

Soluções
em



**Clima e
Natureza
do Brasil**

Implementações em curso

Este documento nasce de uma convocação: responder ao que significa o Brasil ser um provedor de soluções climáticas e da natureza a partir de iniciativas do setor privado. Mais do que uma aspiração, trata-se de reconhecer e dar forma ao que o País já faz — e como isso contribui, simultaneamente, para a descarbonização nacional, aliada à geração de renda e emprego, e para o esforço global de limitar o aquecimento a 1,5°C.

O texto oferece um amplo panorama dos setores econômicos cruciais para a mitigação da mudança climática no Brasil, revelando uma teia de ações concretas já em curso. Essas são fruto de orientação científica sólida, de liderança política e de uma colaboração intersectorial que reflete a complexidade e a potência do País.

Nesta segunda edição ampliada, seis temas são destacados, não como os únicos, mas como expressões emblemáticas de um movimento mais abrangente: agropecuária, economia circular, energia, florestas, carbono e mineração. As ações aqui reunidas dialogam diretamente com os principais emissores do inventário nacional de gases de efeito estufa — e revelam que o Brasil já está em movimento. Não é um plano para o futuro distante, mas um retrato do presente em transformação.

Elaborar este documento foi, em si, um desafio: refletir a diversidade e a escala de oportu-

nidades que o Brasil oferece nesse campo exigiu sensibilidade e rigor. Este não é um texto exaustivo, nem pretende ser definitivo. Ele é vivo. É uma contribuição à agenda climática que o Brasil busca levar adiante durante sua presidência da COP 30 — e além dela.

Por fim, mais que um registro, este material é também um convite: para que o País avance com ainda mais ousadia como liderança em soluções climáticas. Pois, no Brasil, essas soluções são como uma colagem — uma composição rica de estratégias sobrepostas, paralelas e complementares. Um mosaico de caminhos e disrupções que revelam um motivo comum: a ambição brasileira de ser um país, no futuro, em que clima, natureza, desenvolvimento e economia caminhem juntos, de forma indissociável.

Boa leitura!

Lívia Pagotto
Diretora Institucional do Instituto Arapyáú

[apresentação]

por **Renata Piazzon*** e **Marcelo Furtado****

Esta publicação nasce do reconhecimento de que o Brasil tem todas as condições para ser parte da liderança de uma nova economia regenerativa, inclusiva, de baixo carbono e orientada para o futuro. No momento em que o mundo busca com urgência referências para enfrentar a crise climática, o País precisa mostrar à comunidade internacional que pode ser um grande provedor de soluções reais e escaláveis. Devemos identificar e compartilhar essas boas histórias.

Com matriz energética majoritariamente renovável, rica biodiversidade, práticas agrícolas inovadoras, combustíveis sustentáveis, capacidade de restaurar milhões de hectares de florestas e avançar em carbono, bioeconomia, mineração e energias limpas, o Brasil é mais que um país de potencial.

Muitos dos casos levantados nesta publicação mostram que o setor privado está preparado para responder aos desafios climáticos, com produtos, investimento e serviços já implementados. A publicação também traz exemplos que estão ganhando escala e outros que ainda não chegaram a esse estágio, mas são altamente promissores.

A COP 30, que daqui a alguns meses vai colocar o País em evidência, é uma oportunidade para o Brasil se posicionar, o que vai exigir ambição, cooperação e financiamento. A filantropia

tem um papel relevante a cumprir nessa transição econômica, ao testar modelos alternativos, assumir riscos e catalisar inovações. Mas, para ganhar escala, precisamos da capacidade financeira e de execução do setor privado, alinhados aos esforços e compromissos já declarados do setor público. Só assim será possível construir novos paradigmas positivos para o clima, a natureza e as pessoas.

A oportunidade não se resume nem termina em novembro deste ano, quando é realizada a COP em Belém do Pará. O Brasil continua à frente das negociações globais do clima até 2026, quando passa o bastão para o próximo anfitrião da COP 31. Esta é uma janela de tempo fundamental para inspirarmos o mundo na agenda de ação e implementação das soluções climáticas.

O Brasil tem ativos naturais únicos, conhecimento – fruto de pesquisa e inovação pública e privada – e histórias bem-sucedidas de soluções sustentáveis. Mais do que participar da transição global, o Brasil pode ajudar a moldá-la. E ao fazer isso, apontar novos caminhos de prosperidade em harmonia com as pessoas e o planeta.

* *Diretora-geral do Instituto Arapyáú*

** *Head de Sustentabilidade da Itaúsa e diretor-executivo do Instituto Itaúsa*

por **Pedro Wongtschowski***

Além da enorme relevância para a agenda climática do mundo, a COP 30 deve contribuir para explicitar as oportunidades econômicas derivadas da necessidade de reduzir emissões e melhorar o uso de recursos naturais, além de jogar luz especialmente para as iniciativas que o Brasil, anfitrião do encontro, já protagoniza.

Os exemplos são muitos. A área de restauração ambiental, que até 10 anos atrás era tida como um assunto de “abraçadores de árvores”, hoje atrai fundos e grandes investidores atentos às oportunidades de negócios. Projetos de baixo carbono também surgem em energia – como SAF, combustível sustentável de aviação –, na agropecuária, na indústria e na gestão de resíduos, por meio da adoção de processos de produção circulares e guiados por ganhos de eficiência. Outros tantos já se mostram consolidados e em larga escala de operação, conforme exemplificado neste relatório.

Com vantagens estratégicas devido ao clima tropical, à megabiodiversidade e à abundância de sol, chuva e vento em seu extenso território – além de uma sociedade civil pujante e dotada de múltiplos saberes – o Brasil tem muito a contribuir para a geração e distribuição de riquezas alinhadas à proteção do capital natural, do clima e das pessoas.

A indústria, como um agente de transformação, tem papel determinante nesses processos.

Ainda que o Brasil encontre desafios no campo macroeconômico, como desequilíbrio fiscal, juros altos e gargalos na infraestrutura, há espaço para ambicionar um projeto de industrialização nacional, mais compatível com as potencialidades do País.

Nesse sentido, são animadores os financiamentos aprovados pelo BNDES em 2023 e 2024, de R\$ 181 bilhões, dos quais R\$ 14 bilhões para inovação. Nesse período, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) também dobrou o orçamento em relação aos anos anteriores, chegando a R\$ 22 bilhões. Trata-se de um movimento virtuoso no setor industrial, pois coloca em evidência três elementos imprescindíveis na busca por soluções globais: tecnologia, inovação e sustentabilidade.

* *Pedro Wongtschowski é empresário. É membro do Conselho de Administração do Instituto Itaúsa, da Embrapii, do Impa, entre outros, e conselheiro de diversas empresas. Integra o Conselho Superior da Fapesp, o Advisory Board do Global Innovation Index, e preside o Conselho Superior de Inovação e Competitividade da Fiesp.*

por **Roberto S. Waack***

Este documento apresenta de forma contundente e inequívoca que iniciativas empresariais brasileiras nos mercados de energia, alimentos, bens de consumo, mineração e carbono têm soluções de grande escala para os desafios climáticos e de natureza. Mais do que isso, confirma o reconhecimento do Brasil como liderança global capaz de oferecer produtos e serviços para mercados maduros, nacionais e internacionais, atendendo à urgência climática e ao entendimento de que o capital natural em geral valerá, no futuro, mais do que vale hoje. Neste campo, várias das soluções apontam para a valoração da natureza como ativo econômico.

Por outro lado, os desafios no controle do desmatamento, na inclusão social e no reconhecimento da importância dos povos originários obliteram grandes realizações do setor privado brasileiro e causam entraves para oportunidades de investimentos. No contexto atual de vulnerabilidade do multilateralismo, ambiente geopolítico hiper complexo, polarizações e fragilidade política nacional, o setor privado brasileiro não tem outra alternativa a não ser se apresentar como liderança global desta agenda.

A alavancagem desse processo passa também por profunda reflexão sobre o papel dos movimentos ambientalistas. É inquestionável sua importância no aporte de conteúdo técnico-científico e visibilidade que deram à emer-

gência climática e à deterioração dos recursos naturais. No entanto, uma agenda de impacto mais concreta parece necessária. Não se trata de fechar olhos às externalidades negativas desses modelos de negócio, mas sim de colaborar para eliminar, mitigar e compensar seus danos, e sobretudo ajudá-los a prosperar como alternativas de menor impacto socioambiental e a favor da construção de capital natural.

Grande parte das soluções apresentadas como em ascensão demanda alavancagens que envolvem políticas públicas específicas, suporte da sociedade civil e acadêmica e instrumentos financeiros inovadores. São alternativas que, em grande parte, convivem com situações fiscais e subsídios que desequilibram o jogo em favor das tecnologias mais dependentes de combustíveis fósseis ou da exploração não sustentável de recursos naturais. O volume e impacto real das soluções maduras avalizam o potencial dos casos em ascensão, indicando o quanto o Brasil tem a ganhar em se apresentar para o mundo como o país das soluções em clima e natureza. Depende de uma boa dose de esforço articulado do governo, da sociedade e das empresas, algo já realizado em vários dos casos apresentados.

* *Membro dos Conselhos do Instituto Arapyáú, MBRF Global Foods e Wise/Braskem Plásticos. Associate Fellow Chatham House*

Concepção e revisão do conteúdo:

Lívia Pagotto

Marcelo Furtado

Pedro Wongtschowski

Renata Piazzon

Roberto S. Waack

Edição:

Amália Safatle

Textos:

EQUIPE PÁGINA22

Amália Safatle

Andrea Vialli

Magali Cabral

Marcos Coronato

Martina Medina

Sérgio Adeodato

Tradução para versão em inglês:

Maria Emilia Guttilla

Tomás Rosa Bueno

Eliana Serikako

Projeto Gráfico:

Bruna Foltran

Capa:

Catarina Bessell

Coordenação do projeto gráfico:

INSTITUTO ARAPYÁÚ

Luiz Attié

Sabrina Fernandes

INSTITUTO ITAÚSA

Natalia Oliveira

Setembro de 2025

Índice

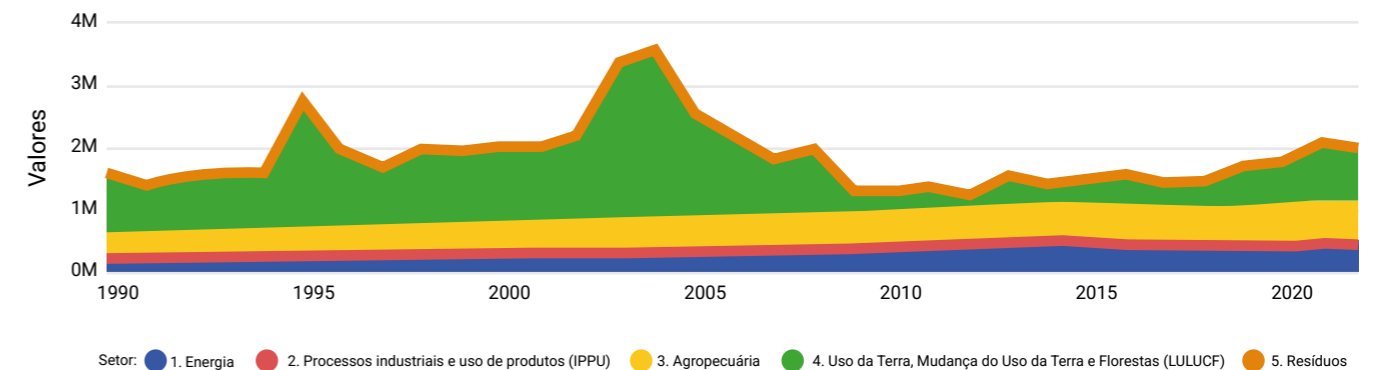
| | |
|-----|---|
| 11 | Contribuições do Brasil para o clima e a natureza |
| 27 | Agricultura e Pecuária |
| 57 | Florestas |
| 93 | Energia |
| 115 | Mineração |
| 143 | Carbono |
| 169 | Economia Circular |
| 189 | <i>Entrevistados</i> |
| 191 | <i>Notas</i> |

Contribuições do Brasil para o clima e a natureza

Se o Brasil é frequentemente considerado o país capaz de apontar as saídas para as crises geradas pela mudança climática e pela perda da natureza, que soluções são essas e de que forma os setores produtivos estão engajados em ações concretas?

Este documento foi construído às vésperas da COP 30 do Clima a partir dessa pergunta orientadora, mapeando os principais temas econômicos no País, como agricultura e pecuária, florestas, energia, mineração, carbono e indústria e gestão de resíduos (abordados sob a perspectiva da economia circular) – setores medidos pelo Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (*gráfico abaixo*) e que se inter-relacionam. As respostas buscam atender à necessidade de uma agenda de implementação.

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR SETOR INVENTÁRIO NACIONAL 2024 (1990-2022) (EM GWP-AR6 KT CO₂ EQUIVALENTE)



Fonte: Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>

Além de apontar e descrever soluções, este documento apresenta cada temática, mostrando por que o Brasil é um protagonista no assunto, e as contextualiza, expondo as oportunidades e os desafios envolvidos.

As condições tropicais permitem que o Brasil seja um celeiro de soluções. Biodiversidade exuberante, extensas áreas protegidas, imensas áreas agricultáveis, rios volumosos, abundância de sol e vento – tudo isso, somado a investimentos públicos e privados em pesquisa e inovação, faz com que o País reúna um conjunto de atributos praticamente único no planeta, e mostre-se um dos mais aptos a contribuir positivamente para os desafios que o mundo enfrenta em clima e natureza. Muitas das soluções baseiam-se na própria natureza e na resposta que é capaz de dar para os problemas.

Sob a presidência do Brasil no G20 – grupo das 20 maiores economias e emissores –, a bioeconomia foi inserida como eixo central de desenvolvimento e transformação econômica, por meio da Iniciativa de Bioeconomia do G20 (GIB). Mais do que fortalecer a governança ambiental, a inclusão influenciou políticas públicas nacionais, promovendo maior integração entre planos setoriais e estratégias financeiras para Soluções baseadas na Natureza (SbN).¹

Fundamentada no uso sustentável de recursos biológicos renováveis, como plantas, animais e microrganismos, a bioeconomia promove o crescimento econômico, a proteção ambiental e a inclusão social. Em países biodiversos como o Brasil, contribui ainda para conservar ecossistemas, valorizar culturas tradicionais e criar oportunidades econômicas, como as descritas neste documento.

[sumário executivo]



No que se refere à produção de alimentos, o Brasil desenvolveu, durante décadas, um modelo inédito de agricultura tropical, por meio de investimentos em pesquisa, políticas públicas e ação de cooperativas. As técnicas criadas originalmente para aumentar a produtividade – chamadas de poupa-terra – acabaram surtindo efeitos positivos na conservação ambiental e no clima.

Agora, uma outra revolução está em curso, com novas práticas regenerativas, que buscam restaurar o solo, conservar a biodiversidade e produzir comida com baixa ou neutra emissão de carbono, ou até mesmo removendo mais carbono do que emitem – ação que deve ser concomitante à eliminação do desmatamento. Usar a biodiversidade como alavanca é o que tem movimentado, por exemplo, o segmento de bioinsumos, no qual o Brasil se consolida como líder mundial – um exemplo claro de SbN.

A conservação da maior biodiversidade do planeta alia-se à restauração e ao plantio de florestas nativas e exóticas, com contribuições em larga escala, tanto para a redução e remoção de carbono, como para a proteção das condições de vida da Terra.

As oportunidades incluem inovações em instrumentos econômicos, fortalecimento da bioeconomia e desenvolvimento do mercado de créditos de carbono e de biodiversidade, amparadas por regulações fundamentais, como o Código Florestal e políticas públicas como o Programa Arpa (Áreas Protegidas da Amazônia) – a maior iniciativa de conservação de florestas tropicais do mundo, que protege 62,5 milhões de hectares e já foi replicada para Colômbia e Equador.

O destaque do Brasil no uso das fontes renováveis deve-se, em grande parte, aos recursos naturais, mas o bom resultado já obtido decorre principalmente da adoção de estratégias de longo prazo, políticas públicas encadeadas ao longo de diferentes governos e arcabouço regulatório que incentivaram a criação e expansão de uma matriz energética menos poluente que a média global.

Em biocombustíveis, por exemplo, o ciclo virtuoso de políticas públicas acertadas, a resposta positiva das empresas e a aceitação do consumidor trouxeram ao cenário atual um setor robusto, que inclui pelo menos 68 usinas de biodiesel e 436 de etanol, emprega mais de 2,2 milhões de pessoas e corresponde a cerca de 4,5% do PIB. Enquanto isso, as fontes eólica e solar fotovoltaica avançam rapidamente na matriz elétrica nacional. Ambas respondem por 91% da potência que foi instalada no País e por 268 das 301 usinas que começaram a operar em 2024.

A transição energética global para uma economia de baixo carbono, por sua vez, requer um forte aumento da produção de minerais críticos. Para que o mundo entre na rota do net zero (com emissões líquidas iguais a zero) até 2050, seria necessário que a demanda por minerais críticos triplicasse até 2030. Com isso, a atividade mineradora terá de se expandir, sem provocar impacto socioambiental correspondente a essa expansão.

O Brasil é um ator fundamental nesse campo. O País já se posiciona como *player* relevante do setor mineral – segundo maior exportador de minério de ferro e maior exportador de nióbio do mundo. Em 2023, exportou cerca de US\$ 4,2 bilhões em minerais estratégicos, com mais de 50 projetos em andamento destinados à produção de lítio, níquel, cobre, grafite, terras raras, cobalto, nióbio e vanádio.

Mas esse é apenas o retrato presente da situação. Para o futuro, o País encontra-se em posição única para assumir maior protagonismo: detém de 10% a 20% das reservas globais de minerais críticos e a segunda maior reserva de terras

raras (23%). Estão no País a maior reserva de nióbio (94% do total global), a terceira maior de níquel (12%), a quarta maior de manganês (14%) e a quarta maior de bauxita (9%).

No melhor cenário, a produção desses minerais no Brasil vai absorver as boas práticas desenvolvidas nos últimos anos em segmentos como a mineração de ferro, em que os esforços para redução das emissões têm obtido resultados. Além disso, há um aprimoramento nas técnicas de conservação, restauração e gestão ambiental em áreas exploradas.

Transversais a esses setores estão o Carbono e a Economia Circular. O Brasil, tem se mostrado um campo fértil para a implementação de projetos que visam gerar créditos de carbono, tanto pela sua extensa área de florestas tropicais, quanto pelo potencial de gerar energia de fontes renováveis e por desenvolver um arsenal de técnicas agrícolas que capturam e armazenam carbono. O marco legal sancionado em 2024 ainda será regulamentado, mas já se configura como instrumento de política climática que deve engajar setor privado, fundos e governos.

O Brasil foi, aliás, o primeiro país signatário do Protocolo de Kyoto a regulamentar internamente o tratado e também o primeiro a ter um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) registrado na ONU – de aproveitamento energético do biogás do aterro sanitário de Nova Iguaçu (RJ), em 2024. A experiência como o MDL foi um grande marco, tanto para a diplomacia brasileira, que protagonizou as negociações em torno do tema, quanto para a sociedade nacional como um todo, que

passou a enxergar esse processo de precificação do carbono como uma oportunidade também de atração de investimentos e geração de riqueza atrelados à proteção ambiental.

A Economia Circular no Brasil ainda é incipiente, exceto por iniciativas mais pontuais. Mas esse quadro pode mudar, pois o País espera concluir ainda em 2025 o seu conjunto de políticas essenciais para alavancar o modelo: a Política Nacional de Economia Circular. O texto trata a economia circular como uma solução sistêmica ao modelo econômico linear e define as bases para todos os desdobramentos institucionais no tema. Já o Plano Nacional de Economia Circular foi lançado em 8 de maio de 2025, o que representa um avanço significativo nessa agenda.

A maior parte das indústrias brasileiras – 85% delas – já desenvolve pelo menos uma prática de economia circular. No ciclo biológico, há um mundo a explorar, reunindo duas políticas públicas em construção – a da economia circular e a da bioeconomia – ao mesmo tempo em que desenvolvem soluções nos campos do agronegócio e das florestas plantadas.

Os quadros a seguir sintetizam as principais soluções, mapeadas com base em 66 especialistas entrevistados, além de instituições pesquisadas e estudos consultados para este Relatório. As soluções estão organizadas como “maduras”, ou seja, que já comprovaram resultados amplos e positivos; em ascensão (em processo de amadurecimento); e promissoras, com alto potencial de crescimento.

As soluções estão detalhadas nas páginas amarelas ao longo deste documento.

Exemplos de soluções em Agricultura e Pecuária

MADURAS



EM ASCENSÃO



SISTEMA DE PLANTIO DIRETO E COBERTURA VERDE

O Brasil é protagonista incontestemente em plantio direto, técnica desenvolvida no País desde os anos 1970, que substituiu a aragem, protege o solo e evita emissões de gases de efeito estufa (GEE). O sistema hoje responde por 95% da produção agrícola brasileira, que lidera a aplicação no mundo, seguida pelos Estados Unidos e pela Argentina. A essa tecnologia adiciona-se a cobertura ou adubação verde, que é o plantio de espécies destinado a elevar a fertilidade do solo.

BIOINSUMOS

A megabiodiversidade brasileira contribui para que o País seja o mais competitivo do mundo no uso de bioinsumos. O Brasil lidera globalmente tanto o uso de biofertilizantes como de defensivos biológicos. O tamanho do mercado é de R\$ 5 bilhões em vendas em um ano, sendo que a média de crescimento é quatro vezes maior que a mundial.

AGRICULTURA DE PRECISÃO

O Brasil lidera globalmente a prática de agricultura de precisão, que direciona a aplicação de fertilizantes e agrotóxicos apenas onde é necessário, reduzindo custos e impactos ambientais.

SISTEMAS INTEGRADOS

Combinar e rotacionar diversas culturas em uma área é uma prática ancestral, mas foi no Brasil onde se alcançou uma escala produtiva inédita em sistemas integrados entre lavoura e pecuária (ILP) e entre lavoura, pecuária e floresta (ILPF). Segundo a Rede ILPF, formada pela Embrapa e por cooperativas, bancos privados e empresas do agronegócio, a área desses sistemas atinge hoje entre 15 milhões e 17,4 milhões de hectares.

PECUÁRIA REGENERATIVA

Diversificação de forragens, uso de sistemas integrados e cultivos mistos de gramíneas e leguminosas com alto teor de recuperação da fertilidade do solo são exemplos de manejos regenerativos que aumentam a produtividade animal. A isso se adiciona o manejo dos períodos de cria, a melhoria e diversificação das raças e a alimentação para o gado que reduz as emissões de metano. Redução significativa já foi obtida pelo encurtamento do tempo de abate de bovinos.

Legenda:

- **Maduras:** que já comprovaram resultados positivos em larga escala
- **Em ascensão:** em processo de amadurecimento, caminhando para ganho de escala
- **Promissoras:** com alto potencial de crescimento e impactos positivos

PROMISSORAS



RECUPERAÇÃO DE PASTOS DEGRADADOS

Há pelo menos 28 milhões de hectares de áreas de pastagens em degradação com potencial para conversão em agricultura, reflorestamento, aumento da produção pecuária ou até para produção de energia. O volume de hectares equivale ao tamanho do estado do Rio Grande do Sul. Se essa área fosse usada para o cultivo de grãos, haveria um aumento de 35% na área total plantada no Brasil.

ECONOMIA CIRCULAR NO AGRONEGÓCIO

Fazendas brasileiras de ponta buscam fechar o ciclo de produção, com aproveitamento de resíduos e dejetos e geração própria de energia renovável.

CRÉDITOS DE BIODIVERSIDADE

Produtores rurais começam a gerar créditos de biodiversidade a partir de atividades com balanço positivo em relação à proteção da natureza.

MEDIÇÃO E CONTABILIZAÇÃO DO SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO

O sequestro de carbono no solo realizado pelo Plantio Direto e por sistemas integrados, como ILP e ILPF, somam 30 milhões de toneladas de carbono por ano, segundo o CCarbon, primeiro centro de pesquisa sobre carbono em clima tropical do mundo. Esses números ainda não são contabilizados inteiramente no Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE. As medições da remoção de carbono no solo pela atividade agrícola são importantes para que o setor produtivo possa melhor contabilizar seu balanço de emissões e monetizar as atividades com atributos ambientais.

Exemplos de soluções em Florestas

MADURAS



CONSERVAÇÃO: PROGRAMA ARPA

Com modelo inovador de financiamento, a maior iniciativa de conservação de florestas tropicais do mundo protege 62,5 milhões de hectares e já foi replicada para Colômbia e Equador.

FLORESTAS PLANTADAS: SILVICULTURA DE ESPÉCIES EXÓTICAS

Plantações de eucalipto e outras espécies exóticas para fins industriais representam uma atividade altamente desenvolvida no País. Empresas de papel e celulose são referência mundial, com impacto climático positivo, enquanto se preparam para transações no mercado de carbono.

EM ASCENSÃO



CONSERVAÇÃO: CÓDIGO FLORESTAL

A implementação da política pública brasileira prevê a recuperação de 18,8 milhões de hectares de passivos de vegetação nativa das propriedades rurais, além do que já é conservado.

RESTAURAÇÃO: FAZENDAS DE CARBONO

Empresas florestais atraem investimentos de corporações globais em créditos de carbono para restaurar áreas degradadas em grande escala na Amazônia e Mata Atlântica.

PROMISSORAS



FLORESTAS PLANTADAS: SILVICULTURA DE ESPÉCIES NATIVAS

Com tecnologias de ponta na silvicultura, empresas expandem os plantios de árvores brasileiras para mudar o padrão do mercado de madeira e créditos de carbono, com recuperação de áreas degradadas na Mata Atlântica.

Exemplos de soluções em Energia

MADURAS

ETANOL

O biocombustível mais usado no Brasil mostra versatilidade e menor dependência da cana, por ser também produzido a partir de milho. Agora, começa a ser testado em tratores, caminhões e até termelétricas.

BIODIESEL

O segundo biocombustível mais difundido no Brasil ainda pode ganhar muito espaço no País e no mundo, com a necessidade global de descarbonização, novos usos, novas matérias-primas e o projeto da maior fábrica do planeta.

EÓLICA

Ambiente regulatório seguro, base industrial local relevante, crescimento robusto: a energia eólica deve passar de uma fase boa para outra melhor ainda com a geração *offshore* e a incorporação de baterias aos parques geradores.

SOLAR

A capacidade de geração solar cresce em ritmo acelerado no mundo inteiro – e mais acelerado ainda no Brasil. O setor está pronto para maior conteúdo nacional e projetos integrados ao agronegócio e às hidrelétricas.

EM ASCENSÃO

BIOGÁS E BIOMETANO

Está provada a versatilidade do biogás e do biometano, que podem ser produzidos facilmente em todo o território nacional. O próximo passo é ampliar a rede de análise e certificação.

BIOMASSA

Os produtores de etanol investem nesta fonte com ganho duplo: a geração de energia com baixa emissão de carbono e a melhor destinação ambiental de resíduos.

ETANOL 2G

Projetos empresariais preveem a criação de uma rede de usinas do biocombustível até 2030, numa corrida pela rota tecnológica mais eficiente.

SAF

Novas regras no Brasil e nos voos internacionais criam demanda garantida, dentro e fora do País, para o combustível sustentável de aviação a partir de 2027.

PROMISSORAS

BIOCOMBUSTÍVEIS

Um leque crescente de biocombustíveis, da amônia ao metanol, ganha a atenção de fabricantes e operadores de navios e grandes sistemas de energia.

HIDROGÊNIO RENOVÁVEL

A PARTIR DE BIOCOMBUSTÍVEIS
O potencial do hidrogênio atrai a atenção dos investidores – e sua versão renovável abre novas possibilidades para a transição energética.

Exemplos de soluções em Mineração

REDUÇÃO DE EMISSÕES

MADURAS

GANHO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As operações nas minas vêm diminuindo o consumo de energia e as consequentes emissões de gases de efeito estufa (GEE) com o uso de equipamentos como inversores de frequência, sistemas de automação e novos motores, com atenção às etapas mais demandantes do processo.

ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE

O uso de esteiras para transporte local de minério, em vez de caminhões, oferece corte adicional no consumo de energia.

ELETRIFICAÇÃO E BIOCOMBUSTÍVEIS

A adoção de biocombustíveis e motores elétricos para caminhões de mineração, escavadeiras e maquinário em geral oferece outra via de redução de emissões da operação.

MENOS CALOR NA SIDERURGIA

A alta concentração do minério de ferro no Brasil e produtos inovadores como o briquete verde reduzem o consumo energético em outro ponto da cadeia, na siderurgia.

100% DE ENERGIA LIMPA

A difusão de usinas solares e eólicas com diferentes escalas vêm garantindo que mais minas consigam operar exclusivamente com eletricidade renovável.

MATRIZ ELÉTRICA E ENERGÉTICA MAIS LIMPA

Quaisquer operações em território brasileiro, da prospecção mineral à siderurgia, metalurgia ou transporte de minério em navio, tornam-se menos intensivas em carbono (em relação à média global) por causa da matriz elétrica com mais de 88% de fontes renováveis (principalmente hidrelétrica, eólica e solar) e do mix de combustíveis com mais de 25% de origem renovável (principalmente biodiesel e etanol).

EM ASCENSÃO**PROMISSORAS****IA, IOT E BIG DATA NO CONTROLE INTEGRADO**

O uso de mais tecnologia digital na gestão da mina, com mais sensores e equipamentos automáticos distribuídos em campo, oferece mais opções de análise e de decisões em tempo real. Isso resulta em ganhos de eficiência e redução no consumo de energia da operação em geral, dos pontos de escavação ao transporte de rejeitos.

VEÍCULOS AUTÔNOMOS

IA e GPS fazem com que caminhões de mineração tenham a condução mais eficiente possível, com redução no consumo de energia, peças e pneus – tudo levando a menos emissões de GEE na mina e em diferentes pontos da cadeia de valor.

NAVIOS COM MENOR CONSUMO DE BUNKER

Navios de carga equipados com “lubrificação a ar” (camada de bolhas que facilita o deslizamento do casco pela água) e propulsão a vento (com velas rotativas) apresentam ganhos da ordem de 10% no consumo de seu combustível, o *bunker* de navegação.

MINERODUTOS PARA LONGAS DISTÂNCIAS

Minerodutos com extensão de centenas de quilômetros oferecem uma solução de transporte com menos emissões de GEE do que trens e caminhões.

COMBUSTÍVEIS REDUTORES DE EMISSÕES PARA NAVIOS

Há experiências em andamento com navios de carga movidos a diferentes misturas, incluindo *bunker* de conteúdo renovável (com parcela feita de matérias-primas vegetais variadas, como óleo de cozinha usado), óleo vegetal hidrotratado (HVO ou “diesel verde”), etanol, combustíveis sintéticos (como amônia) e gás natural líquido (GNL, combustível fóssil que emite menos GEE do que o *bunker* de navegação tradicional)

O PAPEL DOS MINERAIS CRÍTICOS**MADURAS****DECISÕES ASSERTIVAS**

A experiência setorial brasileira em prospecção combinada à ocorrência de depósitos com alta concentração de minério permite operações mais assertivas e eficientes, com menor gasto de energia e menos emissões, na mina e nas etapas seguintes da cadeia.

PRODUÇÃO DE LÍTIO COM IMPACTO REDUZIDO

Técnicas de gestão de mina específicas do segmento e a ocorrência do mineral em alta concentração permitem operações com uso de energia 100% renovável, recirculação de quase totalidade da água, ausência de barragens de rejeitos e beneficiamento a seco.

EFICIÊNCIA ELÉTRICA NA PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO

A produção do alumínio é um processo eletrointensivo e a eficiência global aumentou pouco na última década. A operação no Brasil reduz sua intensidade em carbono graças à combinação de fatores como matriz elétrica predominantemente renovável, uso de caminhões elétricos nas minas e mineroduto para transportar bauxita à distância.

EM ASCENSÃO**IA NA PROSPECÇÃO E DECISÕES DE ESCAVAÇÃO**

A inteligência artificial aplicada à análise geológica, somada à experiência setorial brasileira em prospecção e à ocorrência de depósitos com alta concentração de minério, oferece novo salto de eficiência nas decisões anteriores à abertura da mina e durante sua operação.

IA, IOT E BIG DATA NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

A combinação de tecnologias digitais como inteligência artificial, automação e sensores em campo permitem monitoramento contínuo e melhores decisões a respeito de manutenção de qualidade do ar e da água.

PROMISSORAS**REMINERAÇÃO**

Melhor gestão da mina, modelos mineralógicos e metalúrgicos avançados, uso de inteligência artificial e ocorrência de minérios em alta concentração criam a oportunidade de recuperação de resíduos em várias operações no Brasil. Obtém-se benefício duplo: maior eficiência na produção da mina (com menos emissões de GEE) e redução do volume de descarte (com menor impacto local).

COGERAÇÃO

A produção de eletricidade a partir do calor gerado na mina pode proporcionar novo ganho de eficiência energética às operações.

CONSERVAÇÃO, RESTAURAÇÃO E GESTÃO AMBIENTAL

MADURAS

LAVRA EM TIRAS

A técnica de *strip mining* (lavra em tiras), combinada à grande experiência brasileira em reflorestamento, permite a reabilitação progressiva da área mesmo ao longo da vida útil da mina. A técnica oferece o máximo de preservação do solo, da vegetação e da paisagem.

GESTÃO DA ÁGUA

Técnicas inicialmente adotadas em operações maiores e em regiões de escassez hídrica se difundem pelo setor. As práticas inovadoras, que levam a economias de água superiores a 90% em relação às tradicionais, incluem empilhamento a seco de rejeitos, pulverização precisa e sistemas variados de reúso e tratamento, com recirculação em barragens e nas instalações de beneficiamento.

EM ASCENSÃO

IA, IOT E BIG DATA NA GESTÃO DA ÁGUA

Sistemas digitais integrados para controle das operações na mina, incluindo o monitoramento de captação, tratamento e reúso da água, permitem ganhos adicionais na preservação dos recursos hídricos.

PROMISSORAS

GESTÃO DA ÁGUA EM MINERODUTOS

A água é adicionada ao minério para formar uma “polpa” e permitir o transporte por mineroduto, sistema que emite menos GEE do que ferrovias e rodovias. Projetos em andamento poderão permitir o tratamento e reúso da água, reduzindo o efeito desse modal de transporte sobre os recursos hídricos.

Exemplos de soluções em Carbono

MADURAS

PROJETOS DE REDD E REDD+

A Redução de Emissões por Desmatamento e Florestal (Redd) prevê o pagamento por resultados de redução das emissões de carbono associadas ao desmatamento e à degradação florestal. Envolve projetos de conservação de florestas e manejo florestal. Já o Redd+ adiciona o fator de impacto positivo para comunidades locais, como indígenas e quilombolas.

