compostagem, digestão anaeróbica e/ou triagem de materiais recicláveis, aproveitando a área já impactada para um uso mais adequado; - ferramentas avançadas de monitoramento e controle de emissões baseadas em inteligência artificial (IA), como drones equipados com sensores de metano e sistemas de blockchain para transparência de dados.

CNAE F

8

Construção
civil



SUMÁRIO

1. Sugestões para atividades já propostas dentro do objetivo “Mitigação da mudança do clima”	93
F1: Construção de edifícios novos.....	93
F2: Retrofit de edifícios existentes.....	94
F3: Instalação de componentes e sistemas para eficiência energética.....	95
F4: Instalação de pontos de recarga para veículos elétricos nos edifícios.....	95
F5: Instalação de tecnologias para geração local de energia de fontes renováveis	95
F6: Atividades imobiliárias	95
2. Observações sobre atividades propostas dentro do objetivo “Adaptação à mudança do clima”	96
3. Sugestão de inclusão de novas atividades dentro do objetivo “Adaptação à mudança do clima”	96
3.1 Medidas de eficiência e prevenção de contaminação hídrica	96
4. Atividades a serem incluídas para contribuição substancial aos objetivos de redução das desigualdades sociais e regionais	96
5. Outras atividades a serem incluídas como benéficas aos demais objetivos ambientais	96
5.2. Transição para a economia circular.....	96
5.3 Prevenção e controle de contaminação	97
6. Níveis de contribuição à sustentabilidade	97

1 Sugestões para atividades já propostas dentro do objetivo “Mitigação da mudança do clima”

Para este CNAE foram incluídas 6 categorias de atividades:

- F1: Construção de edifícios novos
- F2: Retrofit de edifícios existentes
- F3: Instalação de componentes e sistemas para eficiência energética
- F4: Instalação de pontos de recarga para veículos elétricos nos edifícios
- F5: Instalação de tecnologias para geração local de energia de fontes renováveis
- F6: Atividades imobiliárias

F1: Construção de edifícios novos

Sugere-se a inclusão de critério relacionado ao uso de materiais (ex.: cimento e aço) produzidos com tecnologias de baixa emissão, que seria o item “D” – Uso de materiais de construção fabricados com baixas emissões. São exemplos:

- CP III – Cimento Portland de Alto Forno (NBR 5735)
- Bioconcreto autorregenerativo
- Cimento verde
- Vergalhões produzidos a partir de material reciclado
- Aço de baixa emissão (há diversas tecnologias sendo desenvolvidas, como o uso de H2V)
- Verbamfix - elimina a emissão de 7,5 Kg de CO2 por m² em comparação com o uso da argamassa tradicional
- Madeira 3D – substitui o uso de madeira de florestas nativas
- Madeira de demolição – substitui o uso de madeira de florestas nativas
- Pastilhas de vidro para revestimento – economizam até 70% de energia e até 50% de água em sua fabricação
- K-briq – dispensa a queima de argila e 90% da composição é de resíduos de construção – reduz em mais de 90% as emissões na fabricação
- Tijolo de solo-cimento – contribui para a redução do desmatamento e das emissões
- Materiais de proveniência local, ou seja, num raio de 50 km de distância da construção

No que diz respeito aos requisitos de não cau-

sar prejuízo significativo ao objetivo “Proteção e restauração da biodiversidade e ecossistemas”, exige-se apenas **verificação** da cadeia de custódia dos materiais, para minimizar impactos negativos na sua extração dos ecossistemas, e cita-se o exemplo da extração ilegal de areia, sem mencionar a madeira, que também possui alto percentual de ilegalidade no Brasil e sem atribuir consequências caso seja constatada a ilegalidade. Sugere-se a seguinte redação:

- Não podem ser incluídas edificações em que não seja comprovada a legalidade da origem da madeira e da areia que eventualmente sejam empregadas na construção.

Quanto ao requisito de não causar prejuízo ao objetivo de “Prevenção e controle de contaminação”, sugere-se a menção à necessidade de evitar materiais que oferecem riscos à saúde, tais como:

- Formaldeído
- PVC
- Materiais isolantes tradicionais
- Adesivos e selantes de base química
- *Shingles* de asfalto
- Plásticos reforçados com fibra de vidro

Quanto ao requisito colocado como atividade relacionada a “não causar prejuízo significativo ao uso sustentável e proteção dos recursos hídricos e marinhos”, observa-se que ela não está relacionada a um risco decorrente da construção focada em eficiência energética, tratando-se, na realidade, de uma atividade voltada à eficiência hídrica da obra, que deveria ser, por si, uma atividade elegível para financiamento.

F2: Retrofit de edifícios existentes

Sugere-se a inclusão de critério relacionado ao uso de materiais (ex.: cimento e aço) produzidos com tecnologias de baixa emissão, que seria o item “D” – Uso de materiais de construção fabricados com baixas emissões, com os exemplos já referidos no item 1.1.

Na descrição do F2, consta o seguinte (2º parágrafo): “Compreende também a realização de empreendimentos imobiliários, residenciais ou não, provendo recursos financeiros, técnicos e materiais para a sua execução e

posterior venda. Compreende ainda as obras de instalações prediais que permitem o funcionamento e a operação do edifício (classificadas no CNAE 43), quando realizadas conjuntamente à fase de construção”. A redação traz uma certa ambiguidade quanto ao que se enquadra, permitindo que se tentar utilize os critérios de elegibilidade para retrofit (que são mais flexíveis) para enquadrar como sustentável um empreendimento que na verdade é uma construção nova.

No que diz respeito aos requisitos de não causar prejuízo significativo ao objetivo “Proteção e restauração da biodiversidade e ecossistemas”, exige-se apenas **verificação** da cadeia de custódia dos materiais, para minimizar impactos negativos na sua extração dos ecossistemas, e cita-se o exemplo da extração ilegal de areia, sem mencionar a madeira, que também possui alto percentual de ilegalidade no Brasil e sem atribuir consequências caso seja constatada a ilegalidade. Sugere-se a seguinte redação:

- Não podem ser incluídas edificações em que não seja comprovada a legalidade da origem da madeira e da areia que eventualmente sejam empregadas na construção.

Quanto ao requisito de não causar prejuízo ao objetivo de “Prevenção e controle de contaminação”, sugere-se a menção à necessidade de evitar materiais que oferecem riscos à saúde, tais como: formaldeído; PVC; materiais isolantes tradicionais; adesivos e selantes de base química; *shingles* de asfalto; plásticos reforçados com fibra de vidro.

Por outro lado, quanto a esse mesmo tema de não causar dano ao objetivo de “Proteção e restauração da biodiversidade e ecossistemas”, não faz sentido exigir “Implantação de paisagismo com uso de espécies nativas da região, e atrativas para a fauna local”, por se tratar apenas de um retrofit, e não de uma construção nova. Sugere-se que a exigência seja:

“Se houver projeto paisagístico, deverão ser usadas espécies nativas da região”

Quanto ao requisito colocado como atividade

relacionada a “não causar prejuízo significativo ao uso sustentável e proteção dos recursos hídricos e marinhos”, observa-se que ela não está relacionada a um risco decorrente da construção focada em eficiência energética, tratando-se, na realidade, de uma atividade voltada à eficiência hídrica da obra, que deveria ser, por si, uma atividade elegível para financiamento.

F3: Instalação de componentes e sistemas para eficiência energética

Sugere-se a inclusão das seguintes estratégias adicionais na medida A, que trata de conforto térmico:

- Thermo-X – favorece climatização, contribuindo para adaptação e para redução de emissões via eficiência energética
- Telhados brancos – favorece climatização, contribuindo para adaptação e para redução de emissões via eficiência energética
- Tintas de terra naturais – contribuem para a climatização e não utilizam químicos

A segunda parte da medida C da F3 (No caso de substituição de lâmpadas fluorescentes, deverá ser evidenciado o descarte adequado...) na verdade deveria estar incluída como um requisito dentro da exigência de não causar prejuízo ao objetivo “Prevenção e controle de contaminação”.

F4: Instalação de pontos de recarga para veículos elétricos nos edifícios

Sem observações.

F5: Instalação de tecnologias para geração local de energia de fontes renováveis

A medida F não está adequada, pois não se trata de geração de energia. Ela deveria entrar na atividade “ações de eficiência hídrica”, conforme proposto mais abaixo.

Quanto ao requisito de não causar prejuízo substancial à prevenção e controle da contaminação, sugere-se que seja considerada a destinação adequada de painéis solares:

“Deve ser assegurada a destinação adequada de painéis solares com sua vida útil exaurida,

de forma a não causar dano ambiental.”

F6: Atividades imobiliárias

Sem observações.

2 Observações sobre atividades propostas dentro do objetivo “Adaptação da mudança do clima”

Na atividade FA3, não foi incluída nenhuma medida referente à instalação de equipamentos mais eficientes no uso de água, como sanitários, chuveiros e torneiras que utilizam menos água.

Na atividade FA7, as medidas E e I não parecem adequadas a essa categoria, dado que elas dizem mais respeito à eficiência energética do que à melhoria do conforto e bem-estar.

Ainda na atividade FA7, algumas medidas mais específicas que podem ser incluídas por contribuir com o conforto térmico são:

- Thermo-X
- Telhados brancos
- Tintas de terra naturais
- Vidros de controle solar

Na atividade FA4, sugere-se incluir a seguinte medida:

- Telhados verdes – auxiliam na drenagem da água da chuva (o que ajuda a evitar alagamentos)

3 Sugestão de inclusão de novas atividades dentro do objetivo “Adaptação à mudança do clima”

3.1 Medidas de eficiência e prevenção de contaminação hídrica

Considerando-se que o principal efeito das mudanças climáticas é a escassez hídrica, sugere-se a inclusão das seguintes atividades, que seriam um item “E” dos itens F1 e F2:

- Instalação de biodigestores
- Instalação de cisterna equipada para armazenamento de água da chuva, e sistemas de calhas e rufos para a coleta (como na medida F

da atividade F5 acima)

- Uso de louças e materiais sanitários com sistemas de economia de água
- Instalação de mictório ecológico
- Coleta e descarte de óleo de cozinha através de um sistema hidráulico em cobre em edifícios residenciais.