PROJETOS NA ÁREA DE ENERGIA

Preconizam a substituição de combustíveis fósseis, por outros menos poluentes e/ou renováveis; projetos de geração de energia renovável (parques eólicos, usinas solares, biomassa); recuperação de metano em aterros sanitários; projetos de eficiência energética.

CRÉDITOS DE DESCARBONIZAÇÃO (CBIOS)

Instituídos pela Renovabio, os CBIOS foram desenhados como ativos financeiros emitidos por empresas produtoras de etanol ou biodiesel que demonstram reduções de gases de efeito estufa. São adquiridos por distribuidoras de combustíveis fósseis, como forma de mitigar emissões.

EM ASCENSÃO

PROJETOS DE RESTAURAÇÃO E RECOMPOSIÇÃO DE ECOSISTEMAS

Conhecidas pela sigla em inglês ARR (Florestamento, Reflorestamento e Revegetação) visam a recuperação de áreas e ecossistemas degradados, como florestas, pastagens e sistemas agroflorestais (SAF).

PROJETOS DE AGRICULTURA E PECUÁRIA
Produtores rurais podem gerar créditos com a adoção de práticas agrícolas de baixo carbono e regenerativas, como uso de bioinsumos, plantio direto, rotação de culturas e sistemas e Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF).

PROMISSORAS

REDD+ JURISDICIONAL

Similar ao REDD+, a nova abordagem trabalha com a contabilização da redução das emissões nos limites de um território específico, que pode ser um município, estado ou país. Estados brasileiros estão estruturando suas políticas, como Tocantins, Pará, Acre e Piauí.

CRÉDITOS ATRELADOS A GANHOS DE BIODIVERSIDADE
Projetos com metodologia que aliam a remoção de carbono a benefícios para a fauna e flora e geram ativos financeiros negociáveis.

BIOCHAR

O “biocarvão”, obtido a partir da pirólise de biomassa, pode gerar créditos pela quantificação da remoção de CO₂ da conversão de biomassa em biochar e sua posterior aplicação como corretivos de solo ou em materiais de construção, como concreto.

CAPTURA, USO E ARMAZENAMENTO DE CARBONO

Prevê a redução de emissões pela captura e aprisionamento do carbono em formações geológicas profundas no subsolo. A metodologia para gerar créditos de carbono a partir dessa tecnologia está sendo revisada e deve ser lançada em breve.

Exemplos de soluções em Economia Circular

CICLO TÉCNICO (MATERIAIS FINITOS)

EM ASCENSÃO

DESIGN

O design circular no Brasil encontra-se em estágio de desenvolvimento, mas tem apresentado avanços importantes impulsionados por demandas de sustentabilidade, políticas públicas e mudanças de comportamento do consumidor.

PRODUÇÃO/MANUFATURA

As linhas de produção e manufatura são orientadas por modelos lineares (extrair-produzir-descartar), mas apresentam sinais crescentes de adaptação a modelos circulares, principalmente em redução de desperdício no processo produtivo, reaproveitamento de resíduos, uso de material reciclado e design para desmontagem. O setor automotivo, por exemplo, tem programas de remanufatura de peças e aumento da durabilidade; o de alimentos e bebidas tem casos de reúso de resíduos orgânicos e embalagens recicláveis; o têxtil e de moda trabalha com o uso de tecidos regenerativos ou reciclados e reaproveitamento de resíduos.

CONSUMO

A conscientização socioambiental impulsiona escolhas mais responsáveis, mas a publicidade incentiva o consumismo, enquanto produtos sustentáveis podem ter preços mais altos que os convencionais (que não precificam as externalidades que causam).

REPARO

Encontra-se em um estágio mais limitado. No Brasil, muitas vezes o reparo custa mais do que a compra de um produto novo. Há também o desafio da obsolescência programada.

REÚSO

Apresenta avanços significativos em algumas áreas e desafios persistentes em outros. Por exemplo, plataformas de venda de produtos usados (brechós online e eletrônicos recondicionados) popularizam o reúso. Falta, no entanto, cultura de consumo consciente e há resistência a produtos usados por parte de consumidores.

COLETA

O serviço de coleta seletiva existe em 60,5% dos municípios brasileiros, segundo o IBGE, mas nem sempre é abrangente. Os catadores, cooperados ou informais, são responsáveis por grande parte das coletas de material reciclável, mas falta apoio técnico e financeiro. Na logística reversa, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PRNS) exige que fabricantes e distribuidores assumam a responsabilidade pelo ciclo de vida de produtos eletrônicos, pneus, medicamentos, lâmpadas, entre outros, mas faltam redes logísticas eficientes fora dos grandes centros urbanos.

RECICLAGEM

Apresenta resultados significativos em alguns materiais, em especial alumínio e papelão, mas desafios estruturais e culturais limitam o potencial da reciclagem.

PROMISSORAS

DISTRIBUIÇÃO

Apesar de sua importância estratégica, o setor que conecta produção, consumo e logística reversa está em estágio inicial do ponto de vista de uma cadeia circular. Existem esforços em otimização de rotas, em redução de embalagens descartáveis e em logística reversa.

CICLO BIOLÓGICO (BIOMATERIAIS)

EM ASCENSÃO

DISTRIBUIÇÃO

Embalagens reutilizáveis estão presentes, mas pouco difundidas. Uma logística com foco em baixa emissão de carbono ainda é incipiente, com exceções em empresas de nicho.

CONSUMO CONSCIENTE

Cresce o interesse por produtos orgânicos, naturais e sustentáveis, especialmente nas capitais brasileiras. Mas ainda há forte apelo pelo consumo convencional de processados e ultraprocessados.

COMPOSTAGEM/DIGESTÃO

Iniciativas públicas e privadas estão surgindo para conversão de resíduos biológicos em adubo, energia ou outros insumos, mas a infraestrutura é limitada. A compostagem doméstica cresce em pequenos projetos e escolas, mas sem escala significativa.

REGENERAÇÃO DO SOLO

Práticas de regeneração do solo ainda são pouco aplicadas sistematicamente. Há movimentos de reflorestamento, agrofloresta e agricultura regenerativa em estágio de consolidação.

PROMISSORAS

DESIGN DE PRODUTOS BIOLÓGICOS

Há um crescimento no uso de materiais naturais biodegradáveis e renováveis (embalagens de mandioca, tecidos orgânicos, maquiagem), mas ainda restrito a nichos e marcas sustentáveis.

PRODUÇÃO E PROCESSAMENTO

A agricultura orgânica e a agroecologia crescem, mas representam uma pequena fatia da produção nacional. Grandes produtores começam a adotar práticas sustentáveis, e há muito espaço para expansão.

agricultura e pecuária



[introdução]

Transformações em campo

Por meio de investimentos em pesquisa, políticas públicas e ação de cooperativas, o Brasil desenvolveu, durante décadas, um modelo inédito de agricultura tropical. As técnicas criadas originalmente para aumentar a produtividade acabaram surtindo efeitos positivos na conservação ambiental e no clima. Agora, uma outra revolução está em curso, com novas práticas regenerativas, que buscam restaurar o solo, conservar a biodiversidade e produzir alimentos com baixa ou neutra emissão de carbono, ou até mesmo remover mais carbono do que emitem

“a terra em si é de muito bons ares frescos e temperados... As águas são muitas; infinitas. Em tal maneira é graciosa que, querendo-a aproveitar, dar-se-á nela tudo”, escreve Pero Vaz de Caminha em carta ao rei Dom Manuel, durante a expedição de Pedro Álvares Cabral em 1500.

As primeiras impressões do missivista correspondiam apenas em parte à realidade. Os solos tropicais têm uma característica desafiadora para a agricultura. São naturalmente ácidos e, com isso, de baixa fertilidade, o que implica correções e reposições constantes de nutrientes para garantir patamares altos na produção agrícola sendo, ainda, suscetíveis a processos erosivos devido às torrenciais chuvas dos trópicos. Tampouco as águas se mostraram infinitas como as descritas na carta, o que requer um manejo adequado dos recursos hídricos, especialmente diante da crise climática dos tempos de hoje.



Foi graças a um progresso tecnológico desenvolvido nacionalmente que o Brasil driblou suas dificuldades naturais. O País que 50 anos atrás importava, por exemplo, melancia, trator, arroz e feijão tornou-se o quarto maior produtor de alimentos do mundo, atrás de China, Estados Unidos e Índia em volume de grãos. Em commodities como suco de laranja, café e soja, o Brasil é o primeiro e, em pecuária, o segundo.

Hoje o agronegócio brasileiro responde por 25% do PIB, 20% dos empregos e 48% das exportações, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Um em cada quatro produtos do agronegócio em circulação no mundo é brasileiro. Essa relevância na economia é consequência de um crescimento constante ao longo das últimas décadas, de 2,1% ao ano entre 1994 e 2020.¹

Tal salto não se deveu apenas à Revolução Verde, um movimento global de inovação no campo que o Brasil passou a implementar nos anos 1970, calcado em alta mecanização, sementes híbridas e uso intensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos. A grande transforma-

[introdução]

ção na agricultura brasileira foi especialmente propiciada por adaptações às condições tropicais, muito diversas daquela do Hemisfério Norte em termos de clima, solo, pluviosidade e biodiversidade – a começar pela falta dos invernos rigorosos, que no Norte ajudam naturalmente a combater as pragas.

O Brasil, por meio de investimentos em pesquisa, políticas públicas e ação de cooperativas, praticamente desenvolveu um modelo inédito de agricultura tropical, com adaptação de cultivares, animais, sistemas de produção e manejo de solo. Esse processo de construção levou cerca de 50 anos.

Muitas dessas adaptações promovidas pelo Brasil, no sentido de tropicalizar a Revolução Verde, já estão consolidadas há décadas, como o plantio direto, a cobertura verde, a fixação de nitrogênio no solo e a rotação de culturas, que serão descritas ao longo deste documento. Criadas originalmente para aumentar a produtividade, acabaram surtindo efeitos positivos na conservação ambiental, como proteção de solos e corpos d'água, e na mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO RESPONDE POR:

25%

DO PIB

20%

DOS EMPREGOS

48%

DAS EXPORTAÇÕES



UM EM CADA QUATRO
PRODUTOS DO
AGRONEGÓCIO EM
CIRCULAÇÃO NO
MUNDO É BRASILEIRO.



fonte: Embrapa

Novo salto

O momento agora é de um novo salto de adaptação à mudança climática e eventos extremos, como estiagens severas e excesso de chuvas. Uma outra revolução está em curso, com práticas de agricultura e pecuária regenerativas, que buscam restaurar o solo, conservar a biodiversidade e produzir alimentos com baixa ou neutra emissão de carbono, ou até mesmo remover mais carbono do que emitem.

Nesse sentido, ganham corpo técnicas como integração entre lavoura, pecuária e floresta, bioinsumos – considerados uma das atuais grandes frentes de transformação da agricultura brasileira – recuperação de áreas degradadas e sequestro de carbono no solo.

A interação entre produção agropecuária e conservação da vegetação nativa é mais um diferencial brasileiro. Definida pelo Código Florestal, lei que determina os limites de produção e conservação de uma propriedade, a manutenção de Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal garante ao produtor oferta de água, ganhos climáticos e biodiversidade. E também fornece micro-organismos como fungos e bactérias que podem servir como insumos biológicos para a produção – é a biodiversidade sendo aproveitada como ativo da produção agrícola.



Além de produzir alimento, fibra e bioenergia, cabe ao agro brasileiro cumprir uma quarta finalidade, como provedor de serviços ambientais, que inclui remoção de carbono, proteção de solo, fauna e flora, polinização e regulação de chuvas.

O Brasil tem, portanto, a possibilidade de avançar uma economia agrícola baseada em produtos renováveis e biológicos, que dependem basicamente da fotossíntese. Esta é sua grande vantagem em relação ao mundo desenvolvido, que demanda produtos fósseis e minerais devido à baixa disponibilidade de recursos naturais e que, por isso, terá dificuldades crescentes em um contexto de agravamento da crise climática e seus efeitos, com restrições à emissão de GEE, exaustão de solos e menor acesso à água limpa.

O mundo depende de soluções que o País está desenvolvendo no cinturão tropical do planeta, as quais aliam a produção agropecuária com a conservação e a prestação de serviços ambientais. Mas essas soluções devem ser combinadas com o controle na expansão da fronteira agropecuária.

Sozinho, o desmatamento responde por metade das emissões brasileiras (ver gráfico à pág. 11). Outros 27% vêm da atividade agropecuária em si, especialmente da criação bovina. O Brasil, por exemplo, é o quinto maior emissor de metano do mundo, segundo os dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SEEG (Alencar *et al.*, 2022).²

Se a produção predatória prejudica o clima, também é verdade que a crise climática impõe perdas à produção como um todo e leva à inflação de alimentos. Entre 2018 e 2022, a agropecuária brasileira sofreu queda no índice Produtividade Total dos Fatores de 1%, depois de registrar elevações significativas de 3% durante décadas, segundo o USDA, Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.³ De acordo com o Departamento Intersindi-

cal de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese), em 2024, o preço da cesta básica aumentou em 16 das 17 capitais brasileiras analisadas em função das questões climáticas, o que afeta especialmente a população de renda mais baixa.

Situações como essas demandam soluções cada vez mais eficazes de adaptação e mitigação.

Embora o Brasil apresente alta qualidade de produção e fortes atributos ambientais, a degradação da Amazônia, o desmatamento ilegal, as queimadas e a grilagem de terra – que não necessariamente estão ligadas à estrutura produtiva – alimentam a imagem negativa que é explorada em disputas comerciais

A reputação da atividade agropecuária brasileira sempre esteve em pauta nas negociações do comércio internacional. Flancos na sustentabilidade e sanidade da produção geralmente são usados em defesa de interesses protectionistas dos países concorrentes. Embora o Brasil apresente alta qualidade de produção e fortes atributos ambientais, a degradação da Amazônia, o desmatamento ilegal, as queimadas e a grilagem de terra – que não necessariamente estão ligadas à estrutura produtiva – alimentam a imagem negativa que é explorada em disputas comerciais.

Além disso, concorrentes como os americanos, por exemplo, afirmam produzir a soja de menor impacto de carbono no mundo, o que não se deve exatamente à prática agrícola em si, “dentro da porteira”, mas ao que ocorre fora dela. Como o transporte dos insumos e dos grãos é predominantemente feito em trens e barcaças fluviais, o complexo do sistema agroindustrial americano consegue reduzir suas emissões de carbono.



Isso mostra a importância de o Brasil investir na descarbonização dos transportes e da logística (*mais sobre energia de baixo carbono à pág. 93*), o que, somado à capacidade de descarbonização da atividade agropecuária em si, pode fazer do Brasil o país mais competitivo do mundo em termos de emissões – desde, claro, que o desmatamento também seja debelado (*mais sobre soluções florestais à pág. 57*).

A derrubada de florestas e as queimadas, que no período seco são usadas para abrir áreas, estão intrinsecamente ligadas à ilegalidade fundiária. O processo começa com a grilagem, ou seja, a apropriação indevida de terras geralmente públicas. Para dar uma destinação econômica à área com o intuito de futuramente registrar ou regularizar a terra, a ação mais simples e barata consiste em retirar a vegetação nativa, jogar sementes de capim e colocar algumas poucas cabeças de gado para pastar, impedindo que a floresta rebrote. Enquanto a pecuária produtiva no Sudeste e no Centro-Oeste chega a ter 7 a 8 cabeças de gado, a Amazônia tem 0,8 cabeça por hectare.

Com o passar do tempo, essa pecuária não produtiva e ilegal não se sustenta. Se o grileiro não conseguir regularizar a área, ele a abandona. Com isso, há mais de 20 milhões de hectares que foram grillados, desmatados e abandonados na Amazônia. De acordo com mapeamento recente sobre a saúde do solo da América Latina e Caribe, liderado por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), 38% dos solos da América Latina e Caribe estão degradados, enquanto a média mundial é de 33,3%.

Quando o Estado retoma a terra ou mesmo quando o invasor consegue a regularização e vende a propriedade, esta área passa a ser utilizada pela agricultura.

Nesses casos, a agricultura não é a origem do processo de desmatamento – a causa é patrimonial –, mas passa a ser a resultante, o que traz prejuízos reputacionais à atividade, sendo relacionada ao desmatamento.

O caminho, portanto, passa por vencer a ilegalidade no Brasil e implementar definitivamente o Código Florestal aprovado em 2012, que prevê o registro da propriedade no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e, no caso de necessidade de regularização de passivos ambientais, no Programa de Regularização Ambiental (PRA).



Em 2024, apenas 3,3% das análises do Cadastro Ambiental Rural (CAR) haviam sido concluídas, segundo relatório do Climate Policy Initiative (CPI), da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)⁴. Mas, segundo a iniciativa Diálogo Florestal, houve um aumento de 12% nas análises iniciadas no último ano. Mais de 1 milhão de CARs já passaram por análise, representando cerca de 15% de todos os cadastros no Brasil.

A baixa validação do CAR impede os proprietários de desfrutarem de uma série de instrumentos financeiros da nova economia verde, como créditos de carbono, créditos de biodiversidade e Pagamento por Serviços Ambientais, além de não terem acesso a financiamentos bancários. É uma situação de insegurança jurídica que afasta potenciais investidores em programas como Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) ou de restauração florestal, por exemplo.

As restrições de financiamento não se atêm aos casos de não-conformidade com a legislação ambiental – o que é essencial para coibir a ilegalidade. Na outra ponta, os produtores mais alinhados com práticas de sustentabilidade enfrentam desafios para investir em modalidades inovadoras de produção, como a agricultura regenerativa, que busca melhorar as condições ambientais do solo, usando, por exemplo, bioinsumos.

É que as modalidades de financiamento rural utilizam parâmetros com base na agricultura convencional, para a qual já existe um histórico de análise de risco sobre a cultura, os eventos climáticos, a forma de controle de pragas e o nível de inadimplência. Mas, para técnicas mais recentes, esse histórico não existe, o que reduz a oferta de crédito.

A mesma incerteza acomete o produtor rural. Migrar de um modelo convencional para um regenerativo implica assumir novos riscos. Por mais que a crise climática imponha a necessidade de mudanças, o produtor rural precisa se sentir seguro em relação às variáveis de um novo sistema produtivo. Para isso, é necessário desenhar instrumentos de financiamento inovadores, capazes de amortecer riscos, até que a atividade regenerativa se comprove mais competitiva e resiliente que a convencional.

Para lidar com isso, o governo federal reformulou o Programa ABC+⁵, que passou a se chamar RenovAgro, voltado para investimento em práticas de adaptação e mitigação climática, tais como recuperação de pastagens degradadas, sistemas orgânicos de produção; plantio direto na palha, sistemas integrados, regularização de passivo ambiental, manejo de resíduos, manejo de solos e uso de bioinsumos. Os financiamentos estão disponíveis em instituições que distribuem recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O valor inicial previsto para o RenovAgro no Plano Safra 2023/24 foi de R\$ 6,9 bilhões.⁶

Caminhos maduros, em ascensão e promissores no campo



Entre as soluções mais maduras adotadas no Brasil, ou seja, que já comprovaram resultados amplos e positivos, está o Sistema de Plantio Direto. O País é protagonista incontestante nesta técnica que substitui a aragem, protege o solo e evita emissões. O sistema hoje responde por 95% da produção agrícola brasileira, que lidera a aplicação no mundo, seguida pelos Estados Unidos e pela Argentina. A essa tecnologia adiciona-se a cobertura ou adubação verde, que é o plantio de espécies destinado a elevar a fertilidade do solo.

Além disso, a megabiodiversidade brasileira contribui para que o País seja o mais competitivo do mundo no uso de bioinsumos – mais um exemplo de solução madura. O Brasil lidera globalmente tanto o uso de biofertilizantes como de defensivos biológicos. O tamanho do mercado é de R\$ 5 bilhões em vendas em um ano, sendo que a média de crescimento é quatro vezes maior que a mundial. O Brasil tam-

bém lidera globalmente a prática de agricultura de precisão, que direciona a aplicação de fertilizantes e agrotóxicos apenas onde é necessário, reduzindo custos e impactos ambientais.

As que estão em processo de amadurecimento, ou em ascensão, incluem os sistemas integrados, como aqueles entre lavoura e pecuária (ILP) e entre lavoura, pecuária e floresta (ILPF). Segundo a Rede ILPF, a área desses sistemas atingiu entre 15 milhões e 17,4 milhões de hectares.

Outra solução em alta é a pecuária regenerativa, que se vale de diversificação de forragens, uso de sistemas integrados e cultivos mistos de gramíneas e leguminosas com alto teor de recuperação da fertilidade do solo, manejo dos períodos de cria, melhoria e diversificação das raças e alimentação para o gado que reduz as emissões de metano. Redução significativa também já foi obtida pelo encurtamento do tempo de abate de bovinos.

Uma solução promissora, ou seja, com alto potencial de crescimento e resultados para clima e natureza, é a recuperação de pastos degradados. Há pelo menos 28 milhões de hectares de áreas de pastagens em degradação com potencial para conversão em agricultura, reflorestamento, aumento da produção pecuária ou até para produção de energia. Se essa área fosse usada para o cultivo de grãos, haveria um aumento de 35% na área total plantada no Brasil.

Outra com grande potencial é a mensuração do sequestro de carbono no solo, que somente com a adoção de plantio direto e sistemas integrados, soma 30 milhões de toneladas de carbono por ano, segundo o CCarbon – primeiro centro de pesquisa sobre carbono em clima tropical do mundo. As medições da remoção de carbono no solo pela atividade agrícola são importantes para que o setor produtivo possa melhor contabilizar seu balanço de emissões e monetizar as atividades com atributos ambientais.

Também são promissoras as iniciativas de economia circular no agronegócio, em que fazendas buscam fechar o ciclo de produção, com aproveitamento de resíduos e dejetos e geração própria de energia renovável (*saiba mais à pág. 186*).

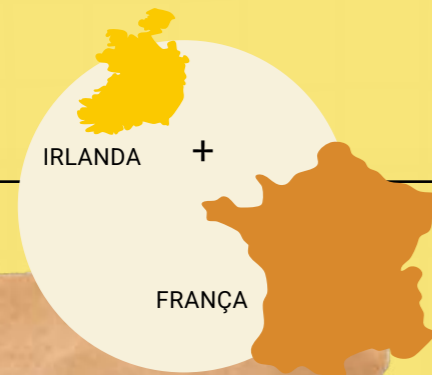
Os atributos ambientais das soluções têm benefícios também de ordem social, como melhores condições de vida para agricultores e pecuaristas, reduzindo o uso de produtos tóxicos, promovendo um meio ambiente mais saudável, e garantindo a segurança alimentar em um cenário de mudança climática. Na pecuária, por exemplo, a adoção de práticas que atendem a critérios de sustentabilidade por pequenos produtores permite a sua inclusão na cadeia de fornecedores das grandes indústrias, com maior geração de renda, saúde e segurança, além do combate às atividades informais e ilegais.

A seguir, detalhes dessas e de outras soluções mapeadas.



Tecnologias “poupa-terra”

Uma série de técnicas adotadas pelo Brasil com o objetivo de aumentar a produtividade somase a uma nova fronteira de inovação tecnológica

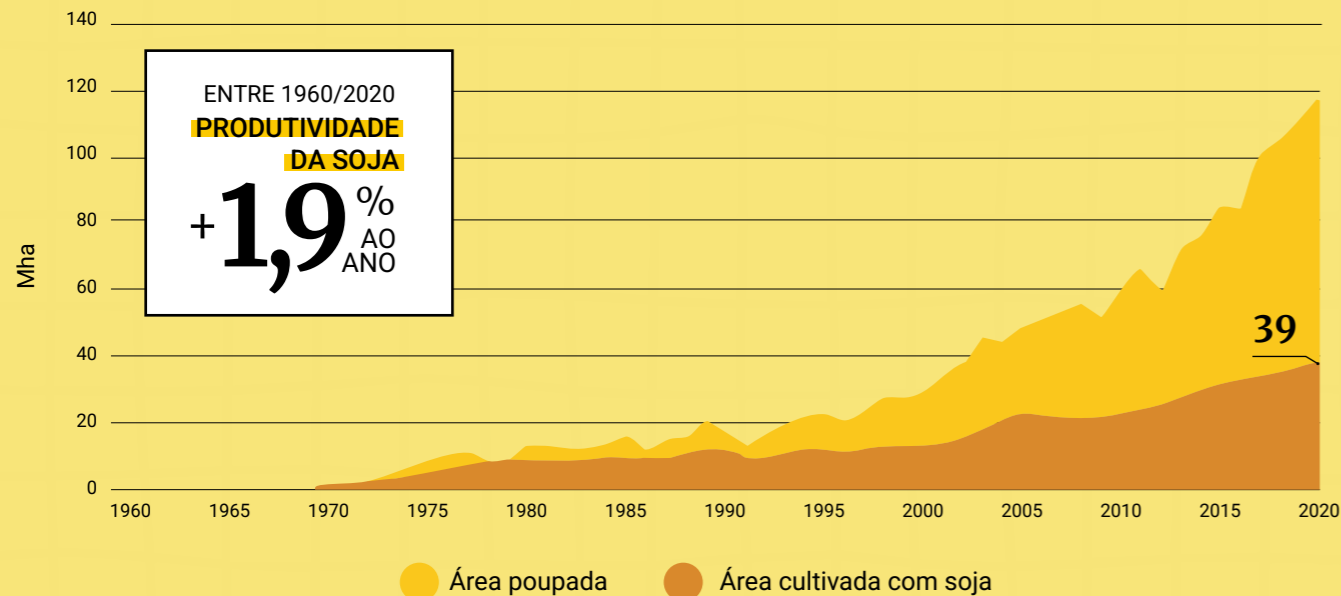


71 milhões
de hectares de áreas plantadas,

o que corresponde à soma dos territórios de Irlanda e França, foi a área poupada entre 1960 e 2020 no Brasil – somente no caso da soja – pelo emprego das chamadas tecnologias “poupa-terra”, que, por consequência, evitam a emissão de GEE ao reduzir a necessidade de expansão da fronteira agrícola.

EFEITO DAS TECNOLOGIAS “POUPA-TERRA”

ÁREA POUPADA NA PRODUÇÃO DE SOJA (EM MILHÕES DE HECTARES)



Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) 2020

As tecnologias poupa-terra incluem sistemas como plantio direto, uso de bioinsumos, entre eles a fixação biológica de nitrogênio, rotação de culturas e sistemas integrados de lavoura, pecuária e floresta (ILPF). Um exemplo do aumento da produtividade é o fato de o Brasil ser capaz de colher pelo menos duas grandes safras por ano na mesma área: 80% da produção de milho é feita na terra onde se colheu soja.

Esse aproveitamento faz com o que o Brasil pontue bem nas estatísticas da Food and Agriculture Organization (FAO). No indicador de uso de frequência do solo (*cropping frequency*), ou seja, quanto se colhe por unidade de área, o Brasil apresenta dado 30% superior à média global.

SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD)

Para arejar as terras congeladas pelo inverno no Hemisfério Norte, os agricultores precisam de arados. Mas essa técnica, quando importada pelo Brasil, levou a processos erosivos que derrubaram a produtividade da agricultura nacional. Foi então que o agricultor Herbert Arnold Bartz, de Rolândia (PR), pesquisou e trouxe para o País, nos anos 1970, uma técnica criada nos Estados Unidos que previa plantar diretamente sobre a palhada da safra recém-colhida, sem mudar a estrutura do solo, usando um maquinário específico.

Nascia no Brasil o Sistema Plantio Direto, tecnologia que veio a ser desenvolvida pela Embrapa e se consolidou amplamente em todo o País. A técnica protege a superfície do solo da erosão, assoreamento e compactação, diminui a taxa de evaporação, aumenta o armazenamento de água do solo e controla a temperatura na camada superficial. Isso favorece o crescimento de organismos no solo e o aumento da matéria orgânica, resultando em maior produtividade dos cultivos (Heckler; Salton, 2002).⁷

O sistema utiliza, portanto, a biodiversidade a favor do sistema produtivo e contribui para a adaptação a eventos climáticos extremos, como secas. Por não revolver a terra, evita ainda a emissão do carbono do solo que iria para a atmosfera.

O plantio direto hoje responde por 95% da produção agrícola brasileira, que lidera a aplicação no mundo, seguida pelos Estados Unidos e pela Argentina.

A essa técnica adiciona-se a cobertura ou adubação verde, que é o plantio de espécies destinado a elevar a fertilidade do solo.



BIOINSUMOS

A substituição de fertilizantes nitrogenados por bioinsumos (produto, processo ou tecnologia de origem biológica, como vegetal, animal ou microbiana, usado na agricultura⁸) é uma importante solução para a mitigação climática, uma vez que evita a geração no solo de óxido nitroso (N₂O), que tem potencial de aquecimento global quase 300 vezes maior que o dióxido de carbono (CO₂).

Por ser baseado na variedade biológica, o uso de bioinsumos abre um leque de possibilidades de aplicação maior que o de produtos químicos. Outra vantagem é aumentar a independência nacional, especialmente em cenários macroeconômicos e geopolíticos incertos, como a guerra na Ucrânia, importante fornecedor de insumos para o Brasil – que ainda importa 87% dos fertilizantes que utiliza, de acordo com o Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços.

Aumentar a produção de bioinsumos com base na biodiversidade tropical é, portanto, uma estratégia que fortalece a soberania brasileira. O marco legal⁹ dos bioinsumos foi aprovado em 2024 e atualmente se encontra em processo de regulação.

**O BRASIL LIDERA GLOBALMENTE
TANTO O USO DE BIOFERTILIZANTES
COMO DE DEFENSIVOS BIOLÓGICOS**

R\$ 5 bilhões
EM VENDAS EM UM ANO

4X maior
QUE A MUNDIAL É A MÉDIA
DE CRESCIMENTO

+148%
EM APLICAÇÃO NAS ÁREAS
AGRÍCOLAS BRASILEIRAS



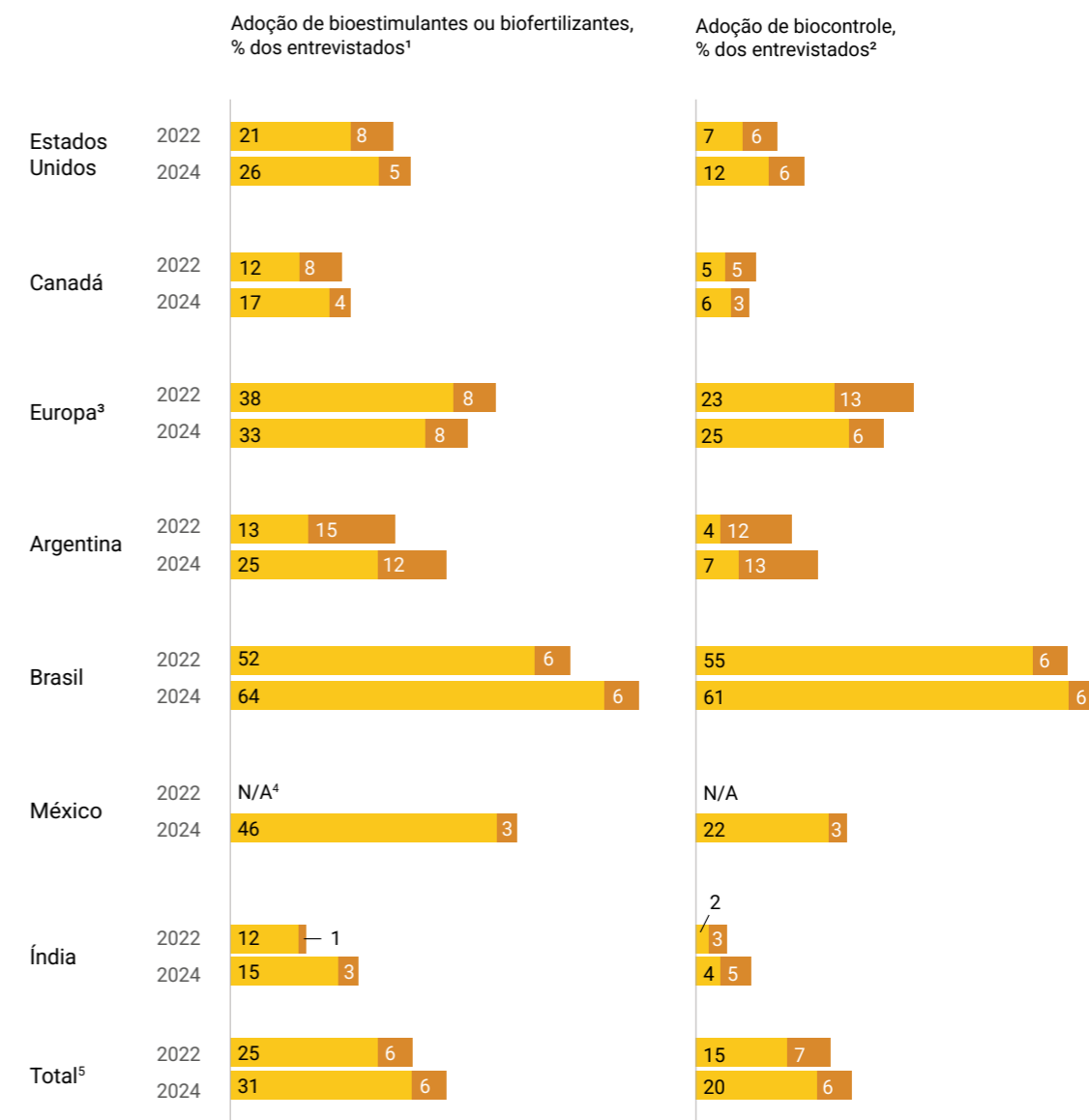
[soluções]

A megabiodiversidade brasileira contribui para que o País seja o mais competitivo do mundo no uso de bioinsumos. O Brasil lidera globalmente tanto o uso de biofertilizantes como de defensivos biológicos, como mostra o relatório da McKinsey *Global Farmer Insights 2024*. De acordo com a Embrapa, há mais de 600 produtos registrados no mercado brasileiro de bioinsumos com diferentes usos.

Segundo a CropLife, o tamanho do mercado no Brasil é de R\$ 5 bilhões em vendas em um ano, sendo que a média de crescimento é quatro vezes maior que a mundial. Segundo informações do CCarbon, Centro de Estudos de Carbono em Agricultura Tropical que dedica um de seus projetos a pesquisas sobre bioinsumos, houve um aumento de 148% no último ano em aplicação nas áreas agrícolas brasileiras – em nenhum lugar do mundo o uso aumentou tanto.