4 Atividades a serem incluídas para contribuição substancial aos objetivos de redução das desigualdades sociais e regionais

Considerando-se o enorme déficit de habitações adequadas para a população de baixa renda no Brasil, que abrange 8% da população¹, e o fato de que a taxonomia inclui objetivos sociais, entendemos que a inclusão de construção de moradias para esse público, ou o seu reassentamento devido às mudanças climáticas, pode e deve integrar a taxonomia, sugerindo-se a criação da categoria F7, com CNAE relacionado à construção de edifícios:

- *Construção de moradias para população das classes D e E, notadamente para abrigar população que vivesse em situação de rua ou em condições inadequadas para a saúde humana, em suma, habitações de interesse social, com prioridade para famílias monoparentais e de etnia negra ou parda;*

- *Construção de novas moradias para população das classes C, D e E, desabrigada em razão de evento climático extremo, como inundações, deslizamentos, furacões e fenômenos similares;*

- *Construção de novas moradias para reassentamento de população vulnerável (habitações de interesse social) residente em região mapeada como de alto risco de sujeição a eventos climáticos extremos.*

5 Outras atividades a serem incluídas como benéficas aos demais objetivos ambientais

Enviamos desde logo sugestões de inclusões de atividades que trazem contribuição significativa para outros objetivos ambientais:

5.1. Proteção e restauração da biodiversidade e ecossistemas

¹Ver dados da Fundação João Pinheiro, que mede déficit habitacional e inadequação de moradias no Brasil desde 1995: <https://fjp.mg.gov.br/brasil-registra-deficit-habitacional-de-6-milhoes-de-domicilios/>

- Uso de areia usinada ou areia reciclada (em substituição à areia lavada) – reduz os impactos ambientais da retirada de areia
- Uso de brita produzida a partir de entulhos da construção civil – reduz os impactos ambientais, poluição sonora e atmosférica causados pela produção da brita tradicional
- Tijolos produzidos a partir de rejeitos (como da mineração) – contribui para a economia circular e reduz os impactos ambientais das barragens
- Vidros Bird Friendly (laminados com a película FlySafe 3D) - reduz consideravelmente os acidentes com os pássaros (biodiversidade e ecossistemas)

5.2. Transição para a economia circular

- Uso de formas de papelão (Concretubos) para a concretagem de vigas e pilares
- Telhas fabricadas com embalagens longa-vida, TetraPak ou PET

5.3. Prevenção e controle de contaminação

- Tintas à base d'água - são menos agressivas ao meio ambiente e à saúde dos usuários

6 Níveis de contribuição à sustentabilidade

Sugere-se que sejam adotados diferentes níveis de enquadramento:

a) Verde claro – obras de construção ou retrofit relacionadas a medidas de eficiência energética e atividades mobiliárias delas decorrentes (itens F1, F2, F3 e F6) para habitações e edifícios comerciais em geral; instalação de pontos de recarga para veículos elétricos e tecnologias de geração local de energia renovável para habitações em geral (F4 e F5)

b) Verde médio – medidas de eficiência hídrica; uso de materiais de construção sustentáveis

c) Verde escuro – medidas de eficiência energética e de geração local de energia renovável para habitações de interesse social ou empreendimentos comerciais em regiões de baixa renda; atividades relacionadas à construção ou reforma de moradias de interesse social ou novas moradias em razão de adaptação às mudanças climáticas (item 4 acima)

CNAE H

9

Transporte,
Armazenamento e Correio



SUMÁRIO

1º. ponto – Exclusões	99
2º. ponto – Inclusões	99
H1: Transporte ferroviário e metroferroviário.....	99
H2: Transporte rodoviário de passageiros e veículos automotores privados e públicos e H3: Transporte rodoviário de cargas	100
H7: Transporte aéreo.....	101
H9: Infraestrutura de transportes	102
Sugestão de novo item: H10: Implantação de sistemas que usem baterias de água e sal no transporte terrestre.....	102
3º. ponto: Níveis de contribuição à sustentabilidade	104
Referências.....	104

1º. ponto – Exclusões

Não foram identificados pontos cuja exclusão se sugere.

2º. ponto – Inclusões

Foram analisadas as atividades relativas a transporte coletivo de passageiros e transporte rodoviário de cargas, além de infraestrutura de transportes. Sugere-se a inclusão de item relativo à implantação de sistemas que usem baterias de água e sal no transporte terrestre.