**UTILIZAÇÃO E PLANEJAMENTO DE USO DE BIOFERTILIZANTES
E DE CONTROLE BIOLÓGICO**

Utilizado Planejado



¹ Pergunta: Você utiliza bioestimulantes ou biofertilizantes em seu protocolo de fertilização?

² Pergunta: Você utiliza formas alternativas de proteção de culturas em seu protocolo de manejo de pragas?

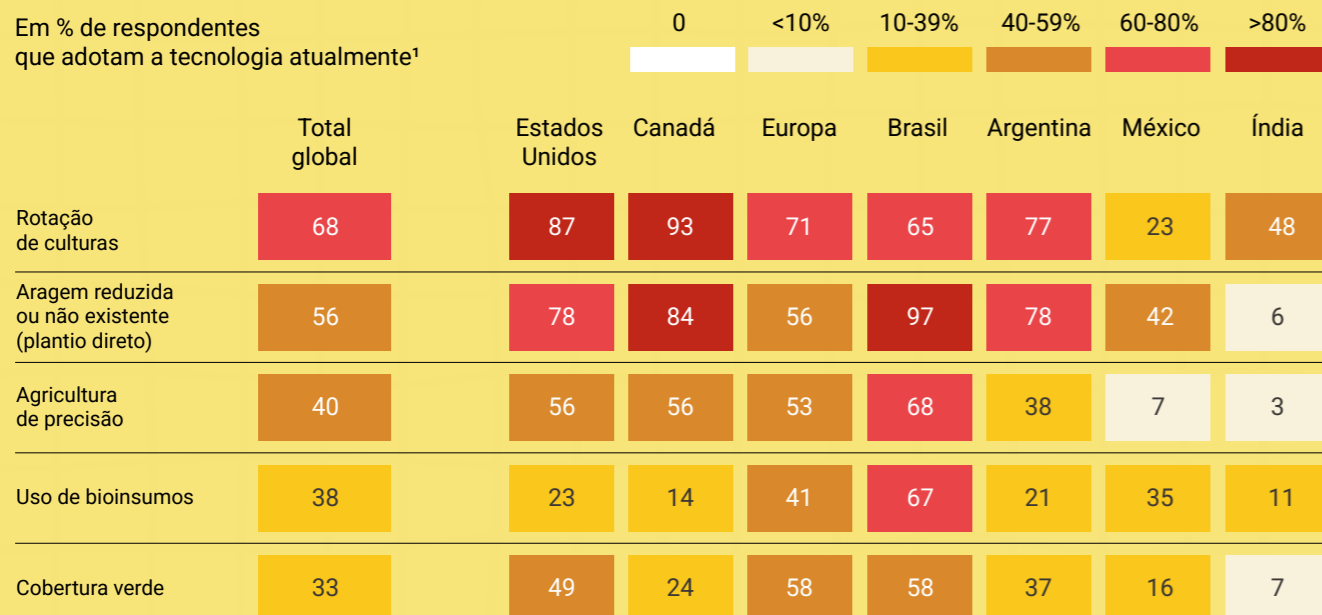
³ França, Alemanha e Holanda.

⁴ O México não participou desta pesquisa em 2022.

⁵ A média total de 2024 exclui o México, portanto as amostras são comparáveis.

ADOÇÃO DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS MAIS SUSTENTÁVEIS

BRASIL LIDERA USO DE PLANTIO DIRETO, AGRICULTURA DE PRECISÃO, BIOINSUMOS E COBERTURA VERDE, SEGUNDO PESQUISA



¹ Pergunta feita na pesquisa: "Qual o seu nível de adoção das seguintes práticas?". (A adoção implica o uso de uma determinada prática sustentável em qualquer parte da operação e não indica necessariamente o uso em 100% da área.)

Fonte: McKinsey Global Farmer Insights 2024

Embora haja uma série de inovações em curso nesse campo, algumas técnicas que utilizam processos biológicos na produção já estão há décadas consolidadas no Brasil, como a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) e o uso de agentes como insetos, fungos, vírus e bactérias para o controle de pragas.

A FBN é realizada por bactérias presentes ou adicionadas no solo, reduzindo a necessidade de adubação química nitrogenada. Isso diminui não só o custo da produção agrícola como a contaminação dos mananciais (rios, lagos e lençóis freáticos) e ainda melhora a saúde do solo, reequilibrando os micro-organismos. A

técnica é usada comercialmente em leguminosas, como soja e feijão desde os anos 1980, contabilizando mais de 30 milhões de hectares sem adição de nitrogênio de fonte fóssil. Hoje, praticamente 100% da soja brasileira já é produzida com fixação biológica de nitrogênio.

Segundo a Embrapa, há uma tendência de intensificação do uso de FBN em outras culturas, como milho e gramíneas, e para recuperação de áreas degradadas. Soluções também vêm sendo pesquisadas para solubilizar o fósforo no solo por meio de bactérias e, assim, reduzir a dependência da agricultura brasileira na importação do insumo.

AGRICULTURA REGENERATIVA: O QUE É, AFINAL?

A expressão "agricultura regenerativa" foi cunhada na década de 1980 por Robert Rodale, um editor americano adepto da agricultura orgânica. Para Rodale, a agricultura regenerativa prioriza a saúde do solo e, ao mesmo tempo, abrange altos padrões de bem-estar animal e justiça para o trabalhador.¹⁰

Atualmente, entende-se que a agricultura regenerativa não deve ser conceituada

por suas práticas, mas pelo resultado delas. E o resultado da agricultura regenerativa é sobretudo uma avaliação sobre a qualidade do solo. Se, do ponto de vista da análise química, física e biológica aquele solo está melhor, ele está sendo regenerado. Essa melhora pode se dar por meio de diversas práticas, como plantio direto, bioinsumos, rotação e integração de culturas (ILP e ILPF) – previstas em planos como o ABC+, sucedido pelo RenovAgro.

ROTAÇÃO DE CULTURAS E SISTEMAS INTEGRADOS

O Brasil tem avançado em sistemas integrados, que alinham o plantio direto com a rotação de culturas dentro de um mesmo sistema de produção. Um deles é a Integração Lavoura Pecuária (ILP), que geralmente combina uma cultura anual com pastagem. Ao inserir o plantio de árvores nesse sistema – como eucalipto e pinus para a produção madeireira – é feita a Integração Lavoura Pecuária e Floresta. A Embrapa Agro Silvo Pastoral em Sinop (MT) tem experimentos também com árvores frutíferas.

Combinar diversas culturas em uma área em sistemas integrados é uma prática ancestral, mas foi no Brasil onde se alcançou uma escala produtiva inédita. Segundo a Rede ILPF, formada pela Embrapa e por cooperativas, bancos privados e empresas do agronegócio, a área desses sistemas atingiu entre 15 milhões e 17,4 milhões de hectares no País em 2020 (Polidoro *et al.*, 2020).

De acordo com o artigo *Pecuária bovina regenerativa na América Latina e no Caribe, muito além do oxímoro*¹¹, o ILPF produz alimentos ao mesmo tempo em que provê serviços ecossistêmicos e contribuem para a geração

de empregos. Enquanto na pecuária convencional um novo posto de trabalho é gerado a cada mil bois, no sistema ILPF há a geração de mais de um emprego direto para cada 100 hectares de pastagem (Oliveira *et al.*, 2013).

Ainda segundo o artigo, o sistema integrado aumenta em 20% a produtividade da soja cultivada nessas áreas, em pelo menos cinco vezes a taxa de lotação do pasto, em oito vezes a produtividade de carne e reduz em um ano a idade de abate, o que leva à diminuição de, pelo menos, um quarto de metano por quilo de carne produzida (Oliveira *et al.*, 2013; Garrett *et al.*, 2020).

Além disso, sob um pastejo de intensidade moderada, o sistema resulta em melhores níveis de estoque de carbono, maior produção de forragem, ganho de peso vivo e maior resistência a eventos climáticos moderados e extremos (Delandmeter *et al.*, 2024).

Isso, de acordo com o *paper*, ocorre porque a presença de herbívoros domésticos desempenha um papel positivo no ciclo de carbono (Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano, 2020) e auxilia na maior produção de biomassa por meio do estrume e urina durante o período de pastoreio ou como resíduo final da temporada (Delandmeter *et al.*, 2024). Esse acúmulo de matéria orgânica no solo ainda tende a aumentar a resiliência dos sistemas a distúrbios climáticos (Franzluebbers, 2010).

SISTEMA INTEGRADO EM NÚMEROS

20%

A MAIS NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA



5x

MAIOR LOTAÇÃO
DO PASTO



8x

MAIS PRODUTIVIDADE
DE CARNE



-1 ano

PARA O ABATE



-25%

METANO POR
QUILO DE CARNE



Práticas regenerativas no Cerrado

O Cerrado, bioma brasileiro com maior número de áreas degradadas, é alvo de um programa chamado Landscape Accelerator - Brazil (LAB), iniciativa conjunta do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (Cebds) e Boston Consulting Group (BCG). Segundo esse grupo, o Brasil pode liderar a transição de grandes paisagens agrícolas para práticas regenerativas até 2030, unindo produtividade e conservação ambiental.

O relatório *Resiliência para o Futuro*¹², desenvolvido pelo BCG, revela que investimentos de US\$ 55 bilhões são capazes de gerar uma oportunidade de até US\$ 100 bilhões (em valor presente líquido) em uma área do Cerrado equivalente à Noruega, contribuindo para aumento de US\$ 20 bilhões anuais no PIB brasileiro até 2050, e redução de emissões de carbono de 140 MtCO₂eq (milhões de toneladas de carbono equivalente).

Nos investimentos em conversão de 23,7 Mha (milhões de hectares) de pastagens degradadas, calcula-se que os produtores possam obter uma taxa interna de retorno (TIR) de 15% a 22%, com retorno de 7 a 9 anos. E, no caso de investimentos em práticas agrícolas regenerativas em 8,6 Mha, o retorno previsto é de 16% a 29%, em 3 a 5 anos, com integração e rotação de culturas, cobertura verde e bioinsumos.

OPORTUNIDADES NO BIOMA:

US\$ 55 bi
EM INVESTIMENTOS
PARA TRANSFORMAR O
CERRADO GERARIA:

US\$ 100 bi
DE RETORNO
POTENCIAL NA REGIÃO

US\$ 20 bi
ANUALMENTE,
DE IMPACTO NO PIB
ATÉ 2050

140 MtCO₂eq
DE EMISSÕES
EVITADAS

MELHORAMENTO GENÉTICO E BIOTECNOLOGIA



O Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), que fornece variedades de cana-de-açúcar para plantio, lançou para a safra 2025/26 um pacote tecnológico que, segundo a empresa, tem potencial de movimentar R\$ 60 bilhões nos próximos 15 anos, contribuindo para a sua meta de duplicar a produtividade dos canaviais brasileiros até 2040.

O pacote inclui melhoramento genético;

desenvolvimento de cultivares transgênicas mais funcionais (por exemplo, resistentes à broca-da-cana); e pesquisa para plantio de cana com sementes, em vez de toletes. As sementes sintéticas estão sendo desenvolvidas pelo CTC em Piracicaba (SP) e já há plantio experimental com grande sucesso. As novas variedades serão submetidas aos órgãos reguladores para aprovação.

TECNOLOGIAS PARA O CULTIVO REGENERATIVO E ORGÂNICO DE GRÃOS

Uso de bioinsumos e práticas como compostagem e rotação de culturas, que aumentam a saúde do solo e contribuem para o sequestro de carbono, estão no cerne das atividades desenvolvidas pelo Instituto Folio, uma iniciativa sem fins lucrativos. O que nasceu como um projeto da produtora de ovos orgânicos Raiar, para produção de milho orgânico, tornou-se recentemente um instituto. O objetivo é contribuir para um modelo regenerativo e orgânico para o cultivo de grãos, banindo a aplicação intensiva de pesticidas e fungicidas. Além disso, novos implementos agrícolas têm sido testados para remover plantas sem aplicação de herbicidas.

O Folio atua em três eixos: desenvolvimento de tecnologias para transição à agricultura regenerativa, geração e gestão de dados, e troca de conhecimento.¹³ Para isso, estabeleceu uma parceria com a Universidade Federal de

São Carlos (UFSCar), que dedicou parte de sua área de plantio da Fazenda Escola Lagoa do Sino (Fels) a experimentações, em Buri, no sudoeste paulista.

Uma parceria com o Instituto Federal Avaré busca também fornecer conhecimento para produtores sobre bioinsumos *on farm*, ou seja, produzidos diretamente nas propriedades rurais de acordo com as suas necessidades específicas. Há ainda um projeto do Folio com a Embrapa Soja, para a recuperação de áreas degradadas.¹⁴

PECUÁRIA REGENERATIVA

As práticas podem ser regenerativas também na pecuária. Diversificação de forragens, uso de sistemas integrados e cultivos mistos de gramineas e leguminosas com alto teor de recuperação da fertilidade do solo são exemplos de manejos regenerativos que aumentam a produtividade animal. A isso se adiciona o manejo dos períodos de cria, a melhoria e diversifica-

ção das raças e a alimentação para o gado que reduz as emissões de metano. Essas mudanças são acessíveis a produtores de todas as dimensões econômicas, contribuindo para a regeneração da biodiversidade de forma rápida, barata, lucrativa e tecnicamente acessível.¹⁵

São medidas, entretanto, que devem ser acompanhadas de políticas públicas anti-desmatamento e que exijam a rastreabilidade da cadeia produtiva do gado, para impedir que a carne seja originada de áreas desmatadas ilegalmente. Em dezembro de 2024, foi lançado o Plano Nacional de Identificação Individual de Bovinos e Búfalos (Pnib). O programa estabelece um sistema de identificação individual para qualificar a rastreabilidade, dando aos produtores o prazo de adaptação até 2027, quando a adesão será obrigatória para todos os pecuaristas.

Outra proposta, que foi apresentada pela Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (Abiec), Marfrig Global Foods (atualmente MBRF Global Foods) e consultoria Agroicone no fim de 2023, durante a New York Climate Week, é de combinar os dados já disponíveis do Cadastro Ambiental Rural (CAR) da propriedade produtora com os da Guia de Trânsito Animal (GTA), documento já exigido normalmente na comercialização de gado para atender a padrões sanitários.¹⁶

Enquanto se desenvolve no País uma política nacional de rastreabilidade, as maiores indústrias de carne bovina no País, como a MBRF Global Foods, vêm criando, nos últimos anos, técnicas que permitem identificar com mais precisão a origem do gado ao longo dos elos de fornecimento, como as pequenas fazendas de cria e recria. A partir desse mapeamento, evitam a compra de locais relacionados ao desmatamento ilegal, à invasão de Unidades de Conservação e Terras Indígenas, bem como o uso de trabalho análogo à escravidão.

INCLUSÃO SOCIAL DE PEQUENOS PRODUTORES

Para estimular as melhores práticas socioambientais, a MBRF Global Foods condiciona a inclusão dos pequenos produtores à sua cadeia de fornecimento mediante o cumprimento de normas. Com isso, os pequenos proprietários obtêm benefícios como maior renda, regularidade no fornecimento e acesso à assistência técnica e financiamento.

A companhia já monitora 100% dos fornecedores diretos e 88,8% dos indiretos na Amazônia, e 79,6% no Cerrado. A meta é atingir 100% até o fim de 2025. Em 2024, reintegrou mais de 630 fazendas pelo Programa Verde Mais, totalizando 4.194 fazendas desde 2021, e cadastrou 151 novos produtores no Programa Bezerro Sustentável. Em parceria com a IDH, fundação holandesa que financia projetos de produção sustentável de *commodities*, o programa apoia produtores, especialmente em Mato Grosso, com o objetivo de aumentar a produtividade do rebanho, adequar práticas ao meio ambiente e promover a conservação e recuperação de florestas.

Primeira empresa de proteína animal nas Américas a ter suas metas de redução de emissões aprovadas pela Science Based Targets initiative (SBTi), o grupo tem como metas reduzir em 68% as emissões dos escopos 1 e 2 (relativos à operação industrial e ao uso de eletricidade) e em 33% as emissões do escopo 3 (relativas à cadeia de fornecedores) até 2035.

AGROPECUÁRIA REGENERATIVA EM LARGA ESCALA: UM CASO PRÁTICO

Entre as propriedades que adotam as práticas regenerativas em grande escala está a Fazendas Reunidas Baumgart, em Rio Verde (GO), com foco na criação de gado Nelore e cultivo de arroz, soja, milho e sorgo, em área de 25 mil hectares. Em interação com o meio acadêmico, a fazenda participa de estudos para melhoria e aperfeiçoamento de técnicas para aplicação na agricultura e pecuária, como plantio direto, bioinsumos, alta tecnologia em agricultura de precisão, segundo informações do Grupo Baumgart. O combate de pragas é feito por um sistema robotizado, guiado por drone e GPS, que aplica o produto apenas no local necessário, permitindo economia de custos, redução de impacto ambiental, melhores condições de saúde e segurança para os trabalhadores e aumento de produtividade.

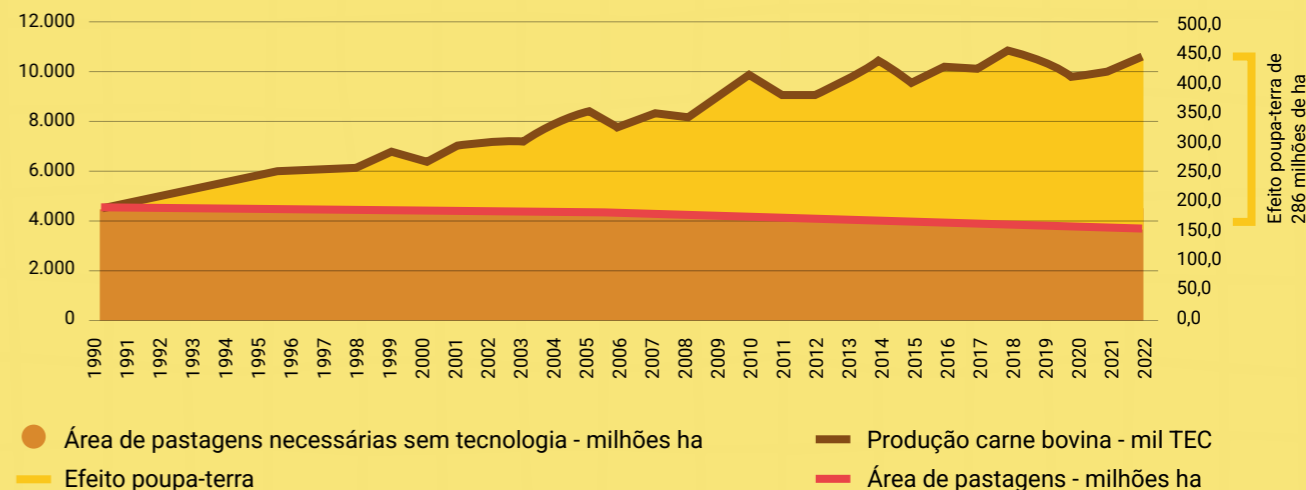
Em paralelo a essas estratégias empresariais, uma ação de mercado tornou-se emblemática por elevar a produtividade na pecuária e, consequentemente, reduzir as emissões de forma significativa. A China, que absorve 60% das exportações de carne do Brasil, pedia uma carne mais suculenta e com menor risco sanitário, dispendo-se a pagar 10% a 15% a mais para quem reduzisse a idade de abate a 30 meses. Os produtores brasileiros, que abatiam o boi com cerca de 5 anos, tiveram de investir na melhoria de pasto de forma a engordar o boi em menos tempo.

Como resultado, houve uma recuperação das pastagens e menor emissão de metano por boi abatido, devido ao encurtamento do tempo de vida. O caso ficou conhecido como "Boi China".



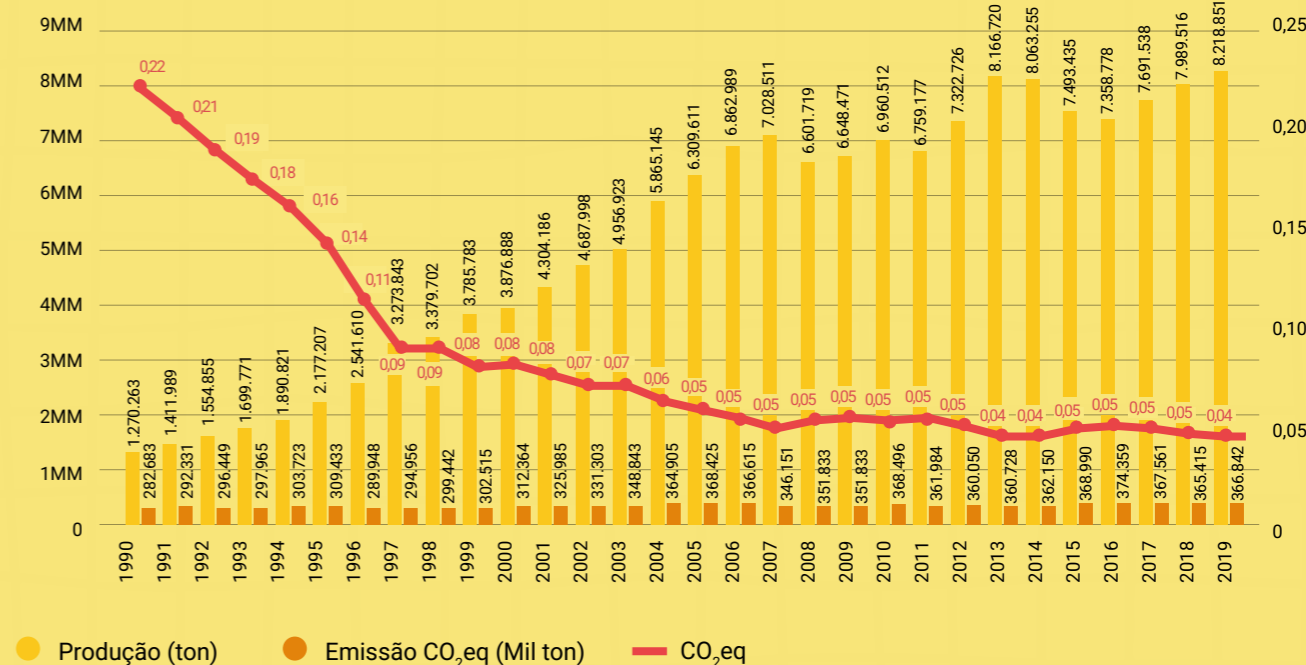
EFEITO POUQA-TERRA NA PECUÁRIA

ÁREA DE PASTAGEM QUE SERIA NECESSÁRIA PARA PRODUZIR A MESMA QUANTIDADE DE CARNE BOVINA CONSIDERANDO A TECNOLOGIA DE 30 ANOS ATRÁS



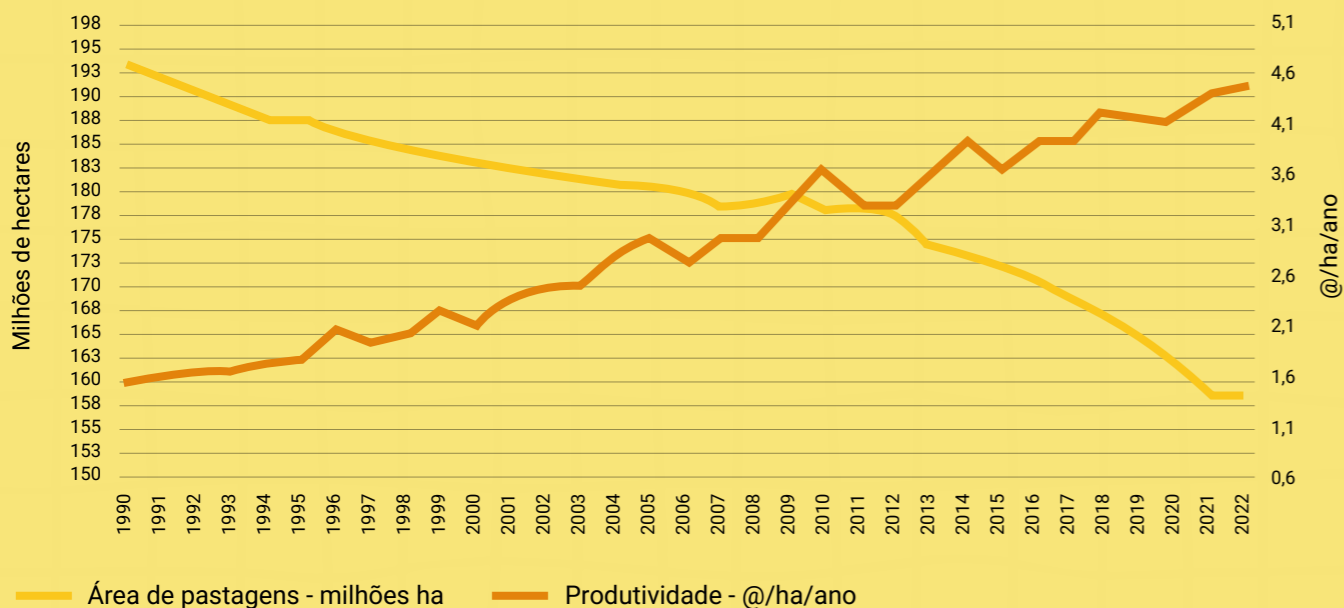
Fonte: Athenagro, dados IBGE (PPM, PPT, PAM, Censo), INPE (TerraClass/Prodes), Lapig, Rally da Pecuária, Embrapa

EMISSIONES POR TONELADA DE CARNE PRODUZIDA



Fonte: SEEG

EVOLUÇÃO DA ÁREA DE PASTAGEM E PRODUTIVIDADE PECUÁRIA NO BRASIL



Fonte: Athenagro, dados IBGE (PPM, PPT, PAM, Censo), INPE (TerraClass/Prodes), Lapig, Rally da Pecuária, Embrapa

RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS

Os pastos no Brasil ocupam 177 milhões de hectares, dos quais 109,7 milhões de hectares (60%) com algum nível de degradação: 40% apresentam médio vigor vegetativo (degradação intermediária) e 20%, baixo vigor (degradação severa), segundo a Embrapa¹⁷. Desse total, há pelo menos 28 milhões de hectares de áreas de pastagens em degradação com potencial para conversão em agricultura, reflorestamento, aumento da produção pecuária ou até para produção de energia. O volume de hectares equivale ao tamanho do estado do Rio Grande do Sul, segundo a Agência Brasil. Se essa área fosse usada para o cultivo de grãos, haveria um aumento de 35% na área total plantada no Brasil.¹⁸

Um estudo realizado pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (Lapig - UFG) verificou expressiva redução no número de propriedades com áreas de pastagens com degradação severa e moderada entre 2010 e 2018. O estudo aponta que, no mesmo período, foram recuperados 26,8 milhões de hectares de pastagens degradadas, número bem superior à meta estabelecida pelo Plano ABC, de 15 milhões de hectares. A área recuperada foi maior que o território do Reino Unido, que tem aproximadamente 24,2 milhões de hectares.¹⁹

SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO

Além de reduzir as emissões de GEE na atmosfera, a adoção de práticas de manejo regene-

rativas pode aumentar o sequestro de carbono no solo. O solo representa o maior reservatório terrestre de carbono da Terra e é um importante sumidouro de carbono da atmosfera.

Parte do carbono retirado da atmosfera pelas plantas via fotossíntese se transforma em tecido vegetal, como folhas, galhos e troncos. E parte desse carbono no tecido vegetal é inserida no solo. Os responsáveis por esse sequestro são os organismos com diâmetro corporal menor que 0,1 milímetro, como bactérias, protozoários, fungos, algas e leveduras. Um solo rico em microorganismos está apto, portanto, a sequestrar mais carbono, contribuindo para o combate à mudança do clima.

No entanto, é preciso aumentar o nível de conhecimento sobre o potencial de sequestro de carbono em larga escala na agricultura tropical. Para isso, a Universidade de São Paulo (USP) criou há um ano e meio, na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) o CCarbon, o primeiro centro do mundo voltado a estudos de carbono no clima tropical. O centro, com 30 projetos, é financiado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).²⁰

O CCarbon tem a incumbência de desenvolver tecnologia e métodos a partir de tropicalização de protocolos utilizados em países de clima temperado, considerando as características dos seis biomas do Brasil.

Os pesquisadores já obtiveram alguns achados. No Sistema de Plantio Direto, adotado em aproximadamente 30 milhões de hectares, o sequestro de carbono é de 15 milhões de toneladas todo ano, considerando uma média ponderada das regiões brasileiras de 0,5 tonelada de carbono sequestradas por hectare.



POLÍTICAS PARA ÁREAS DEGRADADAS

Áreas degradadas emitem carbono ao mesmo tempo em que são improdutivas. A sua recuperação representa, portanto, uma solução em larga escala tanto para as emissões brasileiras como para a produtividade econômica e a geração de emprego e renda.

Diante disso, foi criado o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis (Decreto nº 11.815/2023). Foi ainda lançada uma linha de crédito com a expectativa de ofertar US\$ 10 bilhões aos produtores interessados em recuperar as áreas. Os recursos virão de uma linha de *blended finance* do Fundo Clima. Para colocar o programa em prática, a Embrapa publicou em um livro mais de 30 sugestões de políticas públicas nas quais o País reúne experiência e tecnologia para sua implantação.²¹

IA e agricultura regenerativa no Xingu

A partir de uma parceria entre SLC Agrícola, Agro Penido, Agrorobótica e Embrapa Instrumentação, foi criado o programa Carbono Xingu, uma iniciativa que une IA, agricultura regenerativa e grandes fazendas da região do Xingu, em Mato Grosso. O objetivo é transformar propriedades rurais em usinas de sequestro de carbono por meio de práticas agrícolas regenerativas, como plantio direto, ILPF e bioinsumos. O projeto vai monitorar uma área de 18.960 hectares nas fazendas Darro, Água Viva e Pioneira, utilizando o sistema AGLIBS, desenvolvido pela Agrorobótica com a Embrapa Instrumentação.

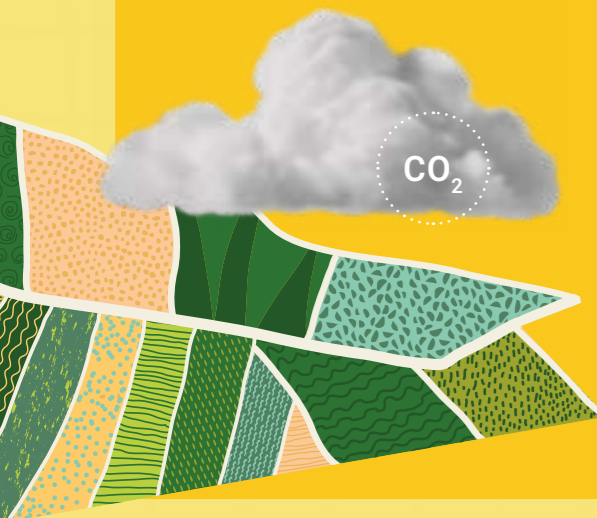
O sistema usa espectrometria a laser e inteligência artificial para colher informações sobre carbono e fertilidade do solo – a mesma tecnologia empregada pela NASA nas missões em Marte, com o robô Curiosity, patenteada, certificada pela ISO 17025 e adaptada para grandes escalas agrícolas. As informações são armazenadas na nuvem e transformadas em laudos, que orientam o manejo. A partir disso, serão gerados créditos de carbono para negociação no mercado voluntário, com certificação da metodologia Verra VM0042.^{22 23}

Nos sistemas integrados, como ILP e ILPF, a capacidade de sequestro desses sistemas integrados é no mínimo o dobro do plantio direto. Considerando o valor conservador de 1 tonelada de carbono sequestrado por hectare por ano e 15 milhões de hectares em sistemas integrados, são mais 15 milhões de toneladas de carbono.

O centro considera que 90 milhões de hectares de pastos se encontram em algum grau de degradação, o que leva à emissão de carbono. Mas, ao recuperar essas áreas, o solo passa a sequestrar carbono. O CCarbon calculou o valor de 0,3 a 0,4 toneladas de carbono seques-

tradas por hectare, por ano, quando aplicadas técnicas de recuperação de pastagens degradadas. Este valor, se multiplicado pelos 90 milhões de hectares degradados, resulta em até 36 milhões de toneladas de carbono sequestrado – mais do que o sequestro no plantio direto e nos sistemas integrados juntos. A soma-tória de todos esses sistemas chegaria a nada menos que 66 milhões de toneladas anuais.

Isso mostra que a agricultura, a pecuária e a silvicultura, quando bem conduzidas, passam a ser parte essencial da solução climática e também para aumento da produtividade. Isso











porque o carbono no solo encontra-se na forma de frações orgânicas que melhoram a saúde da terra e tornam esse ambiente melhor para o desenvolvimento da planta.

Esses números, entretanto, ainda não são contabilizados inteiramente no Inventário Nacional de Emissões de GEE do Brasil, que calcula as remoções de carbono apenas no caso de uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF, na sigla em inglês).

As medições da remoção de carbono no solo pela atividade agrícola são importantes para que o setor produtivo possa melhor contabilizar seu balanço de emissões e monetizar as atividades sob o ponto de vista de pagamento de serviços ambientais, mercado de crédito de carbono, *green bonds* e *premium price* de produtos, em que há agregação de valor devido aos atributos socioambientais. (Leia também sobre práticas de economia circular em agricultura e pecuária à pág. 186).

O peso da mudança no uso da terra, florestas e agropecuária

PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO E REMOÇÃO DE CARBONO CONTABILIZADAS NO INVENTÁRIO NACIONAL

| CATEGORIAS | GASES MAIS RELEVANTES | FATOS RELEVANTES SOBRE OS RESULTADOS EM 2022 |
|---|-----------------------|---|
| Área convertida para Campo e Pastagem  | Dióxido de carbono |  Maior fonte de emissão do Brasil e do setor, sendo responsável de 47% do total de emissões CO ₂ eq do país. A maior parte das emissões são da conversão de florestas nativas para pastagens. |
| Área convertida para Agricultura  | Dióxido de carbono |  Segunda maior fonte de emissão do setor e responsável por 9% do total de emissões CO ₂ eq do Brasil. |
| Floresta permanecendo Floresta  | Dióxido de carbono |  Maior fonte de remoção do Brasil, com 77% das remoções totais de CO ₂ eq. |
| Produtos florestais madeireiros  | Dióxido de carbono |  Segunda maior fonte de remoção do Brasil, representando 15% das remoções totais de CO ₂ eq. |

Fonte: Cartilha Entenda o Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – As dúvidas mais frequentes explicadas de modo acessível

AGRICULTURA ORGÂNICA DE LARGA ESCALA

Uma empresa pioneira em agricultura regenerativa, por meio da produção orgânica em larga escala, é a Usina São Francisco (UFRA), do Grupo Econômico Balbo, detentora da marca Native. Localizada em Sertãozinho (SP), é uma das maiores produtoras e exportadoras de açúcar orgânico do mundo.

Já em 1982, a usina instalou uma biofábrica para produção de inimigos naturais da broca-da-cana, inaugurando assim um sistema bem-sucedido de controle biológico.

Ao mesmo tempo, foram estabelecidos os primeiros viveiros de produção de mudas de árvores nativas brasileiras, especificamente com o objetivo de reflorestar as Áreas de Preservação Permanente em suas propriedades.

Nos maciços florestais reconstituídos, foram registradas até o momento 340 espécies de animais vertebrados, das quais 49 estão sob algum risco de extinção, de acordo com a lista atual da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Segundo a UFRA, essa biodiversidade é 23 vezes maior que a comumente encontrada em canaviais convencionais na região.

Desde 2006, a Native realiza periodicamente o inventário das emissões de GEE da produção orgânica regenerativa de cana, açúcar e álcool da UFRA, baseado no GHG Protocol, modelo internacional de

[soluções]



quantificação das emissões. A avaliação considerou desde a produção agrícola de cana e o consumo de insumos, a fase industrial da produção do açúcar e do álcool na usina, até o transporte, comercialização e consumo dos produtos, tanto no mercado interno quanto externo. Trata-se de uma abordagem denominada Análise de Ciclo de Vida, popularmente conhecida por contabilizar as emissões do processo “do berço ao túmulo”.

Os valores verificados para a UFRA são menores que os valores médios de emissão do setor, devido aos métodos orgânicos de produção. Quando comparados à produção realizada na Europa ou Japão, a partir da beterraba, ou dos EUA, a partir do milho e da beterraba, as vantagens são ainda maiores. Isso ocorre porque se trata de métodos produtivos que utilizam energia proveniente da queima de combustíveis fósseis, enquanto, na UFRA, a energia provém da queima do bagaço da cana.

Assim, considerando o ciclo de vida do conjunto de produtos da UFRA, em média, evita-se a emissão do equivalente a 4 toneladas de dióxido de carbono por hectare a cada ano. Para efeito de comparação, uma floresta tropical em desenvolvimento sequestra 2,59 toneladas de CO₂ equivalente por hectare a cada ano.



Créditos para a natureza

Uma solução promissora, ainda a ser escalada, é a comercialização de créditos de biodiversidade, gerados a partir de certificações de atividades empresariais com balanço positivo em relação à proteção à natureza, como conservação e regeneração de áreas naturais, reconhecendo o valor dos serviços da natureza para os negócios, com menor impacto no uso de água e energia, proteção do solo e gestão de resíduos – indo além da compensação de emissões e do mero cumprimento da legislação ambiental.

No emergente mercado de créditos de biodiversidade, uma das certificadoras mais bem reconhecidas do mundo é brasileira: o Instituto Life (ou Lasting Initiative for Earth), fundado em 2009.

A aplicação da metodologia do Life, que é auditada por terceira parte, utiliza duas métricas principais: o índice de pressão na biodiversidade, ou seja, o impacto causado pela atividade econômica, e o desempenho positivo em biodiversidade. Por meio do software Life Key, as organizações de qualquer porte e setor podem inserir os dados e, assim, monitorar continuamente a sua performance ambiental, auxiliando no engajamento, comprometimento e divulgação relacionados à Meta 15 do Quadro Global de Biodiversidade/GBF.²⁴

Há dois aspectos relevantes na metodologia do Life. Um deles é a divisão do território brasileiro em 45 ecorregiões, o que permite avaliar as condições ambientais de modo mais específico. O segundo é a medição do impacto ambiental das empresas considerando não só a quantidade de gasto de energia, água, emissão de GEE e impacto direto em biodiversidade, mas também o grau de severidade desses impactos.

Ou seja, conservar ou regenerar vegetação nativa em uma ecorregião devastada possui impacto positivo maior do que em uma área que não sofre ameaças. Do mesmo modo, o impacto negativo do gasto da empresa com água em uma ecorregião com escassez hídrica é maior do que em uma área com água abundante. Isso possibilita priorizar ações na proteção da natureza. O sistema de pontuação das ações de conservação também prioriza iniciativas com maior potencial de manutenção dos serviços ecossistêmicos e de conservação da biodiversidade em um menor espaço de tempo.

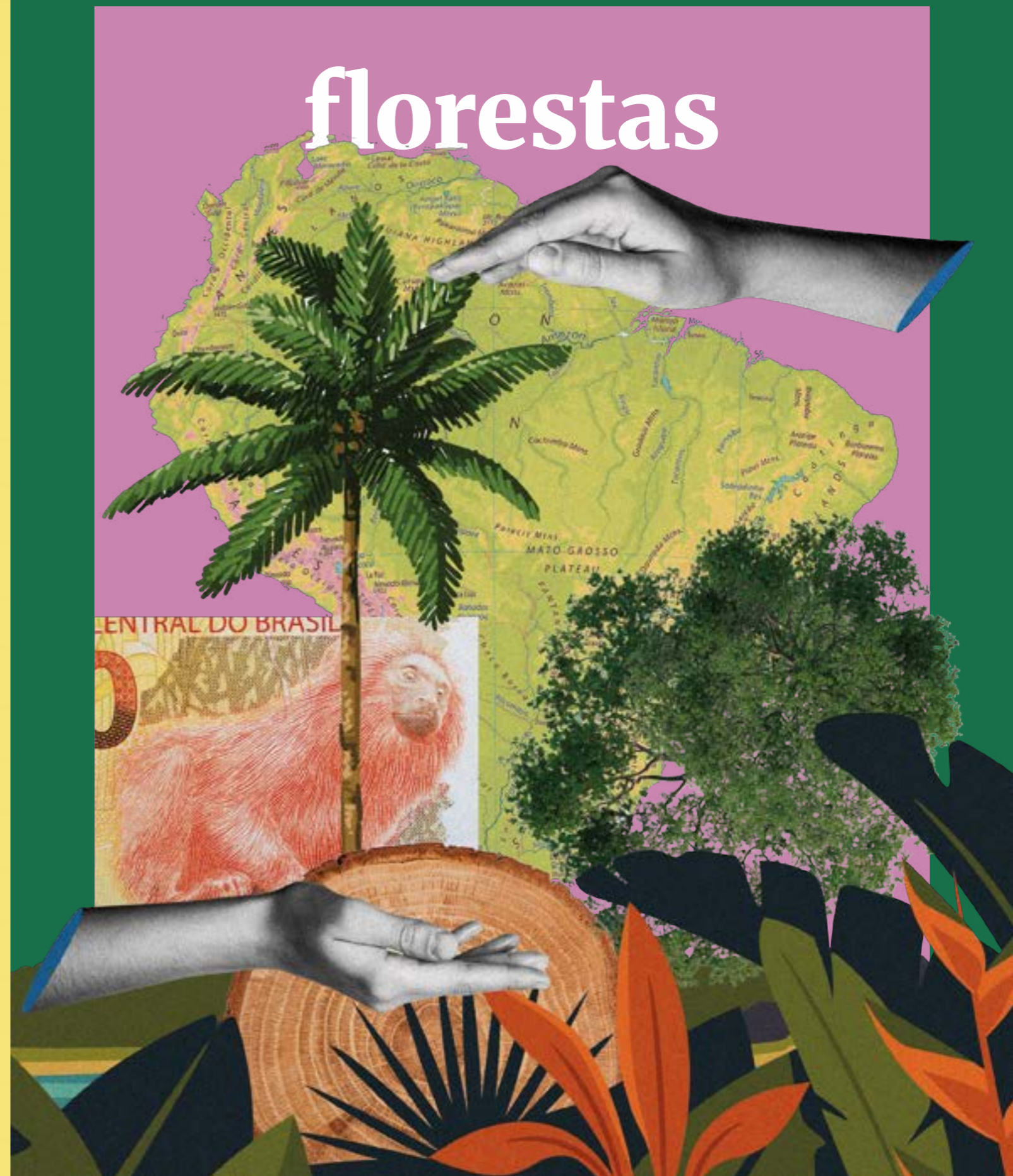
A operação do Life, que começou no Brasil a partir de uma iniciativa do Grupo Boticário, Fundação Avina, Posigraf e Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem (SPVS), foi adaptada na sequência para o Paraguai, com foco no setor primário, onde foi criado um comitê de agricultura, pecuária e floresta. Depois foi lançada na Europa e no México, e em breve estará em toda a América Latina, segundo informações do instituto.

A Caiman Agropecuária, no Pantanal, é uma das organizações certificadas, com 473.446,16 créditos Life de Biodiversidade – mas a lista também inclui empresas do setor de papel e celulose, embalagens (a C-Pack) e outros, além da própria SPVS, que mantém 19 mil hectares de reservas naturais privadas²⁵.

Certificada em 2024, a Caiman protege áreas naturais por meio de uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), ao mesmo tempo em que mantém atividades produtivas de pecuária, com criação de gado Nelore, e de ecoturismo.

Além disso, o Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE), com apoio da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Paraná, vai certificar 20 RPPNs de produtores rurais, gerando créditos de biodiversidade que serão adquiridos pelo banco.

florestas



Patrimônio climático de um país bonito por natureza

Conservação, restauração e plantações de árvores para fins industriais mobilizam soluções brasileiras de grande escala nas agendas da biodiversidade e mudança do clima

no sobrevoo em território brasileiro avista-se de Norte a Sul uma vastidão de paisagens com diferentes tons de verde. São mosaicos integrados como uma grande colcha de retalhos. O retrato dos variados usos da terra destaca a presença das florestas, em suas mais diversas feições, funções e valor, compartilhando os espaços esquadrihados pelas atividades humanas. No conceito de “contínuo florestal”¹, que explica o cenário multifacetado dessa relação, há lugar para todas as formas de conservar, plantar, manejar e valorizar árvores pelos serviços ecossistêmicos prestados ao planeta.

Ao longo do contínuo florestal, observam-se diferentes contribuições econômicas, ambientais e sociais – da preservação permanente de maciços florestais e beira de rios, às intervenções humanas por meio do manejo sustentável, restauração de áreas desmatadas, silvicultura de árvores nativas e monoculturas de espécies exóticas de rápido crescimento, como o eucalipto. Desde os primórdios, as florestas são essenciais à manutenção da vida na Terra e hoje ganham ainda maior protagonismo no cenário global de emergência climática.

Pelas dimensões territoriais, condições climáticas, dinâmicas de ocupação e biodiversidade, o Brasil – dono de 40% da biomassa tropical do planeta, na Amazônia – tem função-chave neste desafio. As florestas desempenham um papel fundamental na mitigação do aquecimento global, pois armazenam carbono, regulam o ciclo hidrológico e protegem a biodiversidade. Segundo a ONU², 30% da área terrestre do planeta é coberta por florestas. No entanto, a derrubada de árvores em áreas tropicais libera todos os anos mais de 5,6 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa – superior a quatro vezes o total emitido pela aviação e transporte marítimo global.

O Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC)³ mostra que as soluções climáticas naturais – via conservação e restauração de florestas, por exemplo – podem representar de 20% a 50% da oportunidade de redução de emissões até 2030, cerca de 5 a 12 gigatoneladas (bilhões de toneladas) de CO₂ equivalente (GtCO₂eq). O Brasil sozinho tem 15% desse potencial – o segundo maior, depois da Indonésia.

O quadro é de riscos e oportunidades socioeconômicas, na demanda por uma reconexão mais profunda com a natureza. Conforme relatório⁴ do Fórum Econômico Mundial, cerca de US\$ 44 trilhões – mais da metade do PIB mundial – é moderada ou altamente dependente da natureza e de seus serviços, como polinização, recursos hídricos e mitigação de carbono que o mundo busca para evitar o pior cenário do aquecimento global.

No Acordo de Paris, os países têm compromissos de reduzir emissões e capturar carbono da atmosfera para manter o aumento da temperatura global em 1,5° C em relação ao período pré-industrial. Com cerca de 90 milhões de pastagens degradadas, o Brasil é um dos lugares do mundo de maior aptidão para a retirada de carbono da atmosfera via florestas. Neste cenário, o País tem o compromisso climático de reduzir o desmatamento ilegal a zero e reflorestar 12 milhões de hectares até 2030.

Mudança no uso da terra e florestas são atualmente responsáveis por 46% das emissões brutas de carbono brasileiras, segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Seeg)⁵. Entre 2004 e 2012, o desmatamento diminuiu 80% na Amazônia, passando de cerca de 25 mil km² para 4,5 mil km², mas os números voltaram a subir, em parte devido à

[introdução]

carência de políticas econômicas de geração de renda com a floresta em pé.

A partir de 2022, com novas políticas e ações de repressão e fiscalização, as taxas voltaram a uma tendência de queda. Entre agosto de 2023 e julho de 2024, conforme dados⁶ do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), houve redução de 30,63% em relação ao ano anterior, na Amazônia.

Segundo o Instituto de Pesquisas da Amazônia (Ipam), o estoque de carbono na região equivale a 10 anos de emissões globais. Buscam-se formas de valorização de ativos ligados ao clima e biodiversidade como recompensa pela importância da Amazônia na regulação do ciclo de chuvas, com a função de grande regadora de lavouras na América do Sul.

Devido a isso, o País tem o diferencial de colher até três safras por ciclo (*mais sobre agricultura à pág. 27*), contribuindo na produção de commodities agrícolas que alimentam 800 milhões de pessoas, conforme estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Em paralelo, o papel da floresta amazônica no ciclo hidrológico permite segurança energética das hidrelétricas, com efeito em cascata nos demais segmentos econômicos do País.

SOLUÇÕES CLIMÁTICAS NATURAIS

20% a 50%
DO POTENCIAL GLOBAL
DE REDUÇÃO DE EMISSÕES
ATÉ 2030 PODE VIR DA
NATUREZA.

5 a 12 GtCO₂eq
VOLUME DE CO₂ QUE
PODE SER EVITADO
COM CONSERVAÇÃO E
RESTAURAÇÃO FLORESTAL.

15%
DO POTENCIAL GLOBAL
ESTÁ NO BRASIL –
O 2º MAIOR DO MUNDO,
ATRÁS DA INDONÉSIA.

fonte: Painel Intergovernamental de Mudança do Clima

[contexto]

Oportunidades na transição ao baixo carbono

Créditos de carbono atrelados a soluções das florestas e uso da terra representam um mercado global que pode atingir US\$ 15 bilhões em 2030 e US\$ 35 bilhões em 2040, conforme projeção da McKinsey⁷. A consultoria estima que a transição para o baixo carbono exigirá US\$ 3 trilhões a 5 trilhões em investimentos por ano até 2030 – a maior realocação de capital da História – em todas as frentes de mitigação climática. Pelas florestas, o Brasil é forte candidato a essas oportunidades, contribuindo com o processo de descarbonização da economia global.

A economia verde tem potencial de atrair investimentos significativos ao País como base para um modelo de desenvolvimento inclusivo e sustentável. O cenário de estabilidade política, disponibilidade de áreas e condições de clima favoráveis favorecem a posição brasileira. Estima-se para o País uma capacidade de créditos de carbono suficiente para cobrir emissões de cerca de 1,7 GtCO₂eq por ano até 2050.

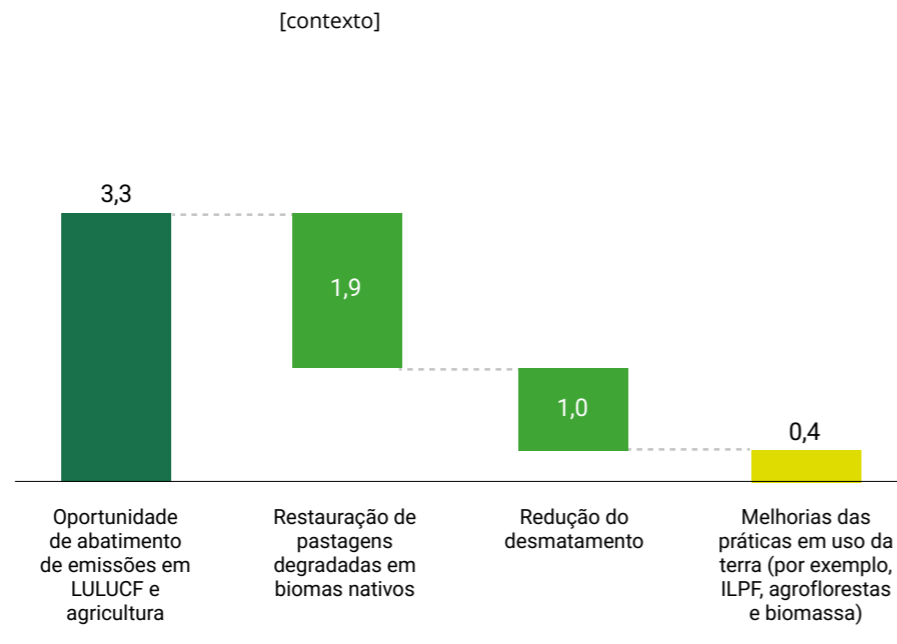
Isso exigiria que os setores de uso da terra, florestas e agricultura contribuíssem com a redução de emissões entre 2,9 e 3,3 GtCO₂eq em 2050, em comparação aos níveis de 2021, segundo a McKinsey. O Brasil poderia potencialmente alcançar esses índices por meio de três ações principais: restauração de pastagens degradadas com florestas nativas, redução do desmatamento e melhoria das práticas de uso da terra.

Projeta-se um maior fluxo financeiro para países tropicais reduzirem desmatamento e aumentarem a retenção do carbono lançado globalmente na atmosfera. Além de doações bilaterais, filantropia e capital de bancos de fomento internacionais, deverão entrar no jogo os US\$ 300 bilhões por ano acordados na COP 29 de Baku para financiamento à transição climática de países em desenvolvimento, com recomendação de esforços para chegar a pelo menos US\$ 1,3 trilhão por ano.



OPORTUNIDADES MASSIVAS DE DESCARBONIZAÇÃO

POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÕES ATÉ 2050 EM SETORES DE USO E MUDANÇA DA TERRA, AGRICULTURA E FLORESTAS (EM GtCO₂e)



Fonte: McKinsey. Beyond Net Zero: Brazil's massive opportunity to decarbonize the world, Setembro, 2023

Há expectativa em torno do Fundo Global Florestas Tropicais para Sempre (TFFF, na sigla em inglês) liderado pelo Brasil, com previsão de lançamento na COP 30, de modo a recompensar os países tropicais pela conservação das florestas. Baseado em recursos de fundos soberanos nacionais, o mecanismo prevê incentivo financeiro por hectare de floresta mantida conservada, com valorização de ativos ambientais e ganho de capital para investidores.

O potencial estimado é de US\$ 125 bilhões – US\$ 25 bilhões vindos de países para alavancar US\$ 100 bilhões de empresas, com 20% de repasse para povos tradicionais. Se buscar o desmatamento zero, o Brasil tem possibilidade de obter em torno de US\$ 1,5 bilhão por ano a partir do TFFF conforme estimativa do WWF-Brasil.

A proteção da floresta na Amazônia, onde ocorre grande parte do desmatamento que torna o País um dos 10 maiores emissores de carbono do planeta, custaria de US\$ 1,9 bilhão a US\$ 2,3 bilhões anualmente, segundo estudo⁸. A título de comparação, a preservação da Amazônia vale US\$ 317 bilhões por ano em capital natural, de acordo com o Banco Mundial.

Esta seção sobre Florestas se subdivide em três blocos: Conservação, Restauração e Silvicultura, detalhados a seguir. Cada bloco é composto de um contexto geral e de um mapeamento de soluções.

Entre as maduras, estão o Programa Arpa – a maior iniciativa de conservação de florestas tropicais do mundo, que protege 62,5 milhões de hectares e já foi replicada para Colômbia e Equador; e a silvicultura de espécies exóticas, como eucalipto, para fins industriais como produção de papel e celulose, que trazem impacto climático positivo.

Uma solução em ascensão é a implementação do Código Florestal, que prevê a recuperação de 18,8 milhões de hectares de passivos de vegetação nativa das propriedades rurais, além das áreas já conservadas conforme a lei ambiental. Além disso, há iniciativas de restauração que atraem investimentos para recompor áreas degradadas em grande escala na Amazônia e Mata Atlântica. E uma solução considerada promissora é a silvicultura de espécies nativas, especialmente em áreas degradadas na Mata Atlântica.

Conservação

Na mira do desmatamento zero

Criar e consolidar áreas protegidas de floresta, promovendo o uso sustentável, é estratégia-chave para reduzir a degradação e multiplicar soluções climáticas

A proteção e uso sustentável da biodiversidade em Unidades de Conservação (UC), Terras Indígenas (TI) e áreas obrigatórias de vegetação nativa nas propriedades rurais, conforme o Código Florestal, têm alta relevância na captura e armazenagem de carbono na mitigação climática com oportunidades socioeconômicas para o Brasil.

PROTEÇÃO DA NATUREZA EM LARGA ESCALA

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Snuc), instituído no ano 2000, reúne critérios e normas para a criação, implantação e gestão dessas áreas conforme diferentes categorias de manejo. São 3.119 UCs federais, estaduais e municipais, no total de 260 mil hectares nos seis biomas e ambiente marinho brasileiro.

Classificadas em diferentes categorias conforme as finalidades e usos, elas protegem 19,16% da área continental e 26,58% da marinha. A categoria de proteção integral, como parques nacionais e reservas biológicas, abrange 32% das UCs. As de uso sustentável, com a presença de populações que retiram o sustento da biodiversidade, representam 68,1%.

As Terras Indígenas (TI) somam 805 áreas – 14% do território nacional. No total, as áreas protegidas como UC e TI juntas representam 33,1% da área continental brasileira, com destaque para a Amazônia Legal. Nesses territórios, apesar dos desafios devido à invasão por madeiros e garimpeiros, os indicadores de desmatamento são consideravelmente inferiores em relação às áreas não protegidas.



INOVAÇÕES EM INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

Pelas características do território, riqueza de biodiversidade e desafios da conservação, o Brasil é campo fértil para o desenvolvimento de mecanismos financeiros inovadores para soluções que ganham visibilidade no contexto climático. Cuidar de quem cuida da floresta como estratégia para mantê-la em pé inspirou iniciativas pioneiras no País, como o Programa Guardiões da Floresta⁹ (antigo Bolsa Floresta) – política pública do Amazonas executada pela Fundação Amazônia Sustentável (FAS) para apoio comunitário e remuneração de moradores de reservas ambientais que protegem e usam a floresta de forma sustentável.

No modelo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), o Guardiões da Floresta cobre hoje 12 mil pessoas em 28 UCs.

Além de referência para o atual programa do governo federal Bolsa Verde, a iniciativa no Amazonas, criada em 2007 no âmbito da Política Estadual de Mudança do Clima, municiou os primeiros debates no País sobre instrumentos de incentivo econômico à conservação e mitigação de carbono. Entre eles, destaca-se o mecanismo voluntário de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (Redd+), voltado à compensação de carbono via conservação de florestas naturais que evita emissões pelo desmatamento.

Negócios olham atualmente para o conceito de créditos de biodiversidade, inspirado no mercado de carbono para evitar a perda global de es-

conservação



pécies. O instrumento encontra-se em processo de desenvolvimento no mundo, com desafios de aferição para garantir credibilidade e segurança nas transações, de modo a respeitar mecanismos ecológicos e salvaguardas socioambientais.

Segundo analistas, a equação precisa ser aprofundada e o Brasil é visto como um dos melhores lugares para experimentos neste sentido, com ambiente favorável de pesquisa e diálogo. Análise do WWF-Brasil reforça que o País tem ocupado posição de liderança nas conferências globais de biodiversidade e possui arcabouço legal sólido e moderno, ainda que seja necessário melhorar alguns pontos da sua implementação.

DEMANDA CLIMÁTICA IMPULSIONA A BIOECONOMIA

A expansão da bioeconomia, em seus diferentes conceitos, representa um dos eixos prioritários na agenda do clima – tanto pela produção de biorrecursos para substituir fontes fósseis na transição energética, como pela inovação e valorização das diversas cadeias produtivas da sociobiodiversidade como vetor de renda, qualidade de vida e manutenção da floresta em pé.

O Brasil tem evoluído em políticas públicas na agenda da bioeconomia como estratégia de desenvolvimento nacional. O tema está previsto no novo Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)¹⁰ como eixo econômico para conservação de floresta. Já a Estratégia Nacional de Bioeconomia, lançada em 2024, reúne um conjunto de políticas que visam desenvolver o setor, prevendo um Plano Nacional – hoje em construção – com ações e instrumentos financeiros efetivos.

O País liderou a inclusão do conceito de bioeconomia no documento final da reunião do G20, sediada em 2024 no Brasil. Em 2025, além da oportunidade voltar à tona na reunião dos BRICS (cinco maiores países emergentes do mundo), a agenda deverá ser destaque na COP 30 do clima em Belém. A bioeconomia poderá se beneficiar pelo fluxo global de finanças no contexto da mudança climática e da biodiversidade.

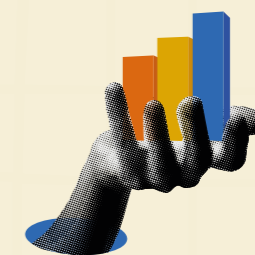
Estudo do WRI¹¹ mostra que a bioeconomia já gera um PIB de R\$ 12 bilhões na Amazônia. Com investimentos adicionais, será possível atingir pelo menos R\$ 38,6 bilhões em 2050, gerando 833 mil novos empregos que substituiriam ocupações hoje ligadas à destruição da floresta.

BIOECONOMIA NA AMAZÔNIA



R\$ 12 bilhões

PIB ATUAL DA BIOECONOMIA NA
AMAZÔNIA.



R\$ 38,6 bilhões

POTENCIAL DE PIB DA
BIOECONOMIA ATÉ 2050 COM
INVESTIMENTOS.



833 mil

NOVOS EMPREGOS
SUSTENTÁVEIS PODEM SER
GERADOS ATÉ 2050.

fonte: WRI

No Pará, estado amazônico de maior economia e população, levantamento do WRI publicado em 2025 identificou entre R\$ 1,7 bilhão e R\$ 1,8 bilhão em investimentos já negociados ou com potencial de captação nos próximos cinco anos, votados a ações climáticas. Do total, aproximadamente R\$ 400 milhões têm potencial para custear atividades produtivas da bioeconomia, junto a R\$ 320 milhões de estímulo via Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Esses investimentos têm potencial de resultar na injeção de R\$ 816 milhões no PIB estadual por meio da bioeconomia, com 6,5 mil empregos em cinco anos.

O potencial de expansão de soluções climáticas brasileiras pela bioeconomia é também medido pelo atual movimento de efervescência de startups em negócios de impacto positivo na Amazônia. Desde 2021, a aceleradora Amaz, mantida pelo Idesam, avaliou mais de 500 negócios potenciais, acelerou 17 iniciativas e investiu diretamente em 14 delas com impacto socioambiental. Esses empreendimentos contribuíram para a conservação ou

conservação

restauração de mais de 447 mil hectares de floresta nativa, beneficiando quase 2 mil famílias em 56 municípios da Amazônia brasileira.

O papel dos negócios de impacto é reconhecido como chave para a conservação. Até oito anos atrás, o tema era protagonizado pelo Terceiro Setor, academia ou governos. Hoje é difícil falar de transformação sistêmica na Amazônia sem a força de empreendedores que demandam investimentos e capital de fomento para fazer a roda girar. A visão predominante é de que, para aumentar a conservação, é necessário dinamizar a economia da floresta. De acordo com a Fundação Certi, o número de startups no modelo de negócio e tecnologias, com olhar na Amazônia, aumentou sete vezes desde 2018, somando hoje pelo menos 700. Até 2027, a estimativa é superar a marca das mil startups nos diversos segmentos da bioeconomia amazônica – da aplicação de inteligência artificial (IA) no monitoramento do manejo sustentável do açaí a soluções inovadoras na comercialização de castanha e óleos diversos para o mercado local e global.

[soluções]

Programa Arpa:

Maior iniciativa de conservação de florestas tropicais do planeta

Criado em 2002, o programa Áreas Protegidas da Amazônia (Arpa) é referência como maior iniciativa de conservação de florestas tropicais do planeta. Coordenadas pelo Ministério do Meio Ambiente com recursos de doadores internacionais e nacionais que totalizam até hoje US\$ 267 milhões, as ações têm meta de até 2039 apoiar a conservação e o uso sustentável de pelo menos 60 milhões de hectares, o equivalente a 15% da Amazônia brasileira.

Ao custo de proteção em U\$ 1 por hectare ao ano, não há solução para a mudança do clima global que tenha melhor relação custo-efetividade, segundo análise do Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio), gestor e executor financeiro do programa. A iniciativa recebe recursos do Banco de Desenvolvimento da Alemanha (KfW), Global Environment Facility (GEF) por meio do Banco Mundial, Fundação Gordon e Betty Moore, Anglo American e WWF.

Com base em trabalhos científicos e mapeamento de áreas prioritárias, o programa apoia a implementação básica das UCs, como planos de manejo, funcionamento do conselho gestor, sinalização, pesquisas e infraestrutura de equipamentos, entre outras demandas essenciais à proteção da área. Consolidadas, as áreas se tornam referência de gestão territorial e desenvolvimento local, com fortalecimento comunitário para acesso a programas sociais de governo e mecanismos financeiros de recompensa pela manutenção da floresta.



ACIMA DAS EXPECTATIVAS

No total de 120 UCs apoiadas em duas décadas, o programa Arpa já atinge a marca de 62,5 milhões de hectares de floresta conservada, acima do objetivo inicial. Cerca de 43% das áreas trabalhadas já se encontram consolidadas, com benefícios à biodiversidade e mitigação climática. A estimativa é que entre 2008 e 2020 os territórios apoiados reduziram o desmatamento em 264 mil hectares, o equivalente a 104 milhões de toneladas de carbono em emissões evitadas.

O próximo passo está previsto para 2025, com o lançamento de uma nova frente no programa – o Arpa Comunidades, prevendo investimento R\$ 150 milhões para fortalecer cadeias produtivas da floresta no contexto da bioeconomia amazônica.

A ambição é dar escala à produção sustentável como fator de geração de renda sem desmatamento ou degradação, permanência na floresta e visibilidade para a conquista de parcerias que remuneram produtores pelos serviços ambientais. O potencial anual estimado de geração de renda por meio de atividades relacionadas à sociobioeconomia é de US\$ 50 milhões a US\$ 60 milhões nas UCs de uso sustentável do Arpa.

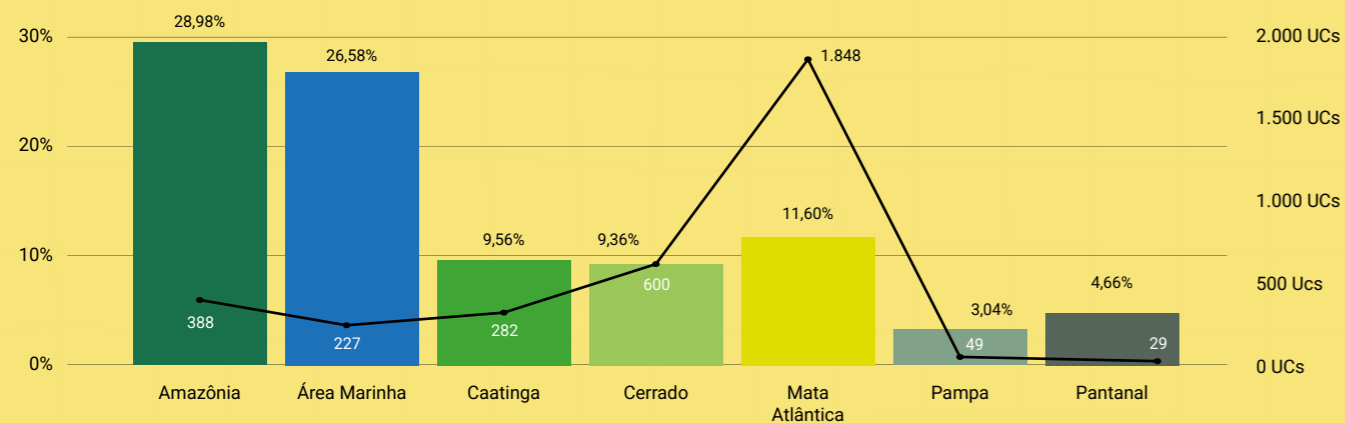
A experiência do programa brasileiro de conservação da biodiversidade foi replicada na Colômbia e Peru. O mecanismo inovador de financiamento, no modelo Project Finance for Permanence (PFP), adotado primeiro no Canadá e Costa Rica, permite visão de longo prazo mais adequada à demanda de políticas públicas em

conservação. O instrumento garante perenidade no repasse de recursos à gestão e manutenção de áreas protegidas, com melhor custo efetivo, sem dependência de cenários políticos e outras incertezas no futuro.

No Brasil, o êxito da iniciativa amazônica inspirou igual modelo na Caatinga. O programa Áreas Protegidas da Caatinga (Arca) terá US\$ 10 milhões do GEF para frear a degradação do bioma, o único exclusivamente brasileiro. Com 80% da vegetação nativa já alterada pelas atividades humanas, o território abriga 27 milhões de pessoas e é símbolo de resiliência no convívio com a seca, podendo inspirar outras regiões do País e exterior nas soluções de adaptação aos atuais e futuros impactos da mudança climática.

NATUREZA SOB PROTEÇÃO

NÚMERO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E PERCENTUAL PROTEGIDO NO BIOMA



Fonte: Painel Unidades de Conservação Brasileiras



Código Florestal: quando a solução vem da política pública

Aprovado em 2012, o Código Florestal¹² é uma das políticas públicas ambientais mais importantes do País, com reflexos na solução climática em grande escala. São cerca de 115 milhões de hectares de conservação e matas plantadas em propriedades rurais que compõem um dos maiores sistemas de produção de alimentos do planeta. No total, os estabelecimentos rurais abrangem 167 milhões de hectares. Mas, apenas 3,3% das análises do Cadastro Ambiental Rural (CAR) haviam sido concluídas em 2024, segundo relatório do Climate Policy Initiative (CPI), da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)¹³.

Apesar dos desafios políticos, econômicos e socioambientais para a sua efetiva implementação, o Código Florestal traz oportunidades crescentes em torno da manutenção de vegetação nativa e restauração de passivos como frentes de negócios e desenvolvimento socioeconômico no País.

Com a aplicação da lei, a perspectiva é de maior integração dessas florestas ao mosaico de usos da terra. O Brasil possui hoje um déficit de 18,8 milhões de hectares de vegetação nativa em propriedades rurais – 8,1 milhões de hectares em Áreas de Preservação Permanente (APPs) e 10,7 milhões de hectares em Reservas Legais. Ao mesmo tempo, o País conta com mais de 110 milhões de hectares de vegetação nativa que excedem o mínimo exigido pela legislação.