H1: Transporte ferroviário e metroferroviário

Sugere-se a inclusão de tendências em inovação relacionadas ao setor de transporte ferroviário e metroviário. A utilização de produtos e processos mais eficientes não apenas reduz o desperdício de materiais, mas também promove a adaptação às condições climáticas emergentes, contribuindo para a resiliência do setor. Entre as soluções estão:

- **Trem movido a hidrogênio verde:** um dos combustíveis mais recentes e promissores para a descarbonização do transporte é o hi-

drogênio verde, que se destaca por emitir apenas vapor d'água durante sua utilização, sem liberar gases poluentes ou de efeito estufa. Em 2022, a Alemanha deu um passo significativo nessa direção ao inaugurar a primeira frota de trens movidos a hidrogênio verde, marcando um avanço importante na transição para energias limpas no setor de transportes¹. Essa inovação ganha destaque não apenas por sua eficiência energética, mas também por seu potencial para mitigar os impactos das mudanças climáticas. Ao substituir combustíveis fósseis por uma alternativa totalmente limpa e renovável, o hidrogênio verde representa uma solução viável para reduzir as emissões de carbono e promover a sustentabilidade no transporte metroferroviário.

- **Veículo Leve sobre Trilhos (VLT):** a transição para um sistema de transporte mais sustentável exige soluções eficientes e de baixo impacto ambiental, especialmente na redução das emissões de CO₂. Nesse sentido, os Veículos Leves sobre Trilhos (VLT) se destacam como uma alternativa viável para a mobilidade urbana, proporcionando integração eficiente em pequenas e médias distâncias.

Um estudo realizado por [Nunes et al. \(2022\)](#) no

¹<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/alemanha-estreia-primeiros-trens-movidos-a-hidrogenio-do-mundo/>

centro do Rio de Janeiro concluiu que a implementação do VLT poderia reduzir as emissões de CO₂ em cerca de 14,2 toneladas por dia, ao substituir parcialmente o transporte por ônibus na região. Além da redução dos gases de efeito estufa (GEE), o VLT também contribui para a diminuição da poluição sonora, tornando o ambiente urbano mais sustentável e agradável.

No entanto, para que esses benefícios se concretizem plenamente, é essencial que a implantação do VLT esteja alinhada a um planejamento urbano estratégico, garantindo acessibilidade, eficiência e impacto ambiental positivo a longo prazo.

Ademais, esse setor é dinâmico, com inúmeras pesquisas em andamento e grande potencial para inovações que, se viáveis comercialmente, podem impulsionar a eficiência e reduzir as emissões de CO₂. Exemplos incluem trilhos sustentáveis², vagões equipados com painéis solares³ e até modelos especiais capazes de capturar dióxido de carbono⁴. Diante desse cenário, recomenda-se a atualização contínua da taxonomia para incorporar novas tecnologias e avanços nesse sentido.

• **Requisitos elencados no item “Não prejudicar significativamente a outros objetivos ambientais”**

- Proteção e restauração da biodiversidade e dos ecossistemas:

Recomenda-se incluir “adoção de medidas para preservar a biodiversidade nas proximidades das ferrovias, abrangendo desde a manutenção da vegetação dentro da faixa ferroviária sem comprometer a vegetação nativa até ações mais amplas de conservação para reduzir impactos sobre a fauna e a flora em

áreas adjacentes.”

A importância dessas iniciativas é reforçada por padrões globais de sustentabilidade, como as diretrizes da IFC e o ODS 11 (meta 11.2.1), que destacam a necessidade de infraestrutura de transporte sustentável e ambientalmente responsável.

• **Parâmetros quantitativos**

Emissões de GEE: A TSB define que, para ser considerado verde, um projeto deve ter zero emissões diretas ou utilizar combustíveis sustentáveis acima do percentual mínimo exigido por lei, além de alternativas que comprovadamente reduzam as emissões. Destaca-se a importância de estabelecer parâmetros quantitativos de emissões por quilômetro para garantir essa classificação, especialmente no uso de combustíveis sustentáveis, uma vez que o cumprimento apenas dos requisitos legais representa o mínimo e não assegura, por si só, a transição ecológica do país rumo a um futuro mais sustentável. As Taxonomias de Ruanda e da Colômbia estabeleceram um limite de emissões de até 25 gCO₂/tkm para todos os veículos até 2028, exigindo emissões diretas zero após esse período. Diante disso, recomenda-se a definição de um limite de emissões também para a definição de veículos que usam combustíveis sustentáveis, ajustado à realidade brasileira, garantindo um parâmetro claro.