O PlanaFlor mapeou áreas prioritárias para a recomposição desse passivo, considerando a relação custo-benefício, com destaque para pastagens degradadas de baixa aptidão agrícola e áreas com alto potencial de regeneração natural, além de bacias hidrográficas estratégicas para abastecimento de água e geração de energia hidrelétrica. A recomposição desse déficit é essencial para que o Brasil cumpra as metas climáticas no Acordo de Paris.

POLÍTICA PÚBLICA COMO INDUTORA DE SOLUÇÕES

Estudo do PlanaFlor revela que o cumprimento do Código Florestal pode ser motor de transformações mais abrangentes no campo. Investimentos de R\$ 401 bilhões até 2030 na substituição de pastagens degradadas por agricultura e vegetação nativa, redução do desmatamento, melhoria das práticas de uso da terra e manutenção de florestas excedentes ao que manda a lei nas propriedades poderiam reduzir as emissões brasileiras em 25 GtonCO₂e e gerar 32 bilhões ao ano em créditos de carbono.

Além de impulsionar a agricultura sustentável, conservação e restauração ambiental, as medidas também beneficiariam 2,6 milhões de agricultores familiares e abriria espaços para conservar também áreas de vegetação nativa passíveis de desmatamento pela legislação. Estima-se a existência de três vezes mais excedentes de áreas conservadas do que déficit em propriedades rurais, o que abre espaço para instrumentos como o sistema de cotas de Reserva Legal para compensação de passivos.

Analistas indicam a necessidade de regulamentação dos artigos 41 e 48 do Código Florestal, que versam sobre usos econômicos das áreas conservadas. Também a lei de Pagamento por Serviços Ambientais, aprovada em 2021, aguarda regulamentação pelo governo federal de modo a se consolidar como instrumento econômico de incentivo à conservação de florestas, com contribuições climáticas.

PROJEÇÕES DE BENEFÍCIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO FLORESTAL

| | BENEFÍCIOS | | | | |
|--|----------------------|--|--|---|---|
| | Área impactada (Mha) | Impacto climático Redução de emissões (Gt CO ₂ e) | Geração de trabalho e renda ¹ | Trabalhadores beneficiados na AF ² | Receita (bilhões de R\$/ano) ³ |
| Conversão de pastagem degradada para agricultura | 11,3 | a avaliar | 39.397 | | |
| Conversão de pastagem degradada para ILPF, ILP, SAF | 20,4 | a avaliar | 698.353 | | |
| Agricultura Familiar (557 municípios proprietários) | 11,4 | a avaliar | | 2.577.880 | |
| Conservação de vegetação nativa (excedente de Reserva Legal) | 110 | >20,4 Gt CO ₂ | | | 25,0 |
| Reflorestamento (restauração de déficit de RL e APP) | 12 | >4,6 Gt CO ₂ e | 1.670.107 | | 7,5 |
| TOTAL | 165,1 | 25 Gt CO₂e | 2.407.857 | 2.557.880 | 32,5 |

¹ Em número de trabalhadores.

² AF = Agricultura Familiar

³ Até 2030 (projeção a partir dos investimentos necessários entre 2023 e 2030)

Fonte: PlanaFlor

Relação de empresas com comunidades mantém a floresta viva

Na bioeconomia, é chave o engajamento de grandes empresas que olham para cadeias de fornecimento regenerativas, com substituição de insumos produtivos por alternativas inovadoras da floresta e parcerias em novos modelos de negócio. Entre os exemplos do mundo *corporate* integrados à bioeconomia, o Brasil destaca-se pela experiência da empresa de cosméticos Natura na relação com comunidades fornecedoras de matéria-prima. A estratégia reflete em benefícios climáticos pela conservação, uso sustentável e regeneração da floresta.

O relacionamento da empresa com as comunidades tradicionais começou a ser estruturado no final dos anos 1990, impulsionado pela decisão estratégica de incorporar ingredientes da biodiversidade brasileira à formulação de seus produtos. Hoje são mais de 10 mil famílias em 51 comunidades fornecedoras – 87% na região amazônica, com conservação de cerca de 2,2 milhões de hectares de floresta. O modelo também resultou no desenvolvimento de 44 bioingredientes amazônicos, com produção local em 19 minifábricas de extração de óleos, agregando valor à produção das comunidades.

Na experiência da Natura, as agroflorestas ocupam papel central na relação com comunidades: fortalecem cadeias de valor de base comunitária, regeneram ecossistemas degradados, diversificam a renda dos agricultores e contribuem para o sequestro de carbono.

PRODUÇÃO COM PROTEÇÃO DA FLORESTA E SEUS POVOS

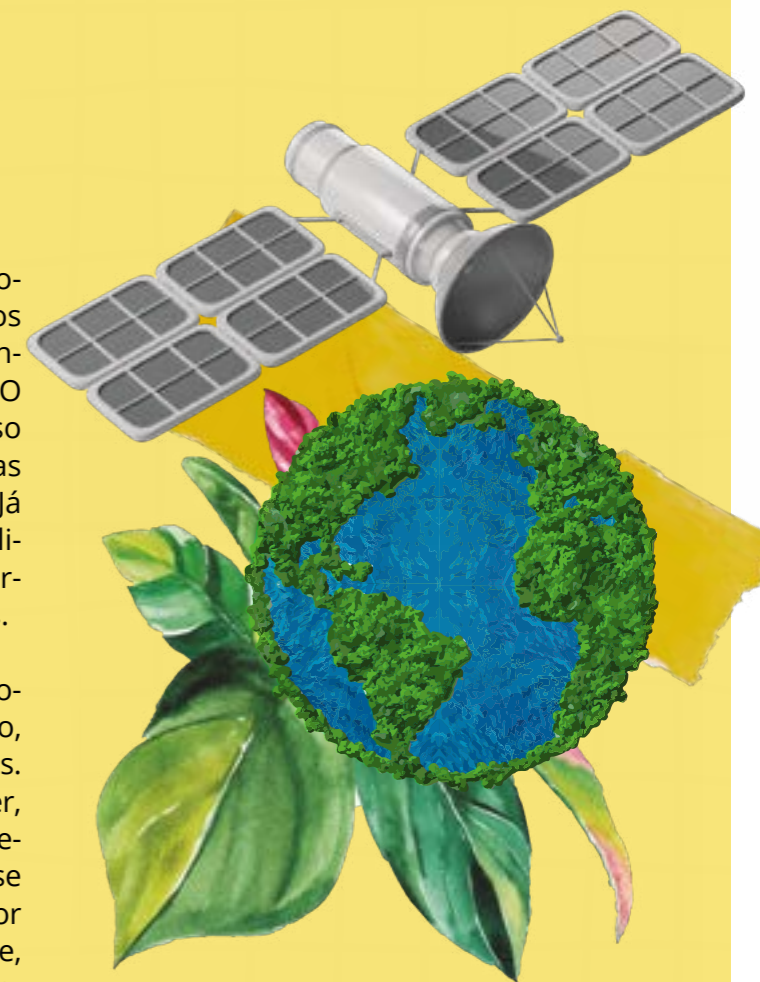
Certificado por organizações como a Union for Ethical BioTrade (UEBT), o sistema de fornecimento da Natura é reconhecido pelo compromisso com a conservação da biodiversidade, a repartição justa de benefícios e o respeito às práticas culturais e ao modo de vida dos povos da floresta. Além de compensar com soluções da natureza 100% das emissões de carbono remanescentes que não consegue evitar, a empresa tem metas de expansão para até 2030 que incluem a proteção de 3 milhões de hectares de florestas. A expectativa é de aumento do número de comunidades parceiras, ampliação da compra de insumos da sociobioeconomia e adoção integral de práticas regenerativas nas cadeias críticas.

Sistemas de monitoramento

O Brasil é também reconhecido pelo monitoramento de florestas por satélite, com dados essenciais a políticas públicas e ações de controle do desmatamento na Amazônia Legal. O sistema Prodes, do Inpe, monitora o corte raso na região amazônica com série histórica das taxas anuais de desmatamento desde 1988. Já o Projeto TerraClass tem como objetivo qualificar os dados do Prodes, indicando a cobertura vegetal e os usos das áreas desmatadas.

No sistema Degrad, o propósito é mapear florestas que estão em processo de degradação, mas não foram completamente removidas. Esse trabalho complementa o sistema Deter, que fornece alertas de desmatamento e alterações da cobertura vegetal em tempo quase real como suporte à fiscalização ambiental. Por fim, o Programa Queimadas, também do Inpe, monitora focos de incêndio por satélite, gerando estatísticas, gráficos e mapas que subsidiam decisões de controle no campo.

No esteio das tecnologias digitais, além das plataformas oficiais de dados, o MapBiomas é reconhecido como referência nacional e internacional em monitoramento da cobertura do solo. Foi criado em 2015 por especialistas em sensoriamento remoto e mapeamento de vegetação que discutiam como produzir mapas anuais de uso e cobertura da terra para todo o Brasil de forma mais acessível, rápida e atualizada em comparação com os métodos e práticas existentes. O projeto foi também recuperar o histórico de dados ao longo das décadas. Para isso, a iniciativa contou com uma alta capacidade de processamento sem precedentes, automatização e colaboração de comunidades



de especialistas em cada área – além da cooperação técnica com a Google, utilizando a plataforma Google Earth Engine como fundamento.

O MapBiomas produz mapeamento anual da cobertura e uso da terra e monitora a superfície de água e cicatrizes de fogo mensalmente com dados a partir de 1985. Também valida e elabora relatórios para cada evento de desmatamento detectado no Brasil desde janeiro de 2019, por meio do MapBiomas Alerta. Todos os dados e métodos são disponibilizados de forma pública, aberta e gratuita. No total, a plataforma reúne 20 iniciativas temáticas no Brasil e países como Indonésia, Colômbia, Peru, Uruguai e Equador.

Restauração

Sumidouros de carbono

Recuperar áreas degradadas está no centro da mitigação climática brasileira, com oportunidades econômicas, sociais e ambientais

Com grandes extensões de áreas degradadas (*saiba mais à pág. 50*), o Brasil avança na restauração de florestas e outros ecossistemas como solução climática de grande escala que serve de modelo para o mundo. Nas áreas em reconstrução da natureza, a captura e estoque de carbono pelo crescimento das árvores estão associados a um mix de agendas. Além da conservação da biodiversidade, o desafio proporciona segurança hídrica e energética, cultivo de alimentos e produção sustentável, com oferta de matéria-prima renovável à descarbonização da economia. A isso se soma o impacto socioambiental positivo, por meio da geração de emprego e renda e melhoria da qualidade de vida.

O alto grau de diversidade biológica favorável à formação de novas florestas, o arcabouço de políticas públicas e a tradição do conhecimento científico no tema são diferenciais do País na recuperação da vegetação nativa. Com esses atributos, o Brasil representa uma das principais fronteiras da restauração de ecossistemas no mundo, atraindo crescente participação de fundos de capital, bancos de fomento e outros atores financeiros de relevância, com interesse nas oportunidades da mitigação de carbono.

No Acordo de Paris, grande parte do compromisso brasileiro para reduzir emissões de gases de efeito estufa está alicerçada em florestas, com meta de restauração de 12 milhões de hectares até 2030. Como a mitigação necessária não é possível somente com redução do desmatamento, a reposição de árvores em áreas já degradadas é um objetivo estratégico. Desta forma, a natureza é mobilizada a potencializar a função de capturar carbono da atmosfera no crescimento das plantas, por meio da fotossíntese. Estocado na biomassa florestal e no solo, o carbono deixa de contribuir para o agravamento do efeito estufa.

O Brasil integra movimentos internacionais de recuperação das florestas. Além do Acordo de Paris, o País aderiu ao Desafio de Bonn, esforço global de restaurar 350 milhões de hectares até 2030; e à Iniciativa 20X20, que planeja proteger e restaurar 50 milhões de hectares de paisagens e florestas até 2030 na América Latina e Caribe para a região se tornar neutra em carbono até 2050. A Década da Restauração de Ecossistemas da ONU¹⁴ mobiliza 70 países no objetivo de reverter a degradação dos solos até 2030 e dar um grande impulso para a restauração de 40% de todas as terras do pla-

neta. E o Brasil está no centro desses desafios. Segundo a ONU, cada dólar investido em restauração gera até US\$ 30 em benefícios econômicos, além do potencial de aumentar a segurança alimentar para 1,3 bilhão de pessoas no mundo e de proporcionar um terço da mitigação de carbono necessária até 2030. A restauração de 15% das áreas convertidas pode evitar 60% das extinções de espécies até 2050.

Um dos desafios à maior escala da restauração florestal, dizem analistas, é a falta de uma visão integrada nas políticas públicas que possa auxiliar esse processo, de modo a evitar custos e proporcionar receita para o produtor rural – barreira ainda a ser vencida apesar de recentes iniciativas do governo federal em soluções. É consenso que a cadeia produtiva da restauração precisa ser mais bem estruturada, com viveiros de mudas, assistência técnica e acesso a crédito e seguro para proteção dessas áreas preservadas ou em restauração.

Pesquisadores alertam que o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o respectivo Programa de Regularização Ambiental (PRA) representam hoje um cheque em branco que o pro-

ductor assina, abdicando de receitas em áreas que deixam de produzir, além de incorrer em custos, sem as condições estruturantes necessárias para o sucesso das iniciativas. Alguns especialistas, porém, lembram que reduzir receita em função do PRA é consequência de estar produzindo em área irregular que precisa ser restaurada, uma vez que a regularização é uma obrigação legal do produtor.

PLANO NACIONAL PARA REPOR ÁRVORES

O novo Plano Nacional de Recuperação de Vegetação Nativa (Planaveg)¹⁵, aprovado em 2024 com ampla participação social, reforça a meta brasileira de restaurar pelo menos 12 milhões de hectares até 2030. E atualiza os caminhos para atingir o objetivo, com governança, mecanismos financeiros e monitoramento, destacando os usos econômicos da restauração.

De acordo com estudo do Instituto Escolhas, a meta de restauração dos 12 milhões de hectares exigirá investimentos de R\$ 228 bilhões e poderá gerar retorno de R\$ 776,5 bilhões em receita líquida junto 2,5 milhões de novos empregos. Como potencial climático, estima-se que o cumprimento da meta proporcionará a remoção de 4,3 bilhões de toneladas de carbono da atmosfera.

META DE RESTAURAÇÃO

R\$ 228 bilhões

INVESTIMENTO NECESSÁRIO PARA RESTAURAR 12 MILHÕES DE HECTARES.

R\$ 776,5 bilhões

RETORNO ESTIMADO EM RECEITA LÍQUIDA.

2,5 milhões

NOVOS EMPREGOS GERADOS COM A RESTAURAÇÃO.

4,3 bilhões

DE TONELADAS DE CARBONO REMOVIDO DA ATMOSFERA.

fonte: Instituto Escolhas

INVESTIMENTOS EM ESCALA

Entre as iniciativas de investimento em maior escala já anunciadas, destaca-se o programa Arco da Restauração, parceria do BNDES e Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) que pretende recuperar 6 milhões de hectares até 2030 com R\$ 1 bilhão do Fundo Clima e do Fundo Amazônia.

Em parceria com a Petrobras, foi anunciado protocolo de intenções para a contratação de créditos de carbono gerados a partir da restauração florestal na Amazônia, na iniciativa Pró-Floresta+. A iniciativa abrangerá um total de até 50 mil hectares de áreas degradadas, com captura de cerca de 15 milhões de toneladas de carbono (equivalente ao emitido anualmente por 8,94 milhões de carros movidos a gasolina).

Novos investimentos estão previstos na expansão de soluções climáticas baseadas em florestas por meio de concessões de áreas públicas degradadas à restauração por empresas. Em 2025, foi lançado o primeiro projeto do governo do Pará neste modelo, na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu, em Altamira (PA), em parceria com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

O objetivo é disponibilizar 10 mil hectares à iniciativa privada para reflorestamento, por 40 anos, prevendo investimentos de R\$ 258 milhões, com receita total de R\$ 869 milhões e criação de cerca de 2 mil empregos. O plano é capturar 3,7 milhões de toneladas de carbono – o equivalente a 330 mil voltas de avião ao redor do planeta.

No mesmo caminho, em Rondônia, o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) iniciou o processo de concessão de 14,3 mil hectares degradados da Floresta Nacional Bom Retiro para recuperação pela iniciativa privada. A empresa concessionária

restauração



6 milhões de hectares

META DO ARCO DA
RESTAURAÇÃO ATÉ 2030.

R\$ 1 bilhão em investimento

VIA FUNDO CLIMA E
FUNDO AMAZÔNIA.

ria terá direito à comercialização de créditos de carbono e de produtos florestais não-madeireiros e madeireiros, oriundos da silvicultura de espécies nativas.

Com a promessa de reduzir pressões da grilagem e desmatamento, o modelo segue a experiência do governo federal já em curso com a concessão de florestas públicas à produção de madeira por empresas de manejo florestal. Até hoje, no nível federal, foram concedidos 1,3 milhão de hectares em 23 contratos, abrangendo oito Florestas Nacionais, com meta de atingir 5 milhões de hectares até 2027, segundo o Plano Plurianual de Outorga Florestal.

Dados do Imaflora indicam que o potencial de concessões públicas para manejo florestal é de 25 milhões de hectares em 30 anos, o suficiente para suprir com a marca da legalidade a demanda interna e as exportações brasileiras de madeira. Análise do Imazon aponta que 40% da atual produção madeireira na Amazônia tem origem ilegal.

AMAZÔNIA EXPANDE AGROFLORESTAS MULTIFUNCAIONAIS COM DESAFIOS DOS IMPACTOS CLIMÁTICOS

A extensão territorial, a disponibilidade de áreas degradadas pela dinâmica do desmatamento e a alta diversidade biológica capaz de potencializar mecanismos de regeneração natural da floresta tornam a Amazônia a principal fronteira da restauração em grande escala no País.

A região reúne cerca de 14 milhões de hectares de passivos ambientais que, em grande parte, precisam ter a floresta de volta – equivalente a três vezes a área do Estado do Rio de Janeiro. Do total, 10 milhões estão localizados em imóveis privados, 1,4 milhão em assentamentos e o restante em Terras Indígenas e Unidades de Conservação.

Os caminhos para isso são diversificados. Além dos grandes plantios de árvores associados ao mercado de carbono, a Amazônia é cenário da expansão da restauração produtiva em agroflorestas, envolvendo pequenos produtores. Segundo levantamento da Aliança pela Restauração da Amazônia, das 2,7 mil iniciativas de restauração levantadas em 2021 na região, 60% referiam-se a modelos produtivos de SAF que combinam cultivo de alimentos e produtos do extrativismo – uma das principais bases de crescimento da bioeconomia.

O movimento é de contínua expansão, mas há que lidar com impactos da mudança climática nas áreas de restauração. A seca de 2024 evidenciou a necessidade de irrigação dos plantios e os recordes de calor aumentam os incêndios florestais com perdas ecológicas e econômicas para as novas florestas em crescimento.

Há necessidade de uma maior diversidade de espécies na restauração. Na Amazônia, apesar

REFERÊNCIA NO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

O Brasil está na fronteira do conhecimento científico sobre restauração florestal em larga escala. Com experiência de mais de três décadas no tema, a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP) desenvolveu protocolos que hoje são referências na atividade. Os principais dizem respeito ao uso de diferentes grupos funcionais de espécies na restauração: o grupo de recobrimento, com plantas de rápido crescimento e boa formação de copa para fornecer sombra; e o grupo de diversidade, que apresenta crescimento lento, atrai fauna e estabelece importantes relações ecológicas para a perpetuação da floresta restaurada.

Como marco acadêmico, trabalhos científicos resultaram na recomendação quanto ao uso de pelo menos 60 espécies nativas para o sucesso da restauração ecológica. O avanço do conhecimento para aumentar o rendimento das plantas e reduzir custos é a base para o aumento de escala na atividade, com florestas de qualidade, acumuladoras de carbono.

Atualmente, a demanda da mitigação climática impulsiona novas linhas de pesquisa com engenharia genética para melhorar o desempenho das plantas, além do uso crescente de IA e drones para monitoramento dos plantios, em especial na troca de pastagens degradadas por floresta. O cenário inclui o desafio de desenvolver espécies florestais resilientes aos impactos da mudança climática.

da riqueza biológica, com presença de 300 a 400 espécies de plantas por hectare, a ciência conhece o método de propagação para 20 ou 30 delas – ou seja, cerca de 10% do total da diversidade nas áreas naturais, em média, conforme dados da Aliança.

CARBONO, A BOLA DA VEZ NO PLANTIO DE ÁRVORES

O mercado de carbono é hoje o principal motor da restauração florestal em escala no País. Inicialmente desenvolvida em projetos pontuais de adequação das propriedades rurais ao Código Florestal, compensação ambiental de empreendimentos e garantia de segurança hídrica em bacias hidrográficas de maior estresse, a atividade ganha novos contornos e se expande com as oportunidades dos usos econômicos, no modelo de agroflorestas de múltiplas funções. Além de solução climática, a restauração estrutura uma nova base de florestas com seus produtos e serviços para o desenvolvimento da bioeconomia.

Florestas jovens ou recém-plantadas são mais ativas no sequestro de carbono. De acordo com o Instituto Brasileiro de Florestas (Ibef), cada sete árvores plantadas correspondem, em média, à captura de uma tonelada de carbono nos primeiros 20 anos após o plantio.

Análise da McKinsey estima um potencial brasileiro de valor agregado bruto entre US\$ 16 bilhões e US\$ 26 bilhões por ano em créditos de carbono florestal. Devido à disponibilidade de áreas, condições privilegiadas de clima e solo, segurança jurídica e ambiente político favorável, o Brasil pode ter posição de liderança, com atração de grandes parceiros internacionais na mitigação climática.

restauração



No mundo, a Symbiosis Coalition reúne o compromisso conjunto de empresas para investimento na remoção de até 20 milhões de toneladas de carbono, via restauração e agroflorestas, até 2030. A estratégia visa maior segurança e menor custo dos resultados climáticos diante da cobrança global por redução de emissões.

A captura de carbono via plantio de árvores na restauração, com vantagem no critério de adicionalidade diante da capacidade de retenção pelas plantas em crescimento, tem se mostrado atraente para investidores. O desenvolvimento da atividade como negócio pode impulsionar a expansão de áreas plantadas: hoje há cerca de 3,3 milhões de hectares anunciados por empresas que se identificam como uma “nova indústria da restauração” para carbono, criadas nos últimos três a cinco anos no Brasil.

Os modelos de negócio se caracterizam por parcerias inovadoras com *big techs* multinacionais que precisam compensar emissões, via créditos de carbono florestal, diante da alta demanda energética do setor. Com compra de fazendas ou parcerias rurais junto a produtores em condições mais vantajosas do que a pecuária, os plantios de árvores empregam tecnologia de ponta em conexão com fornecedores da cadeia produtiva da restauração florestal. Um ponto de atenção dos projetos está na adoção de boas práticas para conciliar interesse econômico e equilíbrio ecológico.

MATA ATLÂNTICA AVANÇA EM ESCALA DA RESTAURAÇÃO COM AÇÃO EM REDE

No bioma mais populoso e desenvolvido do País, os principais ciclos econômicos da história brasileira uniram expansão territorial e desmatamento. Desde a exploração do pau-brasil pelos colonizadores, a vegetação nativa da Mata Atlântica foi gradativamente exaurida até restar hoje aproximadamente 24% da cobertura original.



O Pacto pela Restauração da Mata Atlântica¹⁶, criado em 2009, hoje com 347 membros entre empresas, governo e sociedade civil, foi reconhecido em 2024 pela ONU como uma das dez iniciativas globais de maior potencial na escala de restauração. Referência no modelo de governança, o Pacto tem meta de restaurar 15 milhões de hectares até 2050, o que corresponde a 15% do bioma. Até o momento, foram recuperados 114 mil hectares.

O plano é acelerar as ações com a transformação do Pacto em agência facilitadora da restauração florestal, por meio da criação de um *pipeline* de projetos em áreas prioritárias já mapeadas, visando atrair fundos de investimento públicos e privados. O objetivo é fortalecer cadeias produtivas e reduzir burocracia e custos para ganhos de escala.

Por meio desse maior reforço na captação de recursos, pretende-se restaurar 4 milhões de hectares até 2030. São cerca de 1 milhão de hectares que estão em regeneração natural e precisam de melhorias, e 3 milhões via plantios de mudas e sementes, entre outras técnicas, além do enriquecimento de remanescentes degradados. Esse total representaria a captura de 30 milhões de toneladas de carbono ao ano.

PACTO PELA RESTAURAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA

347
membros

INTEGRAM O
PACTO PELA
RESTAURAÇÃO DA
MATA ATLÂNTICA.

15
milhões

DE HECTARES
É A META DE
RESTAURAÇÃO.

114 mil
hectares

JÁ FORAM
RECUPERADOS.

1 entre
as 10

PRINCIPAIS
INICIATIVAS
GLOBAIS, SEGUNDO
A ONU EM 2024.

restauração

A iniciativa Conservador da Mantiqueira, coordenada pela TNC junto a 604 municípios de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, apoia a criação de leis e o fortalecimento da governança local para impulso à restauração da Mata Atlântica. O território abriga o primeiro projeto de macrorregião certificado pela organização internacional Verra para transações com créditos de carbono, no total de 1,5 milhão de hectares.

Na Serra da Mantiqueira, o município de Extrema (MG) é reconhecido como pioneiro em política pública de restauração florestal, criada há 20 anos, com mecanismo de PSA e plantio de mudas para proteção e recuperação de nascentes em propriedades rurais. O projeto é mantido com recursos referentes à compensação de emissões de carbono pelas indústrias instaladas no município e pela sociedade em geral, com destinação de um percentual dos impostos (IPVA e IPTU) para a agenda.

A referência do Pacto inspirou a replicação de coletivos voltados à restauração de ecossistemas, na última década. Na transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, no Pará, a Rede Sementes do Xingu, coordenada pelo Instituto Socioambiental (ISA), reúne hoje 647 grupos de coletores, entre os quais seis etnias indíge-

nas. Até hoje foram comercializadas 353 toneladas de sementes, no total de 220 espécies, na lógica de que não será somente com projetos de milhões de hectares que o Brasil terá sucesso na restauração, mas com envolvimento de atores locais que detêm o conhecimento no manejo de sementes.

O movimento culminou na criação do Redário¹⁷ – articulação entre redes de coletores de sementes nativas que atuam na base da cadeia de restauração no País. São 27 agrupamentos, no total de 1,5 mil coletores nos vários biomas (67% mulheres). Em 2024, os integrantes do Redário forneceram quase 100 toneladas de sementes.

O modelo permite compartilhar protocolos técnicos, indicadores, métodos de ação e logística, possibilitando trabalhar a cadeia da restauração de forma integrada, com melhores resultados. Além do enfrentamento da crise climática, a estratégia coletiva traz a dimensão da dignidade, qualidade de vida e direito à voz para comunidades e povos tradicionais.

CADEIA PRODUTIVA DA RESTAURAÇÃO SE PREPARA PARA A DEMANDA CLIMÁTICA

Desenvolver a cadeia produtiva da restauração de ecossistemas, em especial a base de sementes e mudas nos viveiros, é fator essencial à liderança do País em soluções de clima e natureza vindas das florestas. Considerando que 30% da meta climática brasileira de restaurar 12 milhões hectares até 2030 será atendida por plantio de mudas (o restante por sementes ou regeneração natural), a demanda chegaria a mais de 1,2 bilhão de plantas por ano no período, segundo estimativa da Nativas Brasil – associação que reúne 73 viveiros do País. Isso representaria a captura de 1 GtonCO₂ como contribuição climática, nos próximos cinco anos.



A atual capacidade dos viveiros brasileiros, porém, é de 250 a 300 milhões de mudas por ano, quatro vezes abaixo da necessidade projetada. Segundo analistas, o setor esbarra nos problemas de acesso a crédito e de tributação, junto à falta de informação e reconhecimento que cria um abismo entre os mecanismos financeiros e quem está na base da cadeia da restauração. Há necessidade de maior previsibilidade de demanda para o planejamento das entregas de mudas pelos viveiros.

Iniciativas empresariais na direção da grande escala

Com meta de plantar 2 milhões de hectares com árvores nativas em 20 anos, a empresa Biomas resulta da união de *expertises* no setor florestal e financeiro no negócio com a restauração que visa principalmente o mercado de carbono. A perspectiva é neutralizar emissões de terceiros pela captura de 1 GtonCO₂ no período – quase metade das emissões totais brasileiras em 2023. A empresa vê essa expansão da escala como resposta dos investimentos privados a políticas públicas no setor.

No caso da empresa re.green, o objetivo é restaurar 1 milhão de hectares de vegetação nativa na Amazônia e Mata Atlântica para créditos de carbono, a partir de um portfólio hoje com 30 mil hectares de áreas avaliadas e

restauração



já adquiridas, com baixa produtividade agrícola e alto potencial econômico e socioambiental ambiental ao receber a floresta de volta.

A primeira transação no mercado climático foi efetivada junto à Microsoft referente à captura de 6,5 milhões de toneladas de carbono ao longo de 25 anos, via 34 mil hectares de restauração. O plano da re.green é acelerar a compra de áreas e os plantios de mudas, com o desafio de obter capital catalítico de fomento à expansão. Financiamento de R\$ 180 milhões encontra-se em negociação para apresentar garantias de fiança no BNDES. Essa é uma barreira recorrente ao acesso a financiamentos pela restauração, caracterizada por riscos e resultados de longo prazo.

[soluções]

Em 2025, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) liberou R\$ 80 milhões do Fundo Clima para a empresa brasileira reconstruir áreas degradadas na Amazônia e Mata Atlântica. Especializada em restauração florestal em larga escala, a re.green foi uma das primeiras empresas a firmar um contrato de financiamento com o BNDES para reflorestamento via Fundo Clima, incluindo a reconstrução de parte do território do Arco da Restauração, que vai do leste do Maranhão ao Acre, passando pelo sul do Pará, Mato Grosso e Rondônia.

Os recursos do Fundo Clima – um dos principais instrumentos da Política de Mudança Climática do MMA – serão destinados às atividades de restauração envolvidas na execução do contrato da re.green com a Microsoft também na Mata Atlântica, além do bioma amazônico. São quase 15 mil hectares em áreas prioritárias para mitigação climática, biodiversidade e desenvolvimento socioeconômico. A operação marca a primeira rotulagem de biodiversidade aplicada a um projeto de restauração no Brasil, com avaliação “Verde Escuro” da S&P Global.

Em 2025, como um marco da indústria da restauração florestal rumo à grande escala na solução climática, a empresa Mombak também conseguiu captar recursos do Fundo Clima, gerido pelo BNDES, para reflorestamento na Amazônia com foco no mercado de carbono. Pela primeira vez na história, foi possível destravar o financiamento, com fiança bancária do Banco Santander. São mais R\$ 100 milhões de investimentos à dis-

posição da empresa para a regeneração de áreas degradadas. A Mombak tem contratos de créditos de carbono junto à Microsoft, McLaren Racing e Google, e já tinha captado US\$ 36 milhões do Banco Mundial e US\$ 120 milhões de um fundo com diversos investidores externos para avançar nos plantios.

A empresa Belterra, à frente de projetos agroflorestais no Pará, Rondônia, Mato Grosso e Bahia, testou diferentes modelos de financiamento e, nos últimos dois anos, acelerou a transição para grande escala por meio de arranjos inovadores no acesso a capital, inclusive pela captura de carbono. Como os prazos de receita na restauração são longos, em torno do terceiro ao quinto ano após os plantios, é preciso viabilizar novos modelos de investimento de forma que as transações no mercado climático se tornem competitivas com culturas tradicionais, como a soja.

Nas áreas da empresa, a cadeia produtiva do cacau é o carro-chefe, ao lado do açaí, cupuaçu, pupunha e outras espécies nativas nas agroflorestas, com expansão sobretudo no Pará, onde é maior a oferta de áreas. A meta é aumentar os atuais 4 mil hectares contratados para pelo menos 50 mil hectares até 2030, com implantação dos plantios até 2035. A receita dos créditos de carbono antecipada pelos investidores compõe 20% do capital necessário, junto a financiamento público. No campo privado, foram captados até agora R\$ 120 milhões de *blended finance* a menor custo, incluindo capital de risco, fomento e filantrópico.

Florestas Plantadas pela Silvicultura

Mosaicos que capturam carbono

Brasil é reconhecido mundialmente pelos grandes plantios florestais que abastecem a produção de papel, construção civil, siderurgia e outros mercados, com contribuição no enfrentamento da mudança climática

Florestas industriais cultivadas em monoculturas de larga escala para produção de celulose e papel, madeira destinada a móveis e construção civil, geração de energia e outros usos encorpam o cardápio de soluções climáticas brasileiras baseadas na retenção de carbono pelas árvores. São extensos mosaicos florestais – principalmente de eucalipto – associados a matas nativas das áreas de conservação nas propriedades rurais.

Essas grandes plantações florestais atendem à demanda por materiais de origem renovável no contexto da descarbonização da economia, ainda que exijam permanente cuidado de boas práticas contra riscos socioambientais e a recursos naturais como uma atividade intensiva de uso do solo.

O atual cenário é fruto de um longo histórico de pesquisas e investimentos do País na produtividade do eucalipto. A espécie originária da Austrália, Indonésia e outras ilhas da Oceania chegou ao Brasil no século XIX, com mudas plantadas no Rio Grande do Sul. Os primeiros plantios em escala comercial, caracterizados pelo rápido crescimento das árvores, ocorreram no início do século XX para fornecer lenha a locomotivas e dormentes de ferrovias em São Paulo. E então se espalharam no País para diversos usos como alternativa à madeira nativa extraída da Mata Atlântica.

A espécie encontrou no País condições ideais de clima e solo para prosperar. Na década de 1960, a silvicultura de eucalipto foi fomentada por programas de incentivo do governo federal como vetor de desenvolvimento econômico. Ao longo do tempo, a produtividade aumentou de 20 para os atuais 33 metros cúbicos de madeira por hectare ao ano – indicador que colocou a produção brasileira de papel e celulose como destaque global.

A Indústria Brasileira de Árvores (Ibá)¹⁸, organização empresarial que representa o setor de florestas cultivadas para fins industriais e de restauração com alto potencial de escalabilidade, abrange atualmente 10,2 milhões de hectares plantados no País – grande parte em terras degradadas pela pecuária. Associados a essa área produtiva, há mais 6,9 milhões de hectares de vegetação nativa conservados como cumprimento do Código Florestal ou como excedentes ao que obriga a lei. Esses fragmentos naturais promovem interações ecológicas necessárias à produtividade dos plantios comerciais de eucalipto.