H2: Transporte rodoviário de passageiros e veículos automotores privados e públicos e H3: Transporte rodoviário de cargas

Sugere-se a inserção de tecnologias novas que reduzem o consumo de energia/combustível e, de consequência, reduzem as emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes:

²Desenvolvido pela startup suíça Sun-Ways, o projeto ainda está em fase de testes, mas já prevê a possibilidade de gerar 1 TWh de energia solar por ano. Com um conceito inovador de painéis solares instalados ao longo de trilhos ferroviários, a iniciativa busca aproveitar espaços subutilizados para ampliar a geração de energia renovável. No futuro, a empresa planeja expandir sua tecnologia para o restante da Europa, contribuindo para a transição energética e a descarbonização do setor ferroviário (<https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/curiosidades/paineis-solares-instalados-em-trilhos-de-trem-na-suica-podem-gerar-ate-1-twh-por-ano>)

³<https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/curiosidades/trem-movido-a-energia-solar-promove-passeio-turistico-entre-argentina-e-peru>

⁴Essa tecnologia, ainda em fase de desenvolvimento, está sendo desenvolvida pela startup americana CO2 Rail Company, em que a ideia consiste em acoplar vagões especiais aos trens, equipados com sistemas capazes de sugar o dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera durante o deslocamento. O CO₂ capturado é então liquefeito e utilizado como combustível para auxiliar no movimento do trem, devolvendo ar limpo ao meio ambiente. Ainda em fase de testes, essa tecnologia representará um avanço significativo, pois alia o transporte de cargas e passageiros à remoção ativa de poluentes da atmosfera. Além de reduzir as emissões de carbono, ela contribui diretamente para a limpeza do ar, transformando os trens em agentes ativos na mitigação das mudanças climáticas (<https://gizmodo.uol.com.br/startup-cria-vagao-de-trem-que-elimina-co-2-do-ar-nas-freadas/>).

- **Motores KERS (Kinetic Energy Recovery System):** Essa tecnologia captura a energia cinética gerada durante a frenagem e a armazena para uso posterior na aceleração, melhorando a eficiência do veículo ao reduzir tanto o consumo de combustível quanto as emissões de CO₂. Atualmente, já existem soluções disponíveis para veículos pesados e ônibus de passageiros e até mesmo carros SUVs, com aplicações em modelos da [Volvo](#)⁵ e [Mercedes-Benz](#)⁶, o que reduz o consumo em até 15%.

Além de otimizar o desempenho de veículos a combustão, o KERS também se mostra vantajoso para veículos elétricos, uma vez que contribui para a economia de energia na tração, aumentando a autonomia da bateria. Um exemplo prático dessa aplicação é o [E-Bus](#)⁷, que opera em Florianópolis, utilizando a recuperação de energia para aprimorar sua eficiência e reduzir custos operacionais.

Essa tecnologia representa um avanço significativo para o transporte sustentável, tornando-se uma alternativa viável para frotas urbanas e rodoviárias que buscam reduzir impactos ambientais e melhorar o desempenho energético.

Além dos sistemas KERS, outras inovações marginais vêm sendo adotadas na indústria automobilística para aumentar a eficiência energética e, conseqüentemente, reduzir as emissões de CO₂. Entre elas, destacam-se:

- [RKM \(Recuperação de Energia dos Alternadores\)](#)⁸ – essa tecnologia recupera a energia gerada pelos alternadores, reduzindo o consumo de combustível. Em veículos pesados, pode gerar uma economia de até 2% em óleo diesel, contribuindo para uma operação mais sustentável.

- [EIS \(Engine Idle Shutdown\)](#)⁹ – sistema que

desliga automaticamente o motor do veículo após um período de inatividade, evitando consumo desnecessário de combustível e reduzindo as emissões. Essa funcionalidade é especialmente útil em ônibus urbanos, que frequentemente fazem paradas prolongadas.

H7: Transporte aéreo

O maior desafio do transporte aéreo é o combustível, responsável por [cerca 3% das emissões globais de CO₂](#) (Lee *et al*, 2021). Embora a querosene de aviação ainda seja a opção predominante, alternativas sustentáveis já foram aprovadas, como o [SAF \(Sustainable Aviation Fuel\)](#), [que pode ser misturado ao combustível convencional em até 50%](#)¹⁰.

Entre as opções para a produção de SAF, o hidrogênio surge como o candidato mais promissor, mas outras matérias-primas também podem ser utilizadas, como o etanol. A produção de SAF a partir do etanol pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 70% a 90%. No entanto, para alcançar reduções ainda maiores, a adoção do hidrogênio verde pode ser um fator determinante.

O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de etanol, já avança nesse setor. Em 2023, a [Raizen](#)¹¹ recebeu o selo ISCC Corsia Plus, certificando que o etanol de primeira geração produzido no parque de bioenergia Costa Pinto pode ser utilizado como insumo para a fabricação de SAF. Outros investimentos foram anunciados por empresas como [Shell e Mubadala](#)¹² apontando o Brasil como um privilegiado no que diz respeito à produção de SAF no mundo com relação à sua estrutura produtiva. Em junho de 2022, a [EMBRAER realizou um teste bem-sucedido nos Estados Unidos](#)¹³, utilizando 100% de SAF com base em SPK de ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA-SPK).