As empresas que mantêm florestas industriais plantam 1,8 milhão de árvores por dia em diferentes ciclos de corte para posterior replantio, o que significa um estoque anual acumulado de 4,92 bilhões de toneladas de carbono – equivalente a mais de dois anos da emissão total das florestas brasileiras (2 bilhões de toneladas/ano), segundo indicadores da Ibá. As maiores extensões de plantios de eucalipto, pinus e outras espécies correspondem ao setor de celulose e papel (36 % da área total), à frente da siderurgia e carvão vegetal (12%).



O Brasil com suas florestas nativas, restauradas ou cultivadas para fins industriais deverá ter papel relevante no sistema regulado de abatimento de emissões de carbono entre países, a ser regulamentado pelo Artigo 6 do Acordo de Paris, com potencial de vantagens para empresas de base florestal.

Surgem oportunidades no mercado voluntário de carbono, a partir dos plantios de floresta nativa em áreas degradadas nas propriedades rurais fornecedoras de madeira às indústrias. Há expectativa de aumento do potencial de captura de CO₂ no atual processo de expansão do setor florestal no País: entre 2024 e 2028, estima-se cerca de R\$ 105,6 bilhões de novos investimentos em plantas industriais para celulose e outros produtos, com demanda para ampliação da silvicultura na trajetória de contribuições climáticas brasileiras.

Produtor de eucalipto para carvão vegetal usado na siderurgia, o Grupo Plantar é reconhecido pelo primeiro projeto brasileiro de carbono no âmbito do antigo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criado pelo Protocolo de Kyoto, que entrou em vigor em 2005. O objetivo foi a redução das emissões de metano e o aumento do carvão vegetal renovável na produção de ferro-gusa, em lugar do coque de carvão mineral. Ao longo de trinta anos, as florestas da empresa deverão diminuir a concentração de carbono na atmosfera em aproximadamente 12,8 milhões de toneladas, com transações financeiras junto a fundos de créditos de carbono.

SERVIÇOS AMBIENTAIS BUSCAM RECONHECIMENTO

Ao longo de três décadas, a adoção de selos de certificação socioambiental para acesso a mercados externos induziu boas práticas de manejo e conservação de florestas – com reflexos na escala de soluções climáticas. O Brasil tem participação ativa neste cenário desde a criação do Forest Stewardship Council (FSC), maior sistema de certificação de florestas e produtos de origem florestal do mundo que hoje também busca valorizar os serviços ecossistêmicos possibilitados pelo selo. A ferramenta permite às

florestas plantadas pela silvicultura



organizações que manejam florestas certificadas medir, verificar e comunicar seus impactos positivos no armazenamento de carbono, proteção à biodiversidade, conservação dos recursos hídricos e do solo e serviços recreacionais.

No total são 18 milhões de hectares de florestas (naturais sob manejo e cultivadas) certificadas pelo FSC no Brasil, com expectativa de elevar o patamar diante da emergência da mudança do clima. O tema está cada vez mais presente no dia a dia das pessoas devido aos impactos climáticos e prejuízos já em curso, mas há o desafio de um maior reconhecimento e valorização pelo mercado consumidor das soluções climáticas embutidas nos produtos.

[soluções]

Nativas: espécies brasileiras entram no jogo

Plantações de árvores nativas para fins comerciais contribuem com o desafio de zerar o desmatamento, capturam carbono e, ao mesmo tempo, garantem madeira legal para suprir a demanda do mercado

No contexto da mitigação climática, desponta uma nova e promissora frente de soluções que alia o atendimento à crescente demanda global de madeira, restauração de áreas degradadas e iniciativas no mercado de carbono. Na silvicultura de espécies nativas, a perspectiva é mudar o padrão da produção madeireira, ofertando de alternativas com menor dependência do produto extraído de florestas naturais – muitas vezes por meio do desmatamento e da degradação.

Na silvicultura, plantações em grande escala de espécies nativas empregam métodos de melhoramento genético e manejo, com finalidade econômica e recuperação de serviços ecossistêmicos. Além de oferecer madeira de qualidade à construção civil e outros segmentos para usos mais nobres não apropriados para o eucalipto, a atividade ajuda a suprir mercados que buscam alternativas



renováveis no portfólio em lugar de produtos à base de matérias-primas de origem fóssil emissoras de carbono.

O projeto Verena¹⁹ (Valorização Econômica do Reflorestamento com Espécies Nativas), iniciado em 2015 sob coordenação do WRI, representou um marco para o desenvolvimento do setor no Brasil. A iniciativa mobilizou atores para preencher lacunas de pesquisas, subsidiar análises de risco e dimensionar o potencial de negócios, incluindo o modelo de sistemas agroflorestais. Mais de 30 projetos foram levantados e modelados através da Ferramenta de Investimento Verena.

O movimento ganhou impulso com a criação de uma força-tarefa sobre o tema na Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura para o desenho um novo programa pré-competitivo de Pesquisa & Desenvolvimento. Lançada em 2021 para captação de recursos financeiros, a iniciativa, com foco na Amazônia e Mata Atlântica, recebeu US\$ 2,5 milhões do Bezos Earth Fund para iniciar os estudos.

Em parceria com o Parque Científico e Tecnológico do Sul da Bahia, o trabalho criou um polo experimental para melhoramento genético, visando a qualidade e desempenho da madeira no longo prazo até a maturidade das árvores. O plano é demonstrar em campo o papel da silvicultura de nativas na conservação das florestas e na economia, com impactos positivos na mitigação climática.

O conceito foi inserido pelo governo brasileiro no Planaveg como um dos modelos de implementação das metas nacionais de restauração de áreas degradadas. A silvicultura de nativas também se integra ao Programa Nacional de Conversão de Pastagens

florestas plantadas pela silvicultura

OPORTUNIDADE ESTRATÉGICA

1,7 milhão

DE HECTARES PODEM SUPRIR A
DEMANDA POR MADEIRA TROPICAL.

20 milhões

DE TONELADAS DE CO₂/ANO
PODEM SER CAPTURADAS.

Degradadas, no desafio de atrair parcerias de investimentos e negócios no cenário das oportunidades climáticas.

Segundo a Coalizão, cerca de 1,7 milhão de hectares de plantios de espécies nativas seriam suficientes para o Brasil suprir, inicialmente, a crescente demanda do mercado internacional de madeira tropical. Isso teria o potencial de capturar, aproximadamente, 20 milhões de toneladas de CO₂ por ano da atmosfera.

Pela importância no atual cenário do clima e biodiversidade, a silvicultura de nativas foi incorporada ao setor florestal representado pela Ibá, junto às florestas de eucalipto para celulose e outros usos industriais. Os plantios de uso comercial com árvores brasileiras contribuem com as metas nacionais de restauração de ecossistemas, inclusive em projetos de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), no contexto da agropecuária de baixo carbono.

[soluções]

Do pau-brasil ao jequitibá

Na região de Trancoso, Sul da Bahia, a empresa brasileira Symbiosis posiciona-se como referência na silvicultura de nativas associada à produção de madeira, restauração da biodiversidade e mercado de carbono. Desde 2017, foi uma trajetória intensiva em Pesquisa & Desenvolvimento na construção de uma inédita base de dados sobre custos, inventários florestais e potencial de crescimento das espécies madeireiras, testadas em diferentes escalas na missão de “domesticar” árvores nativas, viabilizando uso comercial.

Do pau-brasil ao jequitibá, a lista de opções é variada. Das 56 espécies de plantas inicialmente estudadas, 20 foram selecionadas como promissoras e 12 avançaram em programa de clonagem e melhoramento genético destinado a maximizar o rendimento e a qualidade da madeira nos plantios. Estudos citados pela empresa atestam que um ganho de 60% na produtividade florestal representa aumento de igual proporção na captura de carbono. Junto ao fator climático, o desafio é

conciliar a busca de resultados produtivos de longo prazo a ganhos efetivos de restauração da biodiversidade em áreas no passado desmatadas para pecuária.

Após trabalho piloto em 1,5 mil hectares, a área de plantio foi expandida para 5 mil hectares, em cinco fazendas ocupadas por pastagens degradadas na Mata Atlântica. O objetivo é tornar a silvicultura de espécies nativas tão relevante à economia nacional quanto a de eucalipto, ampliando a capacidade do País na oferta de madeira e soluções climáticas. De acordo com pesquisadores da Esalq-USP, o negócio pode ser entre 8 e 10 vezes mais rentável do que a pecuária.

Além da oferta de madeira nativa serrada sem desmatamento de áreas naturais, a estratégia inclui a comercialização de créditos de carbono no mercado voluntário para compensar emissões de gases-estufa de empresas por meio de novas florestas.

Em 2023, foi efetivada par-

ceria de investimento com o Restore Fund, mantido pela multinacional Apple, que se tornou sócia do empreendimento. O negócio principal gira em torno da madeira nativa voltada a usos nobres na construção civil e outros segmentos, e tem o carbono como estratégia para acelerar investimentos nos plantios iniciais. Em 5 mil hectares previstos nesta parceria (2 mil hectares neste ano), a expectativa é capturar 1 milhão de toneladas de carbono, em 30 anos.

Uma serraria será instalada pela empresa neste ano para início do processamento da madeira, em diferentes padrões de cores e texturas impressas pela natureza, com olhar em mercados *premium*. Além da venda de mudas de espécies madeireiras de alta qualidade genética para terceiros, há planos de expansão mediante compra e arrendamento de terras, trazendo oportunidades em outros modelos de restauração com finalidade econômica, como agroflorestas de cacau.



Empresas de papel e celulose: de olho no mercado climático

A Klabin participa do desenvolvimento da indústria florestal brasileira desde a exploração da araucária para produzir papel de jornal. Após o início das operações em Telêmaco Borba (PR), em 1934, as florestas de pinus e eucalipto que abastecem a empresa se expandiram e hoje compõem propriedades no total de 911 mil hectares – 43% de matas nativas, habitadas por 841 espécies de fauna.

As 24 unidades industriais emitem 10,5 milhões de toneladas ao ano de carbono, enquanto as florestas capturam 15,8 milhões toneladas, um balanço positivo de 5,5 milhões de toneladas como contribuição climática. Ainda assim, para se alinhar ao limite de 1,5 grau de aumento de temperatura global pelo Acordo de Paris, a empresa pretende reduzir 42% das emissões até 2030, conforme metas de redução aprovadas na Science Based Targets initiative (SBTi).

Atualmente, a Klabin realiza projeto-piloto em fazendas de fornecedores de eucalipto para validação de metodologias visando futuras oportunidades no mercado climático. A maior expectativa está no mercado regulado de carbono em negociação pelos países, com previsão de novo avanço na COP 30 do clima, neste ano, em Belém. Enquanto se prepara para possíveis

florestas plantadas pela silvicultura



vantagens pelas soluções climáticas das florestas, a companhia se destaca no acesso a mecanismos financeiros ligados à sustentabilidade. Hoje, 34% das captações de financiamento pela empresa são na linha de *green bonds*, com redução da taxa de juros conforme o cumprimento de metas em serviços ambientais – como a biodiversidade, com o trabalho da empresa na reintrodução de animais na natureza.

[soluções]

Já a Suzano – um dos maiores fabricantes de papel do País, com 2,9 milhões de hectares de terras, dos quais 1,7 milhão destinados à produção e 1,1 milhão à conservação – assumiu o compromisso de remover 40 milhões de toneladas de carbono da atmosfera até 2025. Até 2024, a empresa atingiu 73,4% da meta. Em 2025, seguirá expandindo a base florestal, com continuidade dos programas de conservação e restauração ecológica, que resultarão em acréscimo de remoções ao longo dos anos.

Em outra frente, a empresa planeja reduzir em 15% a intensidade (emissões por tonelada de produto) de emissões dos escopos 1 e 2 (sem incluir a cadeia de fornecimento), até 2030, considerando o ano-base de 2015. Até o ano de 2024, 58,15% da meta foi cumprida.

A estratégia é de expansão da base florestal em áreas antropizadas ou degradadas, ampliando a cobertura vegetal. As remoções de carbono ocorrem quando há crescimento de biomassa florestal – por exemplo, quando se planta até mesmo uma única árvore em área de pastagem ou quando se aumenta uma área já plantada. Desse modo, quando há um aumento no volume de biomassa em determinada área da Suzano, seu incremento equivalente em carbono é considerado como “remoção

KLABIN

911 mil hectares

DE FLORESTAS – SENDO 43% DE MATAS NATIVAS, QUE ABRIGAM 841 ESPÉCIES DE FAUNA.

5,5 milhões

DE TONELADAS DE CO₂ – SALDO POSITIVO ANUAL ENTRE EMISSÕES E REMOÇÕES.

SUZANO

2,9 milhões de hectares

DE TERRAS – COM 1,1 MILHÃO DEDICADO À CONSERVAÇÃO AMBIENTAL.

40 milhões

DE TONELADAS DE CO₂ – META DE REMOÇÃO DA ATMOSFERA ATÉ 2025, COM 73,4% JÁ CUMPRIDOS.

direta por mudança de uso do solo”. O estoque de carbono da empresa é, então, o saldo entre todas as emissões e remoções diretas do uso do solo nas áreas florestais que ocorreram em determinado ano (ou uma “fotografia” anual de todo o carbono que está armazenado em seus reservatórios naturais).

Com manejo florestal responsável, a Suzano conta com áreas de cultivo de eucalipto em que o processo de plantio, colheita e conservação da mata nativa estão em forma de mosaico. Desta forma, a companhia mantém um estoque de carbono constante, com as áreas destinadas à conservação estabilizadas ou em crescimento e removendo carbono da atmosfera, e as áreas de cultivo de eucalipto, em sua maior parte, com mudas em crescimento. O valor de remoção de CO₂ vinculado ao processo de restauração ambiental e das Áreas de Alto Valor de Conservação (AAVCs) está incluso nos valores de remoção das áreas de vegetação nativa.

Em relação às áreas de florestas plantadas, como a Suzano conta com um ciclo de cultivo de aproximadamente sete anos, apenas um sétimo das áreas de floresta plantada está sob constante colheita. Os outros seis sétimos das áreas de floresta plantada estão, em diferentes intensidades, estocando carbono ao longo do tempo e garantindo a permanência desse estoque no campo.

Nas áreas da companhia, a floresta nativa corresponde a 80% das remoções líquidas, enquanto a plantada com eucalipto contribui com 20%. Em paralelo, a oferta de produtos de origem renovável no mercado ajuda na descarbonização da economia global. Até 2030, o plano é disponibilizar 10 milhões de toneladas de produtos que possam substituir o plástico e outros derivados do petróleo.

No campo da biodiversidade, a Suzano pretende conectar meio milhão de hectares de áreas prioritárias para a conservação da fauna e flora no Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia. Em 2024, foram implementados trechos de corredores ecológicos que conectaram mais de 102 mil hectares de fragmentos de matas nativas.

O ano de 2024 marcou o início da implantação de corredores ecológicos fora da área da Suzano, a partir da parceria com a Inovaland. Essa parceria constitui um *matchfunding* junto à Kirkib para realizar parte das implantações previstas para o corredor ecológico da Mata Atlântica, projeto denominado “Corredor da Mata”. As ações desse ano foram responsáveis pela implantação do corredor etnoecológico Maturembá, que possibilitou a conexão de duas importantes Unidades de Conservação: o Parque Nacional do Descobrimento e o Parque Nacional e Histórico do Monte Pascoal.

energia



[introdução]

Força renovável

Os biocombustíveis pertencem ao seletivo grupo de segmentos econômicos com potencial não só para zerar, mas se tornarem negativos em emissões de gases de efeito estufa

O Brasil destaca-se como protagonista no uso das fontes renováveis devido, em parte, aos recursos naturais – abundância de terra agricultável, rios volumosos, ventos e radiação solar, grande extensão de território terrestre e marítimo. Mas o bom resultado decorreu principalmente da adoção de estratégias de longo prazo, políticas públicas encadeadas ao longo de diferentes governos e arcabouço regulatório que incentivaram a criação e expansão de uma matriz energética menos poluente que a média global.

A bioenergia – energia criada a partir da biomassa que pode ser utilizada tanto para a produção de eletricidade quanto para geração de calor e biocombustíveis – exerce papel crucial na mitigação da mudança climática e na transição para uma economia de baixo carbono. Os biocombustíveis pertencem ao seletivo grupo de segmentos econômicos com potencial não só para zerar, mas se tornarem negativos em emissões de gases de efeito estufa (GEE).

O setor de bioenergia já tem por natureza efeito mitigador, por cultivar matérias-primas agrícolas, usualmente em monocultura e em grande escala, e por substituir combustíveis fósseis por opções que emitem menos carbono. Mas pode ampliar seu impacto ao adotar práticas e frentes de negócios ainda pouco aproveitadas, como cultivo agroflorestal, regeneração de solos e captura e armazenagem de carbono – cada uma com contribuição adicional à mitigação.

O transporte de cargas e pessoas responde por 20% das emissões de GEE¹ no mundo. No Brasil, esse segmento emitiu 224 milhões de toneladas de carbono equivalente em 2023, crescimento de 3,2% em relação ao ano anterior e mais da metade do total por uso de energia no País². Isso ressalta a importância de sua descarbonização.

Os biocombustíveis, nos quais o Brasil é pioneiro e líder global, são particularmente importantes para esse trabalho – e sua produção mun-

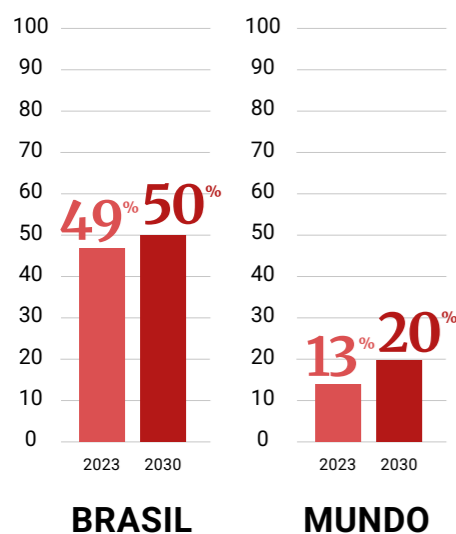
dial precisa aumentar para que a humanidade tenha chance de chegar a um cenário *net zero* (emissões líquidas iguais a zero) em 2050³. Esses combustíveis já se aplicam com sucesso ao modal rodoviário, o que mais contribui com as emissões no setor dos transportes (72%)⁴, e a expectativa é que seu uso se difunda também pelos modais aéreo e marítimo.

Os efeitos benéficos do segmento não se restringem ao enfrentamento da crise climática. Podem se estender à sustentabilidade em sentido mais abrangente, incluindo geração de emprego e renda de forma difusa e adaptada a diferentes regiões, qualificação profissional, desenvolvimento local e prestação de serviços ambientais variados.

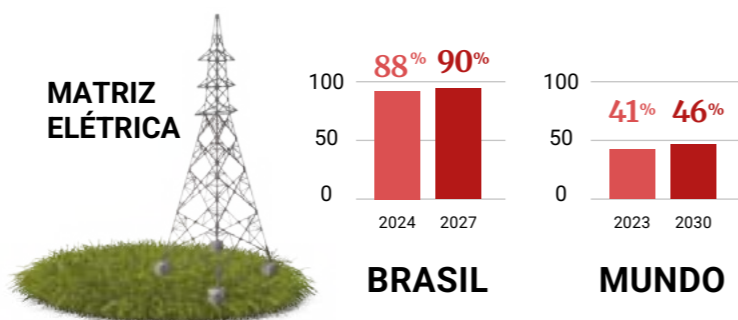
BRASIL COMO EXEMPLO E CRIADOR DE SOLUÇÕES

PARCELA DE RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA DO PAÍS CONTINUARÁ AVANÇANDO PELOS PRÓXIMOS ANOS (EM % DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS)

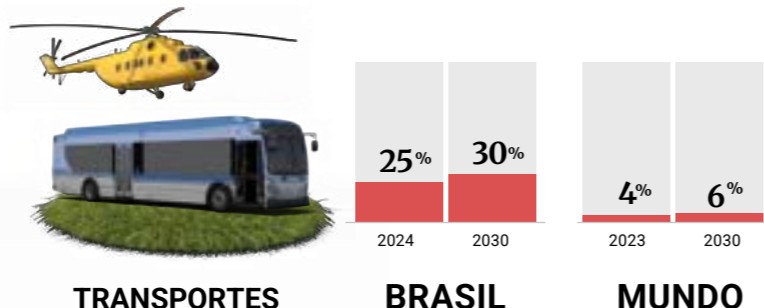
MATRIZ ENERGÉTICA TOTAL



MATRIZ ELÉTRICA



TRANSPORTES



Fonte: Electricity 2025 - IEA
Renewables 2024 - Global Overview - IEA
Global Electricity Review 2025 - Ember
Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 - Energia e Meio Ambiente - EPE
Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 - Energia e Meio Ambiente - EPE
MME - <https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2021-08/brasil-quer-chegar-2030-com-30-de-combustiveis-renovaveis>

CONTRIBUIÇÕES DO SOL E DO VENTO

A geração de energia elétrica responde por outros 30% das emissões globais de GEE – daí a relevância de descarbonizar essa atividade. No Brasil, foram 38 milhões de toneladas de carbono equivalente emitidas em 2023. O País novamente oferece bom exemplo, ao ampliar a participação das fontes de energia eólica e solar fotovoltaica em sua matriz elétrica (que já era predominantemente renovável mesmo antes desse movimento). As duas conferem ao sistema maior diversidade de fontes, distribuição na capacidade instalada e resiliência, frente a mudanças no regime de chuvas que podem ter impacto na geração hídrica.

Assim como em bioenergia, os efeitos benéficos das fontes eólica e solar podem se estender para além da construção da economia de baixo carbono e resultar em geração de emprego e renda, qualificação profissional valiosa também para a exportação de bens e serviços, desenvolvimento local e estímulo a pesquisa e desenvolvimento em território brasileiro.

Em face da crise climática, cabe ao País – governo e sociedade – acelerar o passo e indicar à comunidade internacional um rumo viável para a transição energética.



ENERGIA E EMISSÕES EM NÚMEROS

30% das emissões

GLOBAIS VÊM DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

38 milhões de toneladas

DE CO₂EQ EMITIDAS NO BRASIL EM 2023.

2 fontes renováveis

EM ALTA: EÓLICA E SOLAR FOTOVOLTAICA.

O protagonismo em bioenergia

O ciclo virtuoso de políticas públicas, resposta positiva das empresas e aceitação do consumidor trouxe ao cenário atual um setor robusto, que inclui pelo menos 68 usinas de biodiesel e 436 de etanol, emprega mais de 2,2 milhões de pessoas e corresponde a cerca de 4,5% do PIB

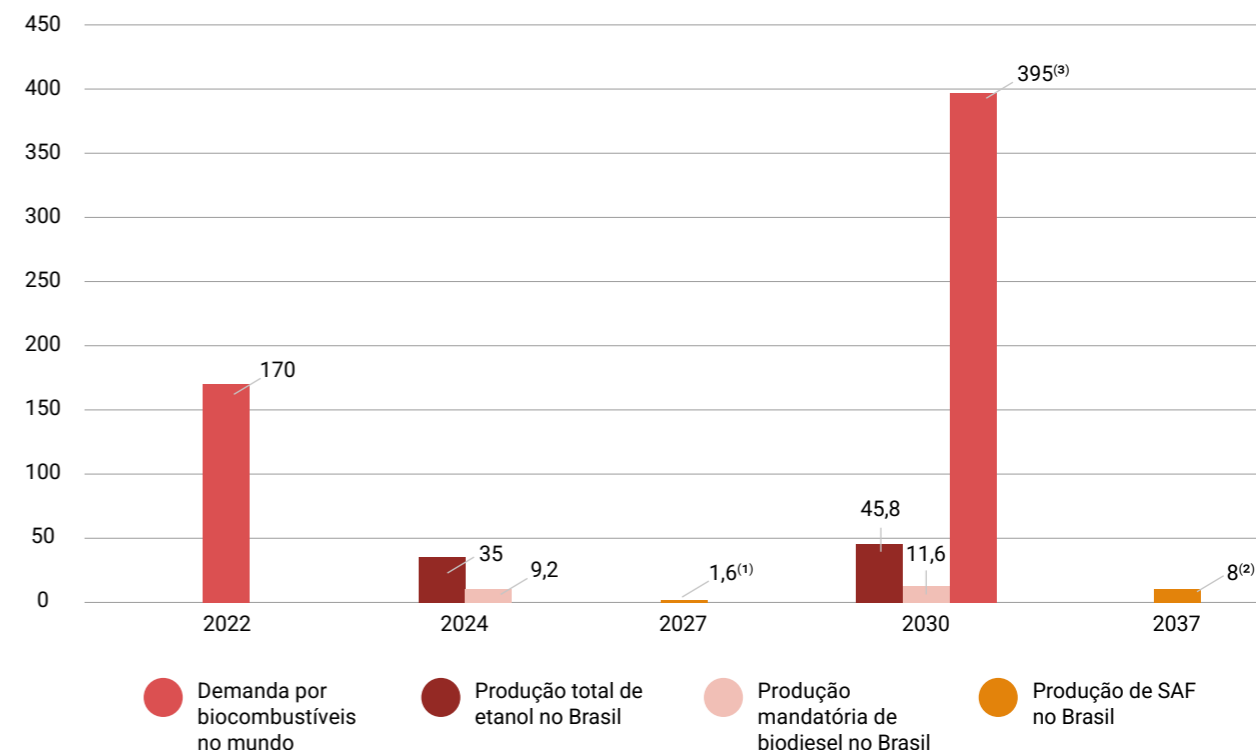
O Brasil tornou-se protagonista global em bioenergia por uma série de decisões adotadas ao longo das últimas décadas, do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) nos anos 1970, passando pela continuidade no esforço de pesquisa e desenvolvimento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em agricultura tropical – que resultou em aumento de mais de 180% na produtividade da cultura da soja nos últimos 45 anos –, chegando à Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), de 2017.

O avanço mais recente foi a aprovação e sanção da Lei nº 14.993/2024, conhecida como Lei do Combustível do Futuro, que fortaleceu a posição do Brasil ao estabelecer incentivos para biocombustíveis (mais especificamente, etanol, biodiesel, biometano, combustível sustentável de aviação – SAF – e diesel verde).



BIOCOMBUSTÍVEIS: DEMANDA CRESCENTE

O MELHOR CENÁRIO GLOBAL DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA PEDE MAIOR PRODUÇÃO NO BRASIL (EM BILHÕES DE LITROS)



¹ Projeção inicial

² Limite superior da projeção

³ Supondo mesmo mix de biocombustíveis; cenário Net Zero da IEA em 2030

Fonte: Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 - Oferta de Biocombustíveis - EPE
IEA - Biofuels - <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/biofuels>

O ciclo virtuoso de políticas públicas acertadas, resposta positiva das empresas e aceitação do consumidor trouxeram ao cenário atual um setor robusto, que inclui pelo menos 68 usinas de biodiesel e 436 de etanol, emprega mais de 2,2 milhões de pessoas e corresponde a cerca de 4,5% do PIB. A maturidade, nesse caso, não significa estagnação: o governo federal estima que o setor receberá um total de investimentos de R\$ 260 bilhões até 2037

(e neutralizará 705 milhões de toneladas de CO₂ no mesmo período).⁵

A produção dos dois principais biocombustíveis do País, etanol e biodiesel, deve crescer 30% e 26%, respectivamente, até 2030. A Petrobras, maior empresa do País, reforça em seu Plano de Negócios 2025-2029 e em seu Plano Estratégico 2050 que buscará ingressar no segmento de etanol.

Mesmo com o cenário promissor, a expansão da bioenergia no Brasil enfrenta desafios. O segmento de biogás precisa avançar na adoção de tecnologias e modelos de gestão já disponíveis, capazes de elevar sua produção e eficiência, assim como reduzir seu impacto ambiental.

A purificação do biogás em biometano, assim como o etanol de segunda e terceira geração, o hidrogênio renovável e o SAF⁶ ainda exigem investimento em pesquisa e desenvolvimento para que cheguem ao estágio de produção em grande escala e economicamente viável. O SAF pode custar atualmente até cinco vezes mais que o querosene de aviação.

[contexto]

A infraestrutura para armazenamento, distribuição e mistura do SAF nos aeroportos também precisa ser desenvolvida. O aumento da produção de etanol projetado para os próximos anos demanda expansão das redes de ferrovias e de dutos no País. O setor carece de investimento em formação profissional específico para cada região e cada rota tecnológica.

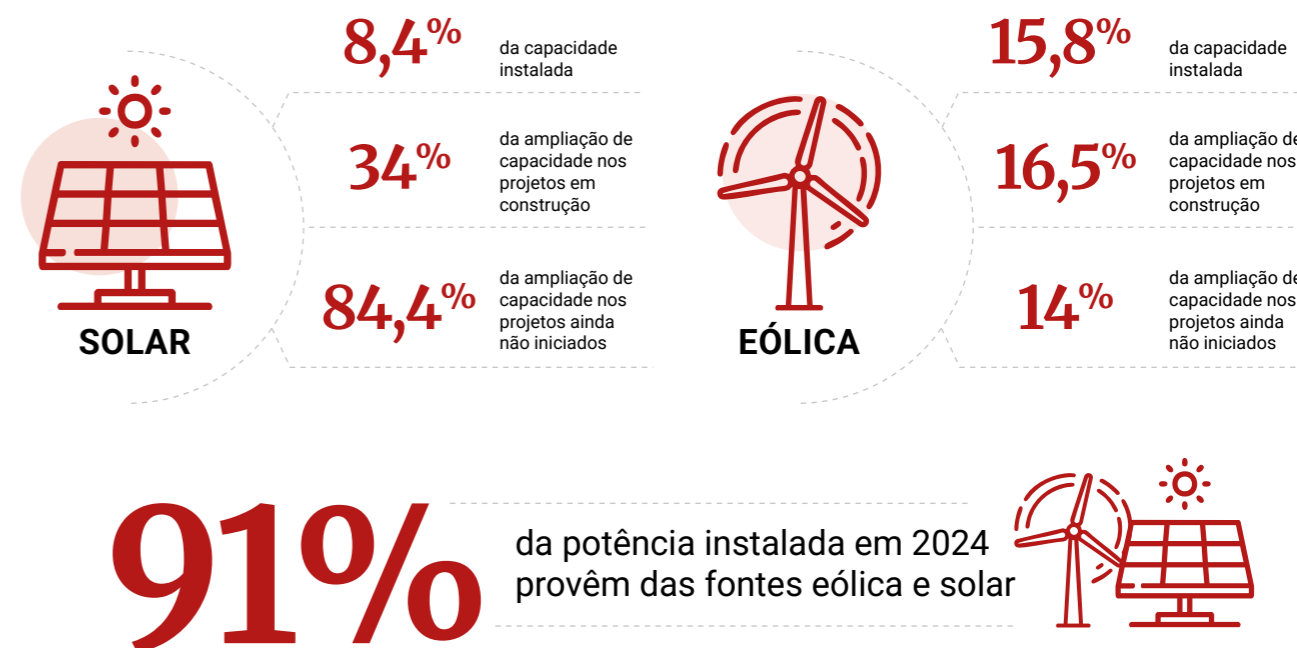
Além disso, a fim de manter o benefício ambiental e o apelo global do caso brasileiro, é preciso garantir que o aumento na produção dos biocombustíveis respeite a sustentabilidade dos processos produtivos, a preservação da biodiversidade, o uso racional da água e a garantia da segurança alimentar.

Persiste em alguns mercados uma resistência aos biocombustíveis, pela dificuldade em mensurar riscos ambientais, trabalhistas e de disputa de área agricultável com alimentos. O Brasil precisa suprir essa lacuna de informação, na visão da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove), e certificar as melhores práticas, segundo a empresa de energias renováveis Be8.

Entre as soluções para atender à demanda global com baixo risco estão o uso de resíduos agrícolas, pastoris e florestais (o que dispensa o aumento de área plantada⁷), o uso preferencial de áreas degradadas (sem a necessidade de abrir novas fronteiras agrícolas, um grande diferencial a favor do setor no território brasileiro), e a adoção de sistemas integrados de biorrefinarias com agricultura regenerativa e sistemas agroflorestais.

GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA GANHAM PARTICIPAÇÃO

PERSPECTIVA É DE QUE A ENERGIA SOLAR ASSUMA A LIDERANÇA NA EXPANSÃO DA POTÊNCIA INSTALADA (EM JANEIRO DE 2025)



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel)

FORÇAS COMPLEMENTARES

As fontes eólica e solar fotovoltaica avançam rapidamente na matriz elétrica nacional. Ambas respondem juntas por 91% da potência que foi instalada no País (solar fotovoltaica por 52% e eólica por 39%) e por 268 das 301 usinas que começaram a operar em 2024⁸. Como resultado, a energia eólica corresponde a 15,8% da capacidade instalada do sistema integrado e a solar, a 8,4% (se considerarmos também os sistemas autônomos de energia solar, essa parcela salta para 22,2% de toda a capacidade instalada no País).

Por esse avanço rápido, o Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), em seu relatório de 2024 com dados de 145 países, destaca o Brasil entre os mercados a observar.

As duas fontes, solar e eólica, beneficiam-se da situação natural do Brasil, receptor de grande insolação e de ventos constantes e intensos. São também complementares entre si, já que os meses com ventos mais fortes tendem a ser aqueles com menor insolação, e vice-versa.

Como ocorre com biocombustíveis, as duas fontes têm cadeias de valor longas, ou seja, com potencial para geração de empregos na indústria e em serviços associados, assim como exportação de bens e serviços. Os dois segmentos contam ainda com nível satisfatório de segurança jurídica, oferecida pela Lei nº 15.097/2025 (eólica *offshore*) e pela Lei PL5829/2019 (geração solar distribuída). Mas ambos enfrentam desafios para manter o ritmo de expansão.

A Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEE-ólica) questiona subsídios, incentivos fiscais e reservas de mercado no Sistema Elétrico Brasileiro, assim como a expansão das termelétricas, em curso. A entidade pede também a inserção de baterias de grande porte no sistema brasileiro – o que beneficiaria as operações eólicas e solares, considerando a intermitência na geração.

Já a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar) busca junto à Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) fiscalização

mais rigorosa e punições para distribuidoras que, a seu ver, descumprem a regulação do setor, ao negar pedidos de conexão de sistemas de geração distribuída.

Energia renovável é um dos setores econômicos em que o Brasil conquistou protagonismo global inquestionável. É um desdobramento desejável que, a partir das cadeias produtivas já estabelecidas e em desenvolvimento no País, os efeitos benéficos se estendam para além das fronteiras nacionais.