⁵<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/volvo-xc90-2020/>

⁶<https://antp.org.br/noticias/destaques/onibus-da-mercedes-benz-terao-reaproveitamento-de-energia-eletrica-e-vao-desligar-motor-sozinhos.html>

⁷<https://vermelho.org.br/2017/02/14/primeiro-onibus-movido-a-energia-solar-comeca-a-transitar-em-marco/>

⁸<https://antp.org.br/noticias/destaques/onibus-da-mercedes-benz-terao-reaproveitamento-de-energia-eletrica-e-vao-desligar-motor-sozinhos.html>

⁹<https://antp.org.br/noticias/destaques/onibus-da-mercedes-benz-terao-reaproveitamento-de-energia-eletrica-e-vao-desligar-motor-sozinhos.html>

¹⁰<https://revistapesquisa.fapesp.br/brasil-se-prepara-para-produzir-combustivel-sustentavel-de-aviacao/>

¹¹<https://www.raizen.com.br/blog/saf-combustivel>

¹²<https://oglobo.globo.com/economia/negocios/noticia/2024/11/04/brasil-se-torna-ima-de-investimentos-globais-em-combustivel-verde-para-aviacao.ghtml>

¹³<https://oglobo.globo.com/economia/negocios/noticia/2024/11/04/brasil-se-torna-ima-de-investimentos-globais-em-combustivel-verde-para-aviacao.ghtml>

Esse cenário mostra que há margem para tornar a transição mais ambiciosa do que o previsto na consulta pública para classificação como verde. Como já é possível misturar até 50% atualmente, alcançar pelo menos 10% de SAF no combustível até 2030 é viável e pode ser um passo inicial para acelerar a adoção.

H9: Infraestrutura de transportes

Infraestrutura de mobilidade ativa: a infraestrutura urbana é essencial para viabilizar a mobilidade ativa. Ciclovias bem planejadas e seguras, calçadas acessíveis, boa iluminação e segurança pública são fundamentais para que as pessoas se sintam confiantes ao caminhar, pedalar ou utilizar outros meios de mobilidade ativa. Nesse contexto, planejamento urbano e sustentabilidade devem caminhar juntos, garantindo uma integração eficiente entre diferentes modais, como metrô e ônibus, e promovendo deslocamentos seguros em trechos curtos. O desenho das cidades deve priorizar a mobilidade ativa, tornando os espaços mais acessíveis, conectados e favoráveis a um estilo de vida mais saudável e sustentável. Nesse sentido, sugere-se a inclusão na TSB de atividades relacionadas à construção e manutenção de infraestrutura relacionada a esse aspecto de forma mais clara.

Alguns indicadores são fundamentais para avaliar a infraestrutura de mobilidade ativa, conforme padrões globais de sustentabilidade, como da CBI (Climate Bonds Initiative) e os ODS. Entre eles, destacam-se a extensão das calçadas, ciclovias e faixas exclusivas para pedestres e ciclistas, além do índice de qualidade das calçadas e da infraestrutura cicloviária. Esses elementos são essenciais para garantir acessibilidade, segurança e incentivar deslocamentos sustentáveis nas cidades em prol da mitigação das mudanças climáticas.

Sugestão de novo item: H10: Implantação de sistemas que usem baterias de água e sal no transporte terrestre

As crescentes preocupações com a segurança hídrica e energética, agravadas pelos impactos das mudanças climáticas, impulsionam a busca por soluções inovadoras para

armazenamento de energia e dessalinização da água. Nesse contexto, as baterias de água e sal surgem como uma alternativa sustentável e multifuncional, possibilitando o armazenamento de energia elétrica enquanto realizam a remoção de íons de sal da água do mar (SON et al., 2021). A tecnologia das baterias de água e sal para dessalinização (Seawater Battery Desalination - SWB-D) foi introduzida em 2018 e tem atraído atenção significativa dos setores de energia e abastecimento hídrico. Diferentemente dos métodos convencionais de dessalinização, que demandam alta temperatura (>8 kWh/m³) ou alta pressão (>3 kWh/m³), o sistema SWB-D combina armazenamento de energia e remoção de sal de forma simultânea, reduzindo a pegada energética dos processos industriais e hídricos (SON et al., 2021). Além da aplicação em infraestrutura hídrica, as baterias de água e sal oferecem uma solução escalável para o setor de transporte, incluindo veículos elétricos de carga, transporte ferroviário e metroferroviário, permitindo maior eficiência energética e estabilidade operacional. A eletrificação desses modais pode ser impulsionada por essa tecnologia devido à sua segurança aprimorada, **ausência de necessidade de metais raros** e ciclo de vida estendido (CHEN et al., 2023). Sua maior segurança e vida útil prolongada tornam essa tecnologia uma alternativa viável para frotas comerciais e transporte público.

Portanto, a adoção dessas baterias pode representar um avanço estratégico para o setor de mobilidade elétrica e transporte público, possibilitando soluções seguras, sustentáveis e economicamente viáveis (IRENA, 2024).

No Brasil, uma equipe da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) está trabalhando no [desenvolvimento do primeiro protótipo de uma bateria de sódio nacional](#). O projeto visa criar baterias de sódio de 1 ampère-hora (Ah), com módulos de armazenamento energético de 1,2 quilowatt-hora (kWh), adequadas para equipar carros elétricos híbridos.

CNAEs sugeridos:

- 49.29-9/01 - Transporte ferroviário de carga.

- 49.29-9/02 - Transporte ferroviário de passageiros.
- 49.30-2/02 - Transporte rodoviário de carga.
- 49.40-0/01 - Transporte metroferroviário.
- 52.21-9/00 - Atividades auxiliares aos transportes terrestres.

Descrição: sistemas de uso de baterias de água e sal em veículos de transporte de carga, trens, metrô e sistemas logísticos urbanos

Exemplos de atividades:

- Eletrificação de caminhões e frotas de carga com baterias de água e sal.
- Uso em trens e metrô para reduzir emissões e custos operacionais.
- Infraestrutura de recarga para transporte logístico e público.
- Sistemas de backup energético para rodovias eletrificadas.

Contribuição Substancial para o Objetivo 1 - Mitigação da Mudança do Clima:

Crerios de elegibilidade: As atividades são elegíveis se atenderem aos critérios A, B, e C:

A. Integração comprovada com fontes renováveis: as baterias de água e sal devem demonstrar compatibilidade com fontes renováveis, como energia solar e eólica, para maximizar a sustentabilidade do sistema energético. Sua capacidade de armazenar energia intermitente permite maior estabilidade na distribuição elétrica em sistemas de transporte eletrificado.

B. Eficiência energética e segurança operacional: devido à sua composição aquosa, essas baterias oferecem maior segurança contra superaquecimento e incêndios, tornando-se ideais para aplicações no setor de transporte. Elas apresentam um longo ciclo de vida, reduzindo custos operacionais e impacto ambiental associado ao descarte de baterias usadas.

C. Viabilidade técnica e econômica: a ampla

disponibilidade de sódio e a estrutura modular das baterias de água e sal garantem custos mais baixos em comparação às baterias de lítio. Sua implementação no setor de transporte deve ser viável tecnicamente, permitindo integração com infraestruturas existentes.

• Requisitos de “Não prejudicar significativamente a outros objetivos ambientais”:

Sugere-se os seguintes requisitos para prevenir danos a outros objetivos ambientais:

a) Adaptação às mudanças climáticas: garantir que as atividades implementadas utilizem tecnologias resilientes a eventos climáticos extremos e promovam soluções baseadas na natureza para reduzir impactos ambientais a longo prazo.

b) Proteção da biodiversidade e ecossistemas: exigir análises detalhadas de impacto ambiental pré-implementação, com foco na conservação de habitats sensíveis e na mitigação de impactos diretos sobre a fauna e flora locais.

c) Uso sustentável do solo e conservação das florestas: priorização de processos que promovam práticas regenerativas no uso do solo e evitam a ocupação de áreas de preservação permanente (APPs) ou de uso restrito.

d) Uso sustentável de recursos hídricos: garantir que projetos relacionados ao uso de baterias de água e sal utilizem água proveniente de fontes renováveis e tenham sistemas de reuso eficientes, reduzindo a pressão sobre recursos hídricos locais.

e) Transição para a economia circular: incentivar o uso de matérias-primas recicladas ou recicláveis e a implementação de programas de logística reversa para componentes usados, como baterias e equipamentos.

f) Prevenção e controle da contaminação: adotar limites rigorosos para emissões atmosféricas e geração de resíduos, incluindo diretrizes específicas para o manejo e descarte de resíduos perigosos.

3º. ponto: Níveis de contribuição à sustentabilidade

Defende-se que cada atividade do sistema de transporte, **seja classificada em graus ou tons de verde**, de acordo com o tipo de combustível utilizado e o fato de o serviço estar ou não sendo estendido a uma comunidade que não desfrutava desses serviços, quando aplicável, conjugando-se os objetivos climáticos e de redução das desigualdades sociais, da seguinte forma:

H1: Transporte ferroviário e metroferroviário

- **Verde escuro** – todo tipo de transporte metroferroviário

H2: Transporte rodoviário de passageiros e veículos automotores privados e públicos e H3: Transporte rodoviário de cargas

- **Verde claro** – veículos da categoria flex

- **Verde médio** – veículos da categoria híbridos

- **Verde escuro** – veículos 100% movidos a combustíveis com emissões diretas zero.

H7: Transporte aéreo

- **Verde claro** – transporte aéreo que com alguma concentração de SAF.

- **Verde médio** – transporte aéreo com pelo menos metade de SAF permitido (atualmente o permitido é de 50%, ou seja, para ser considerado verde médio teria que usar pelo menos 25% de SAF).

- **Verde escuro** – transporte aéreo com o máximo de SAF permitido (atualmente esse parâmetro é de 50%).

H9: Infraestrutura de transportes

- **Verde médio** – obras que adaptem a infraestrutura de transporte já existente em vista de eventos extremos, como exemplo:

- Reforço estrutural e resiliência climática – fortalecimento de pontes, estradas e ferrovias contra inundações, deslizamentos e temperaturas extremas.