Qualquer estratégia – atual e futura – adotada para o setor pode compreender diferentes abordagens para inserção internacional, incluindo exportação de biocombustíveis e bioenergia em diferentes formas, exportação de bens industrializados com menor pegada de carbono (fabricados com uso de energia renovável), exportação de serviços associados às cadeias de energia renovável, transferência de tecnologia a países mais pobres e a apresentação, ao mundo, de um modelo de desenvolvimento e segurança energética mais limpo e justo.

O Brasil apresenta soluções já maduras em etanol, biodiesel, eólica e solar

Etanol

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos. O uso desse biocombustível, puro ou em adição a combustíveis fósseis, é um modo eficiente de conter emissões de GEE, já que ele emite aproximadamente 73%⁹ menos carbono que a gasolina em veículos de passeio. O teor de etanol na gasolina no País pode passar de 27% a 30% ainda em 2025 e a Lei do Combustível do Futuro prevê uma possível elevação para até 35%.

Esse limite máximo, porém, ainda não tem viabilidade técnica comprovada. Caso se mostre impraticável, em breve poderá estar encerrada, para o etanol, a via de crescimento por meio do aumento do teor na gasolina. Mas há muitas outras a serem exploradas, como a expansão da frota de automóveis flex (preferencialmente acompanhada de campanhas educativas para os consumidores ainda resistentes ao biocombustível); a eventual adoção de veículos elétricos movidos a hidrogênio obtido por reforma de etanol¹⁰; e o uso em máquinas pesadas.



Como biocombustível mais estabelecido e com maior volume de produção no País (36,8 bilhões de litros em 2024¹¹), o etanol pode liderar o processo de criação de uma cadeia produtiva mais resiliente, capaz de combinar diferentes atividades – agricultura, pecuária, gestão florestal – e que resulte em uma proposta genuinamente brasileira para o mundo: uma agroindústria regenerativa.

Em um avanço que traz benefícios sociais, ambientais e econômicos, o setor vem diversificando sua base de matérias-primas e reduzindo a predominância da cana-de-açúcar: a cultura do milho já responde por 22% do etanol no País e essa parcela deve continuar a crescer. A Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) vem avaliando e autorizando usinas baseadas em outras opções, como batata-doce, soja, sorgo e trigo¹².

NOVOS HORIZONTES DO ETANOL

Um dos projetos mais abrangentes atualmente nessa área é o Brave, conduzido na Unicamp e financiado pela Shell¹³, na cláusula de P&D da ANP. Visa desenvolver um modelo de biorrefinaria completa, em áreas degradadas do Nordeste, baseada em biomassa de agave – uma planta com alta resistência à seca. O programa abrange a produção de biochar (com emprego no enriquecimento de solos e captura de carbono na agricultura) e uma série de biocombustíveis: etanol de primeira e segunda geração, biogás, bioóleo e gás de síntese.

Outra frente de trabalho envolve o

uso de etanol em termelétricas e veículos pesados, como tratores. A Vale anunciou¹⁴ em 2024 a iniciativa de desenvolvimento de caminhões fora de estrada (veículos com peso superior a 200 toneladas) movidos a uma mistura de etanol e diesel. Já a fabricante de equipamentos de energia finlandesa Wärtsilä vai conduzir uma experiência pioneira na usina térmica Suape II¹⁵, em Recife (PE). A instalação deverá ser a primeira do mundo em sua categoria a operar com etanol. Os testes iniciais ocorreram em 2025 e a experiência tem duração prevista de cinco meses e meio a partir de abril de 2026¹⁶.



Biodiesel

Em produção de biodiesel, o Brasil também está na vice-liderança global, atrás dos Estados Unidos. A produção do biocombustível nacional é diversa em matérias-primas e origem geográfica: é relevante nas cinco regiões brasileiras e usa principalmente soja (69% do total)¹⁷, mas também algodão, outras oleaginosas (como mamona, dendê, canola, girassol e amendoim) e gorduras animais.

O setor pode se tornar mais resiliente se reduzir sua dependência da soja e usar mais matérias-primas locais. A parcela mínima de mistura ao diesel, obrigatória por lei, avançou de 2% em 2005 para os atuais 14% (mistura denominada B14), com possibilidade de chegar a 25% até 2030. Desde 2024, a experiência indonésia¹⁸ com teor de 40% deu bom resultado, assim como os testes feitos no Brasil com caminhões das montadoras Scania e Volvo que usam biodiesel puro (B100).

A MAIOR FÁBRICA DE BIODIESEL DO MUNDO

O efeito do biocombustível como multiplicador de investimentos é evidenciado em um dos projetos mais ambiciosos em andamento no País: o Grupo Potencial quer construir a maior fábrica de biodiesel do mundo, com incentivo da Lei do Combustível do Futuro. A companhia anunciou em outubro de 2024 investimento de R\$ 600 milhões para ampliar a capacidade de produção de sua fábrica em Lapa, na Região Metropolitana de Curitiba¹⁹ e o investimento total previsto supera R\$ 2 bilhões.

A expansão visa aumentar a produção de biodiesel de soja de 900 milhões de litros por ano para 1,62 bilhão de litros (a produção total do Brasil está próxima de 9,2 bilhões de litros por ano). O projeto inclui a construção de um terminal ferroviário para ligar a planta à linha férrea até o Porto de Paranaguá e um duto de biodiesel de 55 km, ligando Lapa ao Polo Petroquímico de Araucária, no Paraná, com investimento de R\$ 150 milhões. A obra começou em 2025 e está prevista para terminar em 2026.

Energia eólica

A capacidade instalada de energia eólica cresceu para 34,3 GW no Brasil em 2024, um avanço de 13%²⁰, (aproximando-se de 16% da capacidade total no País) superior ao ritmo da expansão global, de 11%²¹. Essa forma de geração contribui para que a matriz elétrica brasileira se torne mais renovável e mais segura, com menor dependência das chuvas para alimentar reservatórios de hidrelétricas. A característica de geração variável típica dessa tecnologia (dada a variação e menor previsibilidade dos ventos) deve passar a ser mais bem administrada no Brasil este ano, com a inclusão de baterias nos leilões de construção de parques eólicos²² – um avanço regulatório em elaboração, em sintonia com o progressivo barateamento global dos sistemas de armazenagem de energia.

A outra grande transformação em andamento no setor ocorre com a promulgação da Lei nº 15.097, em janeiro de 2025, que regulamenta os parques eólicos *offshore* no País.

Em março, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) contava 104 projetos offshore cadastrados à espera de análise, já bem distribuídos pelo litoral: 50 no Nordeste, 32 no Sul e 22 no Sudeste²³.

[soluções]

A definição das normas infralegais desse segmento obedece a um cronograma que permita a realização do primeiro leilão em 2025 e o início de operações das turbinas em 2031.

As lacunas de normatização envolvem algumas questões cruciais para o segmento. É necessário definir os procedimentos para que os interessados proponham prospectos de prisms – como são conhecidas as áreas com potencial para exploração –; os requisitos técnicos, econômicos e de compras nacionais para os interessados em disputar prisms; as penalidades para os casos de descumprimento das obrigações da outorga; e as regras de uso do espaço para os casos de prisms coincidentes com blocos de produção de petróleo e/ou gás natural.

Também se faz necessário concluir o Planejamento Espacial Marinho (PEM), para ordenar o uso do espaço e contemplar impactos socioambientais variados da atividade, sobre comunidades costeiras e a fauna marinha.

Além de diminuir emissões de carbono ao fornecer eletricidade renovável, a expansão dessa fronteira energética em terra e no mar cria efeitos econômicos benéficos, por outras vias: tem forte presença no Nordeste, região mais carente do País (há uma frente de trabalho promissora nas políticas de capacitação profissional em energia eólica, como já fizeram, com sucesso, Índia e Polônia); gera renda por meio do arrendamento de terra, em áreas que seriam pouco produtivas com outra atividade; e exige a contratação de produtos e serviços especializados em uma cadeia de valor longa. Atualmente, cerca de 80% do conteúdo de uma usina eólica é fabricado no Brasil²⁴. A ABEEólica estima que cada 1 MW instalado no setor gere 11 postos de trabalho e cada R\$ 1 investido no setor acrescente R\$ 2,9 ao PIB em até 14 meses.

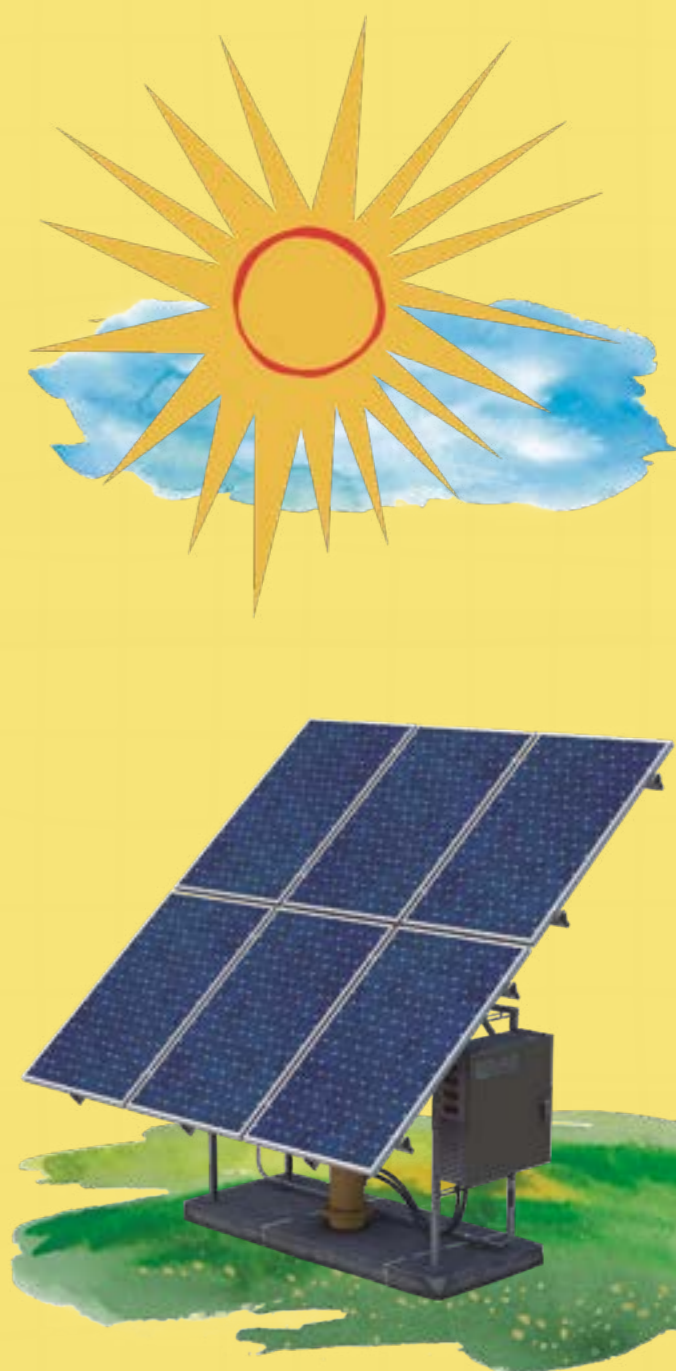
Energia solar

A potência instalada de energia solar fotovoltaica no mundo aumentou quase 30%²⁵ em 2024, para 2.200 GW (essa fonte está a caminho de se tornar a renovável mais relevante do mundo em 2030²⁶). Trata-se de um ritmo intenso de aumento da capacidade – e ainda assim, a expansão da potência instalada no Brasil o superou, chegando a 38% em 2024²⁷, para 55 GW (mais de um quinto da capacidade total instalada).

O País foi o sexto maior produtor de energia solar do mundo em 2023²⁸.

A fonte solar oferece ao País vantagens variadas: torna a matriz menos dependente do regime de chuvas, que tende a ser afetado pela crise climática; diminui a necessidade de acionamento de termelétricas, poluentes e mais caras; ganha eficiência na ausência de nebulosidade (característica da condição meteorológica mais seca que tende a se tornar mais comum no País) e gera mais energia no período do dia com maior insolação, que tende a coincidir com o momento de temperatura média mais elevada e consequente aumento da demanda por eletricidade pelos sistemas de ar condicionado e refrigeração industrial.

Além disso, mostra versatilidade, encaixando-se bem tanto no modelo de geração centralizada, a partir de grandes usinas, quanto no de geração distribuída. Os estados líderes em número de unidades consumidoras²⁹ são Minas Gerais, com 900 mil, São Paulo, com 756 mil, e Rio Grande do Sul, com 468 mil; no primeiro trimestre de 2025, foram instalados mais de 147 mil sistemas pelos consumidores, com o abastecimento de 228,7



mil imóveis e 1,6 GW adicionado³⁰. No modelo de geração distribuída, encaixa-se também nas diferentes condições e necessidades de residências, comunidades isoladas, comércio, indústria e agronegócio.

Entre as potencialidades pouco aproveitadas está a fabricação nacional de componentes. O Brasil tem produção relevante de alguns itens, como rastreadores solares e estruturas de sustentação, mas há espaço para uma produção de módulos e inversores que seja capaz de competir com os produtos importados. Outra potencialidade é o aproveitamento integrado no agronegócio, já que áreas extensas de painéis fotovoltaicos criam áreas sombreadas, adequadas para criações ou cultivos específicos, e com menor evaporação (ou seja, melhor manutenção de umidade no solo).

O País pode ainda aumentar a geração solar fluante em reservatórios de hidrelétricas e outros corpos d'água, aproveitando a maior eficiência dos painéis pela refrigeração e proteção adicional dos mananciais contra evaporação excessiva. Além de criar redes locais com sistemas de armazenamento de energia em baterias – solução promissora para áreas isoladas, ainda muito dependentes de geradores a diesel, que são caros e emissores de carbono e poluição sonora. O programa federal Luz para Todos levou energia

CRESCIMENTO DA ENERGIA SOLAR

900 mil

UNIDADES
CONSUMIDORAS
EM MINAS GERAIS
– ESTADO LÍDER
EM GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA.

756 mil

EM SÃO PAULO E
468 MIL NO RIO
GRANDE DO SUL.

147 mil

SISTEMAS
INSTALADOS SÓ
NO 1º TRIMESTRE
DE 2025.

228,7 mil

IMÓVEIS
ABASTECIDOS E
1,6 GW
ADICIONADOS À
REDE.

[soluções]

solar a mais 150 mil consumidores na Amazônia Legal nos últimos cinco anos. Até 2026, a meta é chegar a cerca de 2 milhões de pessoas³¹.

O segmento deverá ganhar impulso adicional com melhorias na gestão e normatização. Parte do avanço depende da implementação do Marco Regulatório de Armazenamento de Energia pela Aneel. O marco cobriria tanto sistemas conectados à rede elétrica como aqueles isolados e poderia resultar em barateamento de equipamentos, como baterias. A implementação pode ocorrer em 2025.

Em outra frente de trabalho, o Operador Nacional do Sistema (ONS) testa, desde setembro de 2024, no Ceará e no Rio Grande do Norte, mudanças nos processos de suspensão temporária de geração eólica e fotovoltaica. Essas restrições resultaram, em 2024, no corte de 400 mil horas de geração, em 1.445 usinas, segundo a consultoria Volt Robotics.

O ONS afirma que impõe as restrições principalmente por limitações das redes de transmissão. O órgão avalia a possibilidade de distribuir mais as restrições, geograficamente, o que poderia chegar ao mesmo resultado (de respeitar a limitação da rede) sem que isso acarrete ônus financeiro excessivamente concentrado em usinas de algumas áreas.



Biogás e biometano, biomassa, etanol 2G e SAF estão em ascensão

BIOGÁS E BIOMETANO

Estão em expansão no Brasil o biogás, produzido a partir da digestão anaeróbia de matéria orgânica (resíduos agroindustriais, esgoto, resíduos sólidos urbanos) e seu derivado biometano. Este é intercambiável com o gás natural, ou seja, pode substituir completamente o equivalente fóssil ou ser misturado a ele em qualquer proporção, sem necessidade de adaptar o motor.

Tanto o biogás como o biometano podem substituir fontes fósseis em processos industriais, na geração de energia elétrica, na geração de calor e como combustível em veículos de carga. Seu uso controlado, em vez de simples liberação na atmosfera, contribui com a mitigação da crise climática. Além disso, confere valor aos resíduos e incentivam sua gestão cuidadosa – um desdobramento desejável, considerando-se

que ainda há cerca de 3 mil depósitos de lixo urbanos a céu aberto no País³².

Mas há obstáculos na difusão desses combustíveis. A adoção do biometano e do biogás em grande escala passa por resolver questões de infraestrutura, garantia de suprimento e qualidade, segundo o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe-UFRJ).

O produto – fabricado de forma descentralizada no País – precisa ser analisado em laboratório, considerado condizente com a especificação da ANP (é considerado biometano no Brasil o gás com ao menos 90% de metano) e enviado para uma rede de distribuição. Nenhuma dessas etapas está devidamente organizada.

A Associação Brasileira do Biogás e do Biometano (ABiogás) tem impulsionado projetos como o Corredor Sustentável de Biometano, conectando produtores e consumidores estratégicos no Paraná, no Rio de Janeiro e em São Paulo. O objetivo é deixar o biometano disponível em postos ao longo das rodovias para atender ao transporte de carga pesada. No Paraná, o projeto cobre mais de 4 mil quilômetros de estradas em 147 municípios. A troca de combustível tem oferecido economias de até 60% aos usuários³³.

Há bons exemplos no País de tratamento de esgoto sanitário com tecnologia adequada, como reatores de alta taxa (muito menores e mais eficientes). Entre eles estão a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Barão Geraldo, em Campinas (SP), e a ETE Água Vermelha, em São Carlos (SP). Nessas instalações, converter o biogás em biometano é o passo seguinte. Existem diversas tecnologias disponíveis já com maturidade tecnológica industrial, como lavagem química, adsorção em carvão ativado e biodes-

sulfurização. Esses processos são caros em relação ao custo médio de tratamento de esgoto, mas economicamente viáveis em um modelo de produção e venda de biometano.

BIOMASSA

O caso mais relevante no Brasil de uso de biomassa é a geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana. A prática já é bem estabelecida no setor sucroenergético. O bagaço, um subproduto da produção de etanol, é queimado em termelétricas, o que contribui para diversificar a matriz energética, reduzir a intensidade de carbono no setor de energia e dar destinação ao resíduo.

Essa prática de economia circular pode ser entendida: vários projetos usam as cinzas resultantes da queima do bagaço como aditivo para material cerâmico, tijolo, asfalto e fertilizante³⁴. A Associação Brasileira da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica) estima que 2025 será o ano de maior expansão desse segmento em 20 anos.

PROJETOS NO AGRONEGÓCIO E INDÚSTRIA QUÍMICA

Entre os projetos para impulsionar o segmento está a iniciativa da Louis Dreyfus Company, multinacional francesa do agronegócio, de construir a maior usina de biogás do mundo, segundo informações da empresa, a partir de efluentes cítricos, em Bebedouro (SP)³⁵. A construção, anunciada em março de 2025, deve ser concluída em 2026. O lodo gerado no processo poderá ser usado como fertilizante orgânico em mais de 30 mil hectares de pomares.

Outro caso de descarbonização se dá no setor químico, com o uso de biometano previsto em contrato entre a Gás Verde e a Henkel. O objetivo é diminuir as emissões da frota e das fábricas da Henkel. Uma das fábricas, em Jundiaí (SP), será 100% abastecida por biometano. O início da operação está previsto para 2025.

ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO (2G)

Esse biocombustível é produzido a partir de estoques remanescentes de materiais lignocelulósicos (resíduos sólidos) da produção de etanol de cana, como o bagaço e a palha. A tecnologia permite aumentar a produção de etanol sem a necessidade de expandir a área cultivada de cana.

O grupo Raízen tem duas usinas em operação (incluindo a maior do mundo, no Parque de Bioenergia Bonfim, em Guariba, São Paulo) e planeja chegar a 20 delas em funcionamento até 2030. A companhia recebeu em 2025 do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) financiamento de R\$ 1 bilhão para a construção da unidade de Andradina (SP).

Mas a expansão do etanol 2G ainda depende de avanços tecnológicos para obtenção de maior produtividade. Esses trabalhos envolvem o etanol de terceira e quarta geração e a busca de cepas de leveduras mais adequadas para processar biomassa lignocelulósica.

COMBUSTÍVEL SUSTENTÁVEL DE AVIAÇÃO (SAF)

Duas forças vão impulsionar, nos próximos anos, a produção de Combustível Sustentável de Aviação (SAF, na sigla em inglês). Entra na fase obrigatória, em 2027, o Esquema de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional (Corsia), com o objetivo de chegar à neutralidade em carbono até 2035 e ao *net zero* até 2050.

Na aviação doméstica, também em 2027, começa uma redução gradual de emissões, inicialmente de 1%, a atingir 10% até 2037, como parte do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV). Com esses dois programas, só o Brasil vai demandar 941 milhões de litros de SAF em 2027 e 2,89 bi-

lhões de litros em 2037, na estimativa mais conservadora. A demanda pode chegar ao triplo disso³⁶.

Há 11 rotas tecnológicas de produção de SAF aceitas pela Associação Internacional do Transporte Aéreo (IATA). As rotas HEFA (Esteres Hidroprocessados e Ácidos Graxos), origem de 80% do SAF produzido no mundo, e AtJ (Alcohol-to-Jet) são os meios mais promissores para produzir SAF a partir de, respectivamente, soja e cana-de-açúcar, as matérias-primas mais abundantes no Brasil.

FINANCIAMENTO PARA SAF

A Vibra tornou-se a primeira empresa a oferecer SAF no Brasil, produzido a partir de óleo de cozinha usado (UCO). Mas entre os esforços mais notáveis para começar a explorar esse mercado nascente está o da Acelen, que recebeu o primeiro financiamento do BNDES para produção de SAF, no valor de R\$ 257,9 milhões.

A Acelen vai implementar, em Montes Claros (MG), um centro de pesquisa e desenvolvimento para a produção de SAF a partir da macaúba, planta nativa brasileira de alto poder energético. A iniciativa contempla agricultura familiar e recuperação de áreas degradadas. O projeto completo visa expandir a região produtora de macaúba até Mataripe (BA) e gerar 90 mil empregos.

Prometem avanços: BECCS, CCS/CCUS aplicada a energia, novos usos de biocombustíveis em equipamentos de grande porte e hidrogênio renovável

BECCS (CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CARBONO DE BIOENERGIA)

Tecnologias de captura e armazenagem de carbono (CCS, na sigla em inglês) ganham rapidamente relevância na busca por um cenário global *net zero* até 2050³⁷ e vêm sendo testadas em setores industriais variados – o balanço de 2024 do Global CCS Institute lista 47 operações em andamento no mundo e 22 a entrar em operação em 2025, em um total próximo de 680 projetos em diversos estágios. Em bioenergia, a inclusão de BECCS no modelo de negócio tem potencial para tornar o setor negativo em carbono.

A principal rota em análise consiste em filtrar o carbono que seria emitido durante a produção de etanol e injetá-lo no subsolo, em áreas previamente avaliadas, que garantam a retenção do gás no longo prazo (o sistema está em funcionamento na usina de etanol da Gevo em Richardton, nos EUA).

A atividade ganhou regulação básica por meio da Lei nº 14.993/2024, conhecida como Lei do Combustível do Futuro, mas ainda há lacunas na normatização, como o acesso aos dutos e reservatórios usados para transportar e guardar o carbono³⁸. O maior projeto de BECCS no Brasil é conduzido pela FS Bioenergia, que planeja realizar a injeção de carbono no subsolo a partir de sua usina de etanol em Lucas do Rio Verde (MT).



CCS / CCUS APLICADA A ENERGIA

O Brasil tem condições de apresentar ao mundo casos exemplares de CCS e, dando um passo adiante, de captura, uso e armazenagem de carbono (CCUS). Há pelo menos 25 rotas tecnológicas no mercado global atualmente, segundo o Global CCS Institute, com amplo espaço para experimentação e queda de custos.

A utilização mais comum no mundo para carbono capturado, atualmente, é a injeção em poços de petróleo e gás, a fim de facilitar a extração das matérias-primas buscadas pelas petroleiras. A Petrobras conduz o maior esforço do mundo nessa categoria, com a meta de injetar 12 milhões de toneladas de CO₂ nos reservatórios do pré-sal em 2025. A iniciativa reduz a intensidade de carbono do petróleo produzido no Brasil sem, no entanto, contribuir com a necessária transição energética. A difusão progressiva das experiências com CCS, porém, tende a multiplicar seus efeitos benéficos. Por exemplo:

- **CCS nas atividades industriais com dificuldade de mitigação, como aço, vidro e transportes:** o resultado seriam insumos e serviços de baixo carbono para as atividades-fim desejáveis em uma economia verde, incluindo equipamentos para geração de energia renovável, agricultura e construção sustentáveis;
- **CCS para produção de hidrogênio “azul” como transição:** ao menos 95% da capacidade global de produção de hidrogênio atualmente depende de matérias-primas fósseis. A captura de carbono no processo resulta no hidrogênio “azul”, que pode contribuir com a difusão do combustível e a gradual transição para a adoção do hidrogênio verde;
- **CCUS em atividades variadas:** conforme for implementado o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), aprovado em 2024, o

carbono tende a ganhar preço mais claro no País e canalizar recursos para esforços de mitigação, incluindo sistemas de CCUS. Eles tendem a permitir a reentrada do carbono capturado numa economia verde e circular. Entre os usos possíveis dessa matéria-prima, estão sua combinação com hidrogênio (preferencialmente, verde) para a produção de combustíveis sintéticos, capazes de substituir combustíveis fósseis sem necessidade de adaptação de infraestrutura e motores.

A Lei do Combustível do Futuro foi um passo inicial relevante para essa atividade. Outras definições se fazem necessárias, como modelos de negócios para a infraestrutura de transporte e armazenagem de carbono a ser compartilhada por empresas; um tratamento fiscal que incentive a prática; planos de monitoramento claros pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) e outras autoridades responsáveis.

NOVOS USOS DE BIOCOMBUSTÍVEIS EM EQUIPAMENTOS DE GRANDE PORTE

Um potencial novo fator de incentivo à produção de biocombustíveis, no curto prazo, é seu uso em uma gama maior de equipamentos de grande porte, incluindo tratores, locomotivas, navios e usinas termelétricas. O setor de navegação de carga avalia, no momento, um leque de combustíveis renováveis, incluindo vários com origem em bioinsumos: amônia, biodiesel, biogás, biometanol, e-metanol e hidrogênio renovável³⁹.

A Organização Marítima Internacional (IMO) deve avançar na discussão sobre Emissões Líquidas Zero (IMO Net-Zero Framework) em uma sessão extraordinária a ser realizada em outubro de 2025. A estrutura em análise inclui precificação de carbono nos combustíveis marítimos e mensuração obrigatória de intensidade de emissões.

HIDROGÊNIO RENOVÁVEL A PARTIR DE BIOCOMBUSTÍVEIS

No processo de produção do hidrogênio e sua reconversão para uso (na geração de calor ou eletricidade) há grande perda de energia, da ordem de 50%, o que faz com que seu uso seja recomendável apenas em circunstâncias específicas. Em sua versão sustentável (produzida a partir de energia e matérias-primas renováveis), o gás pode contribuir com a limpeza da matriz energética global.

Entre suas potenciais aplicações energéticas está o uso como combustível em trens e caminhões, no transporte de carga em regiões remotas; em navios, no transporte de carga e passageiros em percursos curtos; em aeronaves; e em comunidades isoladas.

Outra rota em análise seria seu uso como componente, juntamente com o carbono (capturado em sistemas CCS ou BECCS), para a produção de combustíveis sintéticos, capazes de substituir combustíveis fósseis sem exigir nenhuma adaptação de infraestrutura ou motores. Como a queima dos combustíveis sintéticos emite gases de efeito estufa, o resultado líquido descarbonizador dessa rota precisaria ser garantido ao longo do processo de produção.

A matriz elétrica já majoritariamente renovável dá ao Brasil vantagens nessa frente tecnológica. Estimativas apontam que o País pode ter uma produção anual de 200 mil a 800 mil toneladas de hidrogênio de baixo carbono até 2030⁴⁰.

Entre fevereiro de 2021 e março de 2025, foram anunciados no Brasil 74 projetos de hidrogênio renovável e derivados, com uma capacidade de eletrólise total de 45 GW e mais

de US\$ 68 bilhões em investimentos previstos para o período 2030-2032, segundo mapeamento realizado pela consultora Monica Saraiwa Panik, da SAE Brasil – Sociedade de Engenheiros de Mobilidade.

A expansão do segmento depende da redução de custos tecnológicos e de políticas de incentivo. Nos últimos anos têm ocorrido avanços na regulamentação. Em agosto de 2024, foi sancionada a Lei nº 14.948/2024, do Programa de Desenvolvimento de Hidrogênio de Baixo Carbono (PHBC), que prevê R\$ 18,2 bilhões em créditos fiscais até 2032 para impulsionar o setor, estabelece o marco legal do hidrogênio verde e define diretrizes para a produção, comercialização e uso no País. Desde 2021, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) estuda e implementa mecanismos de certificação de hidrogênio, tendo emitido os primeiros Certificados de Hidrogênio do Brasil para o mercado voluntário, atestando a origem renovável da energia utilizada na produção, seguindo o padrão europeu.

Apesar da maior segurança regulatória, desafios persistem. É preciso avançar em temas como certificação de origem, definição de padrões de pureza e clareza sobre o órgão regulador da área. Também é fundamental uma regulamentação específica para a infraestrutura e logística do hidrogênio, mais inflamável e de escape mais fácil que outros combustíveis.

Também terá papel fundamental nessa construção a precificação do carbono. No Brasil, as primeiras estratégias de negócios incluem foco inicial no mercado interno, especialmente setores industriais como fertilizantes e combustíveis renováveis, com potencial futuro para exportação.

mineração



Caminho das pedras

A transição energética global requer um forte aumento da produção de minerais críticos. Com isso, a atividade mineradora terá de se expandir, sem provocar impacto socioambiental correspondente a essa expansão. No melhor cenário, a produção desses minerais vai absorver as boas práticas desenvolvidas nos últimos anos em segmentos como a mineração de ferro. Contará, adicionalmente, com avanço dos sistemas de monitoramento e rastreabilidade

a mineração passa, em grande parte do mundo, por transformações profundas, impulsionadas pela crescente demanda por uma economia global mais sustentável e descarbonizada. Embora essencial, o segmento ficou marcado ao longo dos últimos séculos por impactos socioambientais negativos, como grandes volumes de rejeitos, áreas de escavação degradadas, uso excessivo de água e outros passivos e externalidades negativas.



No Brasil, parte do transporte de minério ainda depende de rodovias¹, modal menos eficiente no transporte de carga, segundo o Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Às novas demandas socioambientais criadas nas últimas décadas, somaram-se os desastres ocorridos em Mariana e Brumadinho, decorrentes do uso de barragens de rejeito a montante e sua gestão falha.

Há, porém, uma mudança relevante em curso. O setor elevou seus padrões na análise de impactos socioambientais, nas práticas adotadas, na definição de metas e em transparência. Adicionalmente, investe em novos modelos de geração de benefícios para territórios e comunidades afetados por suas operações. Desde o início das concessões de ferrovias, em 1996, o investimento privado no segmento cresce 7,4% ao ano. Em 2024, o Brasil registrou o maior investimento absoluto nesse modal (R\$ 14,3 bilhões) e a maior participação de capital privado (98%), dedicado principalmente à modernização e aumento de segurança e produtividade².

Entre as empresas associadas ao Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram), 51 participam da Agenda ESG da Mineração do Brasil, com 12 pilares de atuação e respectivos Grupos de Trabalho. A *Carta Compromisso* do instituto perante a sociedade representa a decisão das empresas de elevar continuamente fatores como segurança operacional, controle de barragens, gestão de riscos, mitigação de impactos e desenvolvimento de comunidades

afetadas. O compromisso vem sendo acompanhado pelo condizente aumento do investimento nessa evolução.

A mudança é questão vital para a humanidade, porque a transição energética global requer um forte aumento da produção de minerais críticos nos próximos anos e décadas. Com isso, a atividade mineradora tem de se expandir, sem provocar impacto socioambiental correspondente a essa expansão.

No cenário benigno, a produção desses minerais críticos vai absorver as boas práticas desenvolvidas nos últimos anos em segmentos como a mineração de ferro. Contará, adicionalmente, com avanço dos sistemas de monitoramento e rastreabilidade. Haverá maior pressão de parceiros comerciais por condutas ambientalmente corretas, já que as empresas de mineração e seus investidores fazem ou farão parte da rede de suprimentos de companhias que se apresentam ao mercado como desenvolvedoras de tecnologias “limpas”.

Essas cadeias tendem a demonstrar menor tolerância com fornecedores de minério que incorram em práticas antiquadas, poluentes e danosas ao meio e a dar prioridade àqueles que busquem formas de extração e produção mais limpas, por exemplo, sem barragens de rejeito, com menor uso de água, atenção à circularidade, controle de poluição, desmatamento mínimo e recuperação florestal. Essa evolução é parte do que se denomina transição energética justa – com a sociedade, comunidades, empresas e natureza.

Redução de emissões na mineração

Esforços para diminuir a pegada

Os produtos da mineração tornam-se mais intensivos em carbono nas etapas de transporte e transformação, como a produção de aço e alumínio. Com isso, as empresas do setor vêm atuando para mitigar as emissões em suas redes de parceiros comerciais

O setor mineral responde diretamente por 0,8%³ a 4%⁴ das emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE), a depender dos critérios de análise – mas essa participação cai continuamente, na medida em que são desativadas as minas de carvão, principais emissoras do setor. No Brasil, a atividade minerária representa de maneira direta de 0,55%⁵ a 1,9%⁶ do total de emissões de GEE, também a depender dos critérios de análise (mais usualmente, as emissões da mineração são agregadas às da indústria metalúrgica e siderúrgica. Esse conjunto responde por cerca de 7%⁷ das emissões globais e cerca de 5%⁸ das emissões brasileiras).

A parcela de emissões da mineração no Brasil é bastante inferior à faixa da parcela global, como resultado, principalmente, da matriz energética majoritariamente renovável do País e da participação relativamente baixa da produção de carvão no setor. De um ponto de vista da gestão global de emissões, esses são pontos favoráveis para que gestores e investidores das cadeias internacionais de valor dos minerais e suas aplicações considerem a abertura e a expansão de operações mineradoras no Brasil.