- Drenagem e manejo de águas pluviais – im-

plementação de sistemas de drenagem sustentável para reduzir alagamentos.

- Materiais inovadores – uso de pavimentos permeáveis, concreto de alta resistência e materiais reciclados para aumentar a durabilidade da infraestrutura.

- Verde escuro

- Obras que estendam a infraestrutura de transporte para comunidades que não tinham acesso a esses serviços.

- Obras de infraestrutura de transporte voltadas ao transporte de baixa emissão (VLT, hidrogênio verde, entre outros) ou mobilidade ativa, como exemplo:

- Infraestrutura para micromobilidade – expansão de ciclovias, bicicletários e infraestrutura para patinetes elétricos.

- Sistemas de compartilhamento e integração digital – aplicativos e soluções para otimizar rotas de transporte sustentável e incentivar seu uso.

- Eletromobilidade e energia renovável – redes de recarga rápida para veículos de baixa emissão, corredores elétricos e integração com fontes renováveis (solar e eólica).

H10 - Implantação de sistemas que usem baterias de água e sal no transporte terrestre

Verde escuro - todos os sistemas de implantação de baterias de água e sal

// Referências:

LEE, D. S. et al. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. **Atmospheric Environment**, v. 244, 117834, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>.

NUNES CRUZ, V.; SOARES DA SILVA JÚNIOR, O.; SILVEIRA LOPES, L. A. ; DE MIRANDA REIS, M. Estimativa de Redução das Emissões de Poluentes Atmosféricos com o uso do VLT na região central do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Transportes**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 22–49, 2022. DOI: 10.12660/rbt.v2n1.2022.84484. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rbt/article/view/84484>. Acesso em: 31 jan. 2025.

10

**Redução de
desigualdades de
gênero, raciais, socio-
econômicas e regionais**



Entendemos que é preciso mapear e incluir na Taxonomia iniciativas mais efetivas na redução de desigualdades do que a consideração do índice de diversidade na mão-de-obra das empresas (sem prejuízo da adoção também do índice, que tem um efeito indutor indireto).

É importante notar, inclusive, que, no que toca à desigualdade de gênero, já existem diversas iniciativas no setor financeiro (e provavelmente também no setor produtivo), sendo que também começam a haver produtos focados na desigualdade racial, como se vê a seguir:

Banco Itaú: [linhas de crédito Mulher Empreendedora](#)

Desenvolve SP: linha de crédito [Desenvolve Mulher](#), com condições favorecidas para negócios liderados por mulheres

Fomento Paraná: [Banco da Mulher Paranaense](#) – linhas de crédito com taxas de juros reduzidas tanto para microcrédito quanto para micro e pequenas empresas

Banco do Brasil: [fundo de investimento Ações – Equidade](#) – fundo de ações que somente inclui empresas que incentivam a equidade de gênero e promovem a ampliação da participação feminina em cargos de liderança.

Banco do Brasil: **linha de crédito FCO Quilombo** - “considera-se público-alvo, os tomadores classificados nos portes abaixo: I – microempreendedores individuais (MEI); II – mini, pequenos e pequenos-médios produtores rurais, cujo mutuário (proponente) seja quilombola, na condição de pessoas físicas ou jurídicas, suas cooperativas de produção e associações; III – microempresas, empresas de pequeno porte e pequenas-médias empresas.” As condições especiais de financiamento no âmbito do FCO Quilombo não se aplicam às empresas e produtores rurais enquadrados nos portes médio, médio-grande e grande, nem ao PRONAF, que segue regra específica do MCR. Os financiamentos concedidos para investimentos, no âmbito do FCO Quilombo, possuem limites financiáveis de até 100%, carências acrescidas em até 1 (um) ano e prazos de pagamento acrescidos em até 2 (dois) anos, em todas

as linhas de financiamento, incluindo capital de giro associado, observada a capacidade de pagamento dos mutuários. Além disso, há elevação dos limites e as já tradicionais taxas menores que o FCO pratica. (informações obtidas junto a Vilmar Thewes, Gerente de Negócios Sustentáveis do Banco do Brasil)

Esse tipo de iniciativa pode e deve ser estendido para a redução de outros tipos de desigualdades.

Sugere-se a seguinte redação para abranger atividades econômicas de qualquer setor econômico com benefícios para a redução de desigualdades:

- produtos e serviços com condições (preços, prazos ou outros benefícios) mais favoráveis para mulheres, pessoas de etnia negra, parda ou indígena, pessoas com renda familiar de até 2 salários mínimos ou pessoas domiciliadas nas regiões Norte e Nordeste;

- produtos e serviços que promovem a maior participação feminina, negra ou indígena em funções de liderança.

*Requisitos de não causar dano significativo a outros objetivos:

Esses produtos ou serviços não devem estar ligados às principais causas das mudanças climáticas ou da poluição, nem promover o desperdício de recursos.