GESTÃO DO IMPACTO DA MINERAÇÃO

13,9T de CO₂e são emitidas, em média, por tonelada de carbonato de lítio extraída de rocha. O processo é intensivo em energia e a situação mais comum, globalmente, é o uso de energia de fontes fósseis

28% pelo menos, é o corte possível em emissões de carbono em operações de mineração de cobre, na troca de fontes fósseis por fontes renováveis

Fonte: Arbor, sobre dados globais

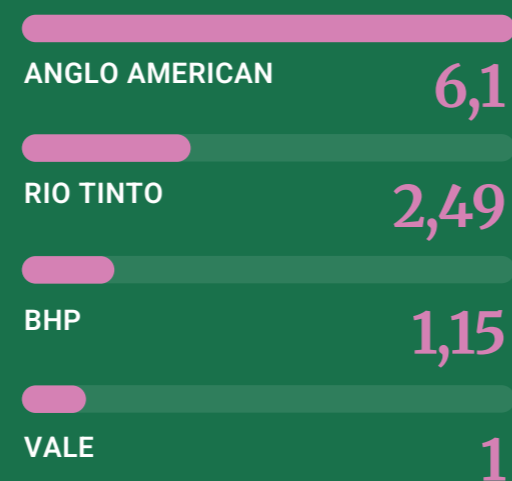
Parte do processo virtuoso em andamento decorre da adaptação e difusão de práticas iniciadas nas operações maiores e já bem estabelecidas, como ferro ou bauxita, para as operações menores ou nascentes no País, como os projetos de níquel e terras raras (grupo de 17 elementos químicos essenciais para novas tecnologias, como eletrônicos, energia renovável e defesa). Um exemplo, segundo a UFMG, são as práticas de gestão de água, adotadas inicialmente em operações maiores e em regiões com escassez hídrica, agora se difundindo pelo setor, mesmo em áreas com maior disponibilidade do recurso.

Adicionalmente, o Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram) incentiva as companhias a trabalharem rumo à meta de carbono zero até 2040⁹ – um exemplo é a CBMM. Outro é a Vale, maior mineradora do Brasil e uma das cinco maiores do mundo, que assumiu em 2019 as metas de redução de emissões de 33% nos escopos 1 e 2 até 2030 e de se tornar neutra em carbono até 2050 (o escopo 1 refere-se às emissões diretas da atividade em si e o 2 às emissões da eletricidade usada). Desde 2024, a Vale usa no Brasil 100% de energia renovável e supre 16% da sua necessidade com geração solar, resultado obtido com seu Projeto Sol do Cerrado, em Jaíba (MG).

Os produtos da mineração tornam-se mais intensivos em carbono nas etapas subsequentes, de transporte e transformação (como a produção de aço e alumínio). Apenas como exemplo, na Vale, as emissões de escopo 3 (fora do controle direto da companhia, distribuídas por sua cadeia de valor) correspondem a 60 vezes as emissões dos escopos 1 e 2¹⁰. A relação é bem inferior no restante da economia, próxima de 10 vezes em setores com a cadeia mais curta e de 26 vezes na média dos setores¹¹.

INTENSIDADE DE CARBONO NA MINERAÇÃO DE FERRO

RELAÇÃO ENTRE AS MINERADORAS – EMISSÕES DE CO₂E (NOS ESCOPOS 1 E 2) NA PRODUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO (DADOS DE 2021 / 2022) – VALE = 1



13%

DE 2017 A 2024 FOI A REDUÇÃO na intensidade de carbono do minério de ferro da Vale nos escopos 1 e 2, para 18,3 kg CO₂e / t MFe-eq (quilos de carbono equivalente por toneladas de minério de ferro equivalente)

Fontes: Uearthed Solutions, Vale

Acrescente-se aos esforços corporativos o fato de que o arcabouço regulatório no Brasil é robusto. A normatização atual contempla princípios de sustentabilidade, uso racional dos recursos e responsabilidade socioambiental.

Devido a essa característica acentuada na mineração, as empresas do setor vêm atuando para mitigar as emissões em suas redes de parceiros comerciais. Como exemplo, a Vale tem mais de 60 termos de cooperação assinados com fornecedores e clientes, a fim de reduzir emissões, e prevê que 40% do seu investimento em descarbonização em 2025 irá para projetos ligados à cadeia de valor. Em relação ao escopo 3, a companhia tem o compromisso de reduzir em 15% as emissões líquidas até 2035 em relação a 2018.

Um exemplo é o processo de atualização das Normas Reguladoras da Mineração (NRMs), promovido pela Agência Nacional de Mineração (ANM), que representa um avanço significativo no alinhamento regulatório com as melhores práticas internacionais, incorporando conceitos modernos de segurança operacional, gestão de riscos e Planos de Fechamento de Mina (PFMs), segundo o Núcleo de Pesquisa para Mineração Responsável da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP).

O Plano Nacional de Mineração 2050, que chegou ao segundo semestre de 2025 em fase de consolidação pelo Ministério de Minas e Energia, aponta a necessidade de incorporar critérios ESG à mineração. Ferramentas como o Cadastro Ambiental Rural (CAR), o Sistema

Nacional de Controle de Barragens e as exigências do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) ajudam a aprimorar os padrões de trabalho do setor.

Outra camada de supervisão vem sendo construída em diálogo e em gestões específicas do Ibram com os Três Poderes da República. Em 2023, o Supremo Tribunal Federal (STF) decidiu que as Distribuidoras de Títulos e Valores Mobiliários (DTVMs) não poderiam mais alegar presunção de boa fé (baseada na palavra do garimpeiro) a respeito da origem legal do ouro que compram. O Banco Central confirmou a nova orientação às DTVMs e a Secretaria da Receita Federal instituiu a obrigatoriedade de emissão de nota fiscal eletrônica para transações com ouro como ativo financeiro ou instrumento cambial. Em 2025, a decisão do STF foi confirmada em Plenário e se tornou irreversível¹².

O garimpo ilegal chegou a ocupar 241 mil hectares na Amazônia em seu pico, em 2022, segundo o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam)¹³. Desde então, recuou pelo menos 45%, de acordo com o Instituto Socioambiental (ISA)¹⁴. Embora o garimpo e a mineração sejam atividades distintas, em escala, práticas e regulamentação, a reputação do garimpo ilegal compromete a cadeia de valor dos minérios originados no Brasil.

Resultados concretos

Entre soluções já maduras, estão o transporte de material por esteiras ou dutos, a adoção de biocombustíveis e a eletrificação para caminhões de mineração, escavadeiras e maquinário em geral

Para se chegar ao uso mínimo de combustíveis fósseis, algumas das frentes de trabalho que já oferecem resultados concretos em mineração são o transporte de material por esteiras ou dutos (em vez de caminhões), a adoção de biocombustíveis e eletrificação para caminhões de mineração, escavadeiras e maquinário em geral. Embora a matriz elétrica brasileira seja majoritariamente renovável, existem minas que vêm garantindo o uso de 100% de eletricidade limpa ao usar exclusivamente fontes solares ou eólicas.

O ganho de eficiência energética, desejável qualquer que seja o tipo de geração, é obtido a partir do uso de inversores de frequência, motores de alta eficiência e sistemas de automação, com atenção especial a etapas específicas, como cominuição (processo mecânico que reduz o tamanho das partículas) e flotação, altamente consumidoras de energia, segundo a UFMG.

A redução ou eliminação do uso de água vem sendo obtida por um conjunto de técnicas que inclui empilhamento a seco de rejeitos;

tecnologias de pulverização precisa; reaproveitamento de água, com recirculação em barragens e plantas de beneficiamento (quando o beneficiamento exige processos específicos, como flotação, as soluções passam por tecnologias de separação mais eficientes – flotação de partículas grossas, separadores magnéticos de alta intensidade –, recuperação de calor e cogeração em processos térmicos, uso de reagentes biodegradáveis e sistemas fechados de água), de acordo com o Ibram e o Centro Brasileiro de Relações Internacionais (Cebri).

A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA FAZ DIFERENÇA

PARTICIPAÇÃO DA MINERAÇÃO NAS EMISSÕES TOTAIS DE CARBONO



[soluções]



Campo de testes para novas tecnologias

O setor de mineração trabalha com equipamentos em condições-limite e grande número de operações isoladas. Por isso, serve como campo de testes para desenvolver tecnologias e sistemas extremamente robustos. Entre as soluções mais promissoras, estão os caminhões de mineração autônomos, veículos com circulação restrita à área da mina e cujo peso chega à ordem das centenas de toneladas.

A condução ótima do veículo por meio de inteligência artificial (IA) já mostrou ganhos de produtividade a partir de 18%¹⁵, o que reduz o consumo de combustível ou eletricidade.

Os veículos autônomos e outras peças de maquinário vêm sendo conectados em redes de IoT (Internet das Coisas). Sensores distribuídos pela área de mineração e integrados com um sistema de IA podem monitorar con-

dições ambientais e desempenho de equipamentos, transmitir dados em tempo real para centros de controle, otimizar rotas e deslocar trabalhos dentro da mina para áreas com maior concentração de minério.

Adicionalmente, modelos de IA específicos podem prever falhas e otimizar circuitos de beneficiamento de água. O resultado líquido é o menor consumo de eletricidade, combustíveis, água e insumos de manutenção.

Outra ferramenta para aumento de produtividade consiste em explosivos com energia variável para conferir novo grau de eficiência e precisão no desmonte de rochas, com menor exposição das pessoas e do entorno.

Na fase prévia à operação da mina, modelos de IA podem também fazer uma modelagem geológica mais precisa, auxiliando na identificação de jazidas. Essa ferramenta reduz o risco exploratório e direciona investimentos e trabalho para áreas com maior concentração de minério, o que minimiza impactos em geral.

EXEMPLOS DA ATUAÇÃO EMPRESARIAL

Anglo American, Nexa Resources e Vale (diversas operações): implementam sistemas autônomos e IA em lavras e fábricas. O uso de sensores e sistemas de monitoramento em tempo real permite otimizar o aproveitamento do minério, reduzindo o volume de material estéril movimentado e o conseqüente impacto ambiental. Escavadeiras e caminhões autônomos ou semiautônomos, equipados com algoritmos de IA, conseguem seguir rotas otimizadas, avaliar teores de minério em tempo real e evitar áreas de baixa qualidade mineral. Isso reduz o consumo de combustível, o desgaste de equipamentos e a emissão de carbono. As empresas aplicam essas soluções em operações de ferro, cobre e zinco.

Anglo American (diversas operações): obteve o primeiro atestado de avaliação independente IRMA (Initiative for Responsible Mining Assurance) para uma operação no Brasil. As minas Barro Alto, de níquel (em Barro Alto, GO) e Minas-Rio, de ferro (em Conceição do Mato Dentro,

MG) conquistaram o selo IRMA 75, que indica 75% de cumprimento dos critérios ambientais, sociais, de integridade e legado positivo para o entorno. No Projeto Minas-Rio, a empresa usa transporte por mineroduto (o maior do Brasil, com 529 km de extensão), o que reduz emissões e consumo de combustível. Na gestão dos ativos, adota abordagem com uso de grande quantidade de dados para tornar as operações mais integradas e sistematizadas; precisão ao lavar minerais e metais para reduzir consumo de água e energia, e diminuir os resíduos no processo; e atingir níveis próximos de 100% de recirculação no uso de água. Desenvolve, com parceiros de pesquisa, processos para nova redução do consumo de água, especialmente importantes para a mineração de cobre e níquel.

CBMM (Araxá - MG): desenvolve, em parceria com instituições internacionais, tecnologia para uso de nióbio em baterias de íons de lítio, com maior segurança e menor tempo de recarga. Também investe em IA para

monitoramento preditivo de equipamentos, com uso de sensores e análise em tempo real, o que permite otimizar a manutenção e reduzir falhas operacionais. Outra frente importante é o uso de IA para recuperação de resíduos, com modelos que integram dados mineralógicos e metalúrgicos a fim de identificar rotas de reaproveitamento viáveis. Essas soluções ampliam o aproveitamento dos recursos e contribuem para reduzir o volume de descarte, com foco na circularidade dos processos industriais.

CBL Lítio (Araçuaí - MG): vem ampliando sua capacidade produtiva com foco na minimização de impactos ambientais, sobretudo uso da água, emissões de carbono e disposição de rejeitos. A empresa usa sistemas de controle ambiental digitalizados, sistemas de reaproveitamento de água e rejeitos e IA para controle de produção. Sensores e plataformas especializadas monitoram continuamente a qualidade da água e do ar. A planta de beneficiamento opera com um sistema de circuito fechado de uso de

água, minimizando o impacto hídrico — um ponto relevante para o Vale do Jequitinhonha. A operação é referência também pela harmonia territorial com as comunidades locais, promovendo benefícios sociais, e atividades de convivência produtiva com as comunidades no entorno da mina.

CSN Mineração: possui um sistema de recirculação que reaproveita mais de 95% da água usada no beneficiamento. Em 2024, a CSN Mineração registrou uma redução de 23% na intensidade de captação de água por tonelada de minério de ferro em relação a 2023. Além do sistema de recirculação, a empresa conta com mais de 40 sistemas de controle para efluentes e drenagens, e mais de 30 pontos de monitoramento. O intuito é garantir a gestão adequada dos recursos hídricos e minimizar os impactos ambientais da sua atividade¹⁶.

Gerdau - Mina Miguel Burnier (Ouro Preto - MG): conquistou em 2025 a classificação IRMA 50¹⁷, da Initiative for Responsible Mining Assurance, que indica 50% de

cumprimento dos critérios ambientais, sociais, de integridade e legado positivo para o entorno. Apenas 26 minas no mundo se submeteram à avaliação independente e apenas oito chegaram ao fim do processo. Em 2025, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) aprovou financiamento de R\$ 566 milhões para obras que incluem um mineroduto de 13 km de extensão. O projeto acessou recursos do Fundo Clima por ser uma alternativa de baixa emissão de carbono em relação a outros modais de transporte.

Horizonte Minerals (duas operações no PA): projetos de níquel com adoção de tecnologias para redução de emissões e eficiência energética, incluindo cogeração. O método utiliza o calor gerado durante o processo de produção para gerar eletricidade.

Hydro (PA): as medidas de mitigação ao longo da cadeia incluem uso de veículos elétricos e a etanol na frota leve, caminhões elétricos e transporte de minério por mineroduto de 244 km de Paragominas (PA) até

a refinaria Alunorte, em Barcarena (PA). Na Mineração Paragominas, 90% da energia elétrica usada provém de fontes renováveis, como os complexos solar Mendubim e eólico Ventos de São Zacarias. Como resultado, o alumínio primário que sai da controlada Albras, em Barcarena, maior produtora do Brasil, emite cerca de três toneladas de carbono equivalente por tonelada de alumínio, um quinto da referência aceita pelo International Aluminium Institute. As operações no Brasil (Albras, Alunorte e Mineração Paragominas) conquistaram o Selo Ouro no Programa Brasileiro do Protocolo GHG em 2024 e são certificadas pela Aluminium Stewardship Initiative (ASI), que atesta a conformidade com padrões internacionais em gestão ambiental.

Largo (BA): mina de vanádio com processos otimizados de secagem e reaproveitamento de energia térmica.

Mineração Taboca (AM): modernizou os circuitos de estanho e tântalo com flotação mais seletiva e recirculação integral de água.

Sigma Lithium (Vale do Jequitinhonha - MG): referência global em “lítio verde”, com energia 100% renovável, recirculação de 90% da água, sem uso de barragens de rejeitos, beneficiamento a seco e separação do lítio por gravidade, a partir de espodumênio (mineral composto de silicato de lítio e alumínio) com alta concentração do metal – método resumido na fórmula “Quíntuplo Zero” (ou seja, o esforço de produzir lítio sem barragem, produtos químicos, emissões de carbono, energia fóssil e gasto de água). É um caso de adaptação de práticas da mineração tradicional de ferro e bauxita para uma mina de lítio, com reconhecimento internacional por suas práticas ESG.

Vale - Mina S11D (Canaã dos Carajás - PA): o sistema adotado na mina elimina o uso de caminhões no local, reduzindo o consumo de diesel e as emissões de carbono. Esteiras suspensas transportam o minério de ferro ao longo de 9 km, entre o local de extração e a usina de beneficiamento. Inclui ainda plantas de beneficiamento a seco, reduzindo o

consumo de água, e sistemas digitais integrados de controle operacional. Resultados indicam que o sistema *truckless mining*, do qual a empresa é considerada uma referência global, reduziu as emissões de CO₂ em 77% anualmente¹⁸. Além disso, os veículos utilizados são controlados por software, GPS, radares e IA. Dessa forma, foi possível aumentar em 25% a vida útil dos pneus de caminhões e o desgaste de peças em geral. O beneficiamento usa a umidade natural do minério, dispensando a necessidade de adição de água e a formação de barragens de rejeitos, o que economizou 93% do líquido e 18 mil MW de eletricidade por ano¹⁹. O local também utiliza a técnica *strip mining* (lavra em tiras), que permite a reabilitação progressiva do solo, com menor impacto paisagístico e melhor controle sobre drenagem e revegetação.

Vale (várias operações): entre outros exemplos de iniciativas de mitigação na cadeia de valor, por parte da Vale, estão o briquete verde²⁰, produto oferecido às siderúrgicas desde 2021 que reduz a necessidade de calor

na produção de aço; a oferta de minério com alta concentração de ferro, que reduz em até 10% as emissões na siderurgia; e mudanças na frota cargueira, a fim de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, incluindo navios com “lubrificação a ar” (camada de bolhas que facilita o deslizamento do casco pela água), propulsão a vento (com velas rotativas) e combustíveis alternativos (como GNL, já em uso, e etanol e amônia, em desenvolvimento)²¹.

Vale: destaca-se a criação de um “Centro de Operações Integradas” (COI) para decisões em tempo real com base em dados de IA, tecnologia escalável para projetos de minerais críticos. A companhia implementou ainda drones no Pátio de Tubarão, no Espírito Santo, com o objetivo de gerar maior segurança e eficiência na verificação de cargas em vagões.

O papel dos minerais críticos na Transição energética

A mineração é parte da solução para os atuais desafios climáticos e de restauração ambiental

Um conjunto de pelo menos 37 minerais, como cobre, lítio, manganês, nióbio e níquel (alguns dos que ocorrem no Brasil) tornaram-se estratégicos por entrar na fabricação dos equipamentos para a transição energética, incluindo painéis solares, turbinas eólicas, baterias e outros componentes que viabilizam veículos elétricos.

Parte desses minerais é empregada também em sistemas de refrigeração e ar condicionado, necessários para a adaptação em várias partes do mundo à nova realidade climática. Vários desses minerais são também considerados críticos, por enfrentarem alguma restrição material ou potencial à produção e comercialização.

Para que o mundo entre na rota net zero (com emissões líquidas iguais a zero) até 2050, seria necessário que a demanda por minerais críticos triplicasse até 2030²².



OS BLOCOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

37
minerais

são necessários, pelo menos, para os sistemas de energia renovável, segundo a Agência Internacional de Energia (AIE).

O Departamento de Energia dos EUA lista 50



A LISTA INCLUI ALUMÍNIO, COBALTO, COBRE, CROMO, GRAFITE (NÃO METAL), LÍTIO, MANGANÊS, MOLIBDÊNIO, NIÓBIO, NÍQUEL, PRATA, SILÍCIO, TÂNTALO, ELEMENTOS DE TERRAS RARAS (ETR)* E METAIS DO GRUPO DA PLATINA (MGP)**

Fontes: AIE, Departamento de Energia dos EUA, Fórum Econômico Mundial

*17 metais pesados, também chamados "óxidos de terras raras": escândio, ítrio e os 15 lantanídeos – lantânio, cério, praseodímio, neodímio, promécio, samário, európio, gadolínio, térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio e lutécio

**platina, paládio, irídio, ródio, rutênio e ósmio

A demanda por lítio já cresceu quase 30% em 2024, ritmo muito mais intenso que a média de 10% ao ano registrada na década passada. A demanda por cobalto, grafite, níquel e terras raras cresceu entre 6% e 8%. A tendência atual é de déficit de oferta de lítio nos anos 2030 e, numa situação mais severa, déficit de 30% na oferta de cobre até 2035²³.

O Brasil insere-se nesse cenário como uma

força pela descarbonização global. O País já se posiciona como *player* relevante do setor mineral – segundo maior exportador de minério de ferro e maior exportador de nióbio do mundo. Em 2023, exportou cerca de US\$ 4,2 bilhões em minerais estratégicos, com mais de 50 projetos em andamento destinados à produção de lítio, níquel, cobre, grafite, terras raras, cobalto, nióbio e vanádio. Mas esse é apenas o retrato presente da situação.

Para o futuro, o País encontra-se em posição única para assumir maior protagonismo: detém de 10% a 20% das reservas globais de minerais críticos e a segunda maior reserva de terras raras (23%). Estão no País a maior reserva de nióbio (94% do total global), a terceira maior de níquel²⁴ (12%), a quarta maior de manganês (14%) e a quarta maior de bauxita (9%).

O alto potencial já está confirmado, em termos de reservas de minerais críticos e estratégicos, e ainda resta 73% do território nacional a ser mapeado em escala desejável, segundo o Serviço Geológico do Brasil (SGB).

O Brasil é também o quinto maior produtor mundial de lítio, com 4.900 toneladas em 2023, e apresenta a sétima maior reserva do mundo. As reservas brasileiras em rochas (espodumênio) com alta concentração do metal oferecem uma vantagem competitiva em relação ao custo e à viabilidade da exploração, incluindo menor demanda de água, comparadas às reservas em salmouras da América do Sul.

O Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, está consolidando-se como um polo de lítio ("Vale do Lítio"), com foco na conversão química para carbonato e hidróxido de lítio de grau bateria (com pureza superior a 56,5% e valor agregado maior que as substâncias de "grau técnico" ou "grau industrial").

O BRASIL NA LIDERANÇA
DOS MINERAIS CRÍTICOS

DE ACORDO COM RESERVAS
COMPROVADAS EM TERRITÓRIO
BRASILEIRO (% DAS RESERVAS
GLOBAIS)



Fontes: Serviço Geológico do Brasil, Serviço Geológico dos EUA

TERRAS RARAS E MINERAIS CRÍTICOS

Entre os desdobramentos recentes, foi comprovado um grande depósito de terras raras na região de Poços Caldas (MG). As empresas australianas Viridis e Meteoric receberam autorização para atuar na área. Em ambos os projetos, constam muitas das características desejáveis para o futuro da mineração, como uso de energia 100% renovável, ausência de barragem de rejeito, reúso de água, tapamento das cavas e cobertura verde²⁵. Foram feitos em 2023 e 2024 mais de 100 pedidos de pesquisa naquela região à ANM (Agência Nacional de Mineração). A estimativa é de US\$ 1 bilhão em investimentos na região por causa de mineração até 2028²⁶.

Há também um projeto em fase de construção, da empresa Graphcoa, que visa ser o maior produtor no Brasil de grafite, mineral crítico para a transição energética, e explorar oportunidades de fornecimento para ânodos de baterias. O empreendimento inclui as variáveis socioambientais desde sua concepção.

O Ibram estima que, entre 2025 e 2029, haverá US\$ 15,8 bilhões em investimentos nos minerais da transição energética, incluindo cobre, níquel, bauxita, lítio e terras raras, além de US\$ 11,3 bilhões no atendimento de requisitos socioambientais no setor de mineração inteiro (os valores fazem parte de uma estimativa de investimento total de US\$ 68 bilhões no setor)²⁷. Esse capital deverá impulsionar o desenvolvimento da cadeia de valor interna, segundo pesquisadores do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG.

Empresas globais de baterias e automóveis (como BYD, CATL, Volkswagen) estão firmando parcerias no Brasil para assegurar a oferta mineral e desenvolver processos de conversão local. Há também apoio de coalizões internacionais, como o Minerals Security Partnership dos EUA e da União Europeia, impulsionando projetos de terras raras em Goiás com investimentos da ordem de US\$ 150 milhões. Algumas empresas fornecem para exportação produtos mais elaborados, como o carbonato hidróxido. Existem ainda projetos experimentais em desenvolvimento, bastante promissores, como a bateria de nióbio da parceria entre a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) e a Toyota, segundo o Centro de Tecnologia Mineral (Cetem), unidade de pesquisa do MCTI.

O Brasil apresenta também várias jazidas com concentração suficiente de terras raras para que elas sejam extraídas de rejeitos, como subprodutos da mina, por meio de processos variados de remineração. O procedimento permite produção adicional com menor impacto ambiental, e tem viabilidade técnica e econômica em minas e províncias minerais num eixo que atravessa o país por Amazonas, Rondônia, Pará, Goiás e Minas Gerais²⁸.

Acrescente-se a essas ocorrências naturais as construções institucionais do País ao longo de décadas: relações diplomáticas bem estabelecidas, posição pacífica e conciliatória no cenário geopolítico, arcabouço regulatório maduro para o setor, normatização ambiental sofisticada.

DE QUANTO MINERAL PRECISAMOS¹

CRESCIMENTO DA DEMANDA GLOBAL

115%
LÍTIO
2021 A 2024



122%
LÍTIO
2024 A 2030

200% **300%**
ATÉ 2030 ATÉ 2040

6%
NÍQUEL
2021 A 2024



140%
NÍQUEL
2024 A 2030²

aumento de demanda necessário para o mundo entrar na rota net zero até 2050

PARA CADA 1MW EM GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE, SÃO NECESSÁRIOS:



239 kg
DE ETR
(ELEMENTOS DE TERRAS RARAS)

240 kg
DE NÍQUEL

790 kg
DE MANGANÊS

8.000 kg
DE COBRE

PARA CADA 1MW EM GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA, SÃO NECESSÁRIOS:



1 kg
DE NÍQUEL

30 kg
DE ZINCO

2.822 kg
DE COBRE

3.948 kg
DE SILÍCIO

PARA CADA UNIDADE DE CARRO ELÉTRICO MÉDIO, SÃO NECESSÁRIOS:



8,9 kg
DE LÍTIO*

13,3 kg
DE COBALTO*

39,9 kg
DE NÍQUEL*

66,3 kg
DE GRAFITE*

Fontes: AIE, APM Research Lab, Departamento de Energia dos EUA, Fórum Econômico Mundial, Wilson Center

(1) Exemplos de alguns dos metais necessários

(2) Demanda apenas da indústria de energia renovável

*Em carros com motor a combustão, esses minerais não entram ou entram em peso irrelevante. Isso indica a necessidade de construir novas cadeias de suprimentos.

LACUNAS REGULATÓRIAS

Mas são necessários avanços: estudos realizados pelo Ibram, Cetem e Cebri reforçam a lacuna de uma regulação específica para os minerais críticos. Sendo o tema estratégico,, o País deveria dispor de um regime diferenciado de concessão que apontasse para as prioridades do governo, como o sistema de leilões específico, a exemplo do que hoje é aplicado para petróleo e gás. Os avanços regulatórios poderiam estar contemplados no Projeto de Lei de minerais críticos e estratégicos, proposto no âmbito do Congresso Nacional.

Também há desafios, plenamente solucionáveis, relacionados ao volume de recursos para pesquisa e desenvolvimento, ao uso dos recursos do Fundo Mineral pelas instituições de pesquisa e ao uso dos recursos de compensação ambiental pelos governos locais, segundo o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE), da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Políticas recentes como a Nova Indústria Brasil e programas de fomento do BNDES e Finep priorizam explicitamente os minerais críticos, criando condições diferenciadas de financiamento, inovação e apoio à implantação de empreendimentos. Essa priorização pode reduzir barreiras de entrada e acelerar projetos em estágio inicial.

O Decreto nº 10.965/2022 e a Resolução ANM nº 95/2022 estabelecem diretrizes claras para os Planos de Fechamento de Mina (PFM), ou

seja, o plano de uso futuro da área após o fim das atividades extrativas, integrando a recuperação ambiental desde o início do projeto. Além disso, plataformas digitais de certificação e transparência, como o Portal da Transparência do Ouro (WWF) e o novo sistema do Ibram – o PCRO, uma plataforma de fomento para a cadeia de valor de ouro responsável –, têm potencial para escalar boas práticas e garantir confiança à cadeia mineral.

O Brasil também possui capacidade tecnológica e logística devido à sua tradição na mineração desses insumos e um parque tecnológico capaz de apoiar seu aproveitamento de forma responsável. A cadeia do nióbio é uma referência global em agregação de valor.

Com 90% de sua matriz elétrica renovável (gerada a partir de fontes como hidrelétricas, eólica e solar), o País tem ainda uma grande vantagem competitiva para atrair investimentos em indústrias intensivas em energia, essenciais para a produção de minerais críticos com baixa pegada de carbono. A combinação de tecnologias digitais com práticas sustentáveis de lavra pode transformar a mineração brasileira em uma referência de baixo impacto na produção de minerais estratégicos para a transição energética.

O País tem a ambição de se posicionar não apenas como fornecedor de commodities, mas como um ator fundamental nas cadeias industriais globais e um formulador de políticas de governança e rastreabilidade para esses mi-

nerais. Há um forte foco em investir no refino e processamento de minerais para agregar valor, reduzir a dependência de importações e gerar empregos qualificados, incluindo o desenvolvimento de rotas tecnológicas e a atração de indústrias de alta tecnologia, como a fabricação de baterias. A promoção da economia circular, como o exemplo da reciclagem de aço e alumínio no Brasil – líder mundial em circularidade nas duas cadeias –, é uma estratégia para otimizar o uso de recursos, reduzir resíduos e integrar os elos da cadeia de valor, segundo o Ibram.

A CBMM oferece um caso de estudo no tema. Não apenas transformou o Brasil em líder global de nióbio, como estruturou uma cadeia de valor baseada em inovação. A empresa investe há décadas em pesquisa e colabora com centros de excelência no Brasil e no exterior para fomentar novas aplicações do nióbio em baterias, mobilidade elétrica e construção sustentável. Seu modelo é referência em geração de valor agregado com sustentabilidade, enquanto sua pesquisa visa reduzir o consumo de cobalto e acelerar recarga rápida. A empresa ainda desenvolve projetos que buscam melhorar o desempenho de baterias de íons de lítio que usam óxidos de nióbio. Os resultados indicam vantagens promissoras, como maior estabilidade térmica, tempo de recarga significativamente reduzido e maior durabilidade.

Há interações com fabricantes de veículos elétricos para discutir aplicações em transporte coletivo e equipamentos pesados, segundo a

Poli-USP. Um protótipo de ônibus elétrico com bateria de nióbio está previsto para 2025, de acordo com a UFMG.

Ainda segundo pesquisadores dessa universidade, o governo federal tem discutido políticas para incluir minerais estratégicos no planejamento da transição energética, com incentivos à produção de lítio verde, criação de zonas de processamento e parcerias com países interessados na diversificação da cadeia global de suprimentos. A formulação de uma Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos (PNMCE) robusta e integrada é vista pelo Ibram como um passo crucial para que o País aproveite seu potencial e se posicione como líder na nova economia verde.

GOVERNANÇA E TRANSPARÊNCIA

Para que a mineração verde avance de forma concreta e escalável, é essencial o aperfeiçoamento contínuo da governança. Torna-se fundamental o reforço dos órgãos fiscalizadores (Agência Nacional de Mineração, órgãos ambientais) e investimentos em tecnologias de monitoramento remoto e IA para fiscalização em larga escala.

A integração entre políticas públicas de mineração, meio ambiente e desenvolvimento territorial é crucial para um planejamento de longo prazo e um equilíbrio entre produção e preservação. Outro ponto é o fortalecimento dos mecanismos de transparência, como plataformas públicas de dados e rastreabilidade mineral.



A extração de terras raras envolve riscos ambientais e sociais, sobretudo porque muitas dessas jazidas estão situadas em áreas de alta sensibilidade ecológica ou próximas a comunidades vulneráveis. Para compatibilizar a produção com preservação ambiental e justiça social, a mineração de terras raras deve estar condicionada a instrumentos de ordenamento territorial, como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE).

Isso ajuda a evitar conflitos com áreas protegidas, corredores ecológicos e territórios indígenas, ao mesmo tempo em que direciona os investimentos para regiões com menor risco ambiental.

Tendo conhecimento das áreas de ocorrência dos minerais, é possível mapear possíveis minerações que teriam menor impacto social ou ambiental. A mineração legal tem área limitada de exploração e o tipo de atividade permite que a área vá sendo recuperada à medida que o projeto é implantado.

Além disso, como enfatizam lideranças indígenas, os projetos devem garantir participação social ativa e consulta às comunidades potencialmente afetadas, especialmente em territórios indígenas, tradicionais ou áreas protegidas, conforme a Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT). Fortalecer conselhos locais, ampliar canais de denúncia e garantir acesso a informações públicas são caminhos fundamentais.

Para garantir a segurança e o bem-estar das comunidades, a “licença social para operar” (LSO) também é crucial, exigindo diálogo aberto, transparente e a participação das comunidades nas decisões sobre o uso futuro das áreas mineradas. As empresas, segundo o Ibram, são incentivadas a ir além das compensações obrigatórias, investindo em desenvolvimento local, diversificação econômica e capacitação profissional para as comunidades, preparando-as para o pós-mineração.

Estamos – o Brasil e o mundo – em um momento decisivo: há oportunidades claras, mas a mineração responsável precisa se tornar regra e componente de uma transição energética justa, ou seja, com distribuição de oportunidades e benefícios. Isso exige ação coordenada entre governos, setor produtivo, academia e sociedade.

Saídas promissoras: sustentabilidade, tecnologia e agregação de valor

As principais inovações tecnológicas que moldam o futuro da mineração no Brasil incluem o aprofundamento no uso de tecnologias digitais, enquanto o País avança na consolidação de seu papel como fornecedor de minerais estratégicos, em crescente esforço para agregar valor localmente

O Brasil apresenta soluções promissoras no campo dos minerais críticos, entre elas a pesquisa aplicada em sustentabilidade e tecnologias digitais e nos modelos de negócios e agregação de valor.

As principais inovações tecnológicas que moldam o futuro da mineração incluem o aprofundamento no uso de tecnologias digitais – como inteligência artificial (IA), Machine Learning (ML), internet das coisas (IoT), *big data* e *analytics* – para otimizar processos e prospecção. Aliadas a automação, robótica e veículos autônomos, essas tecnologias vão proporcionar novos ganhos em segurança, produtividade e eficiência no uso de água e energia.

Já no que se refere aos modelos de negócio e agregação de valor ao longo da cadeia, o Brasil avança na consolidação de seu papel como fornecedor de minerais estratégicos, com um crescente esforço para agregar valor localmente. Empresas estão avançando para a transformação química do lítio, produzindo hidróxido e carbonato de lítio de grau bateria,

agregando valor localmente. Além disso, a reciclagem de latas de alumínio no Brasil é um modelo de sucesso em economia circular (*leia mais à pág. 169*), com altas taxas de recuperação e redução de impactos ambientais, que pode inspirar outros setores.

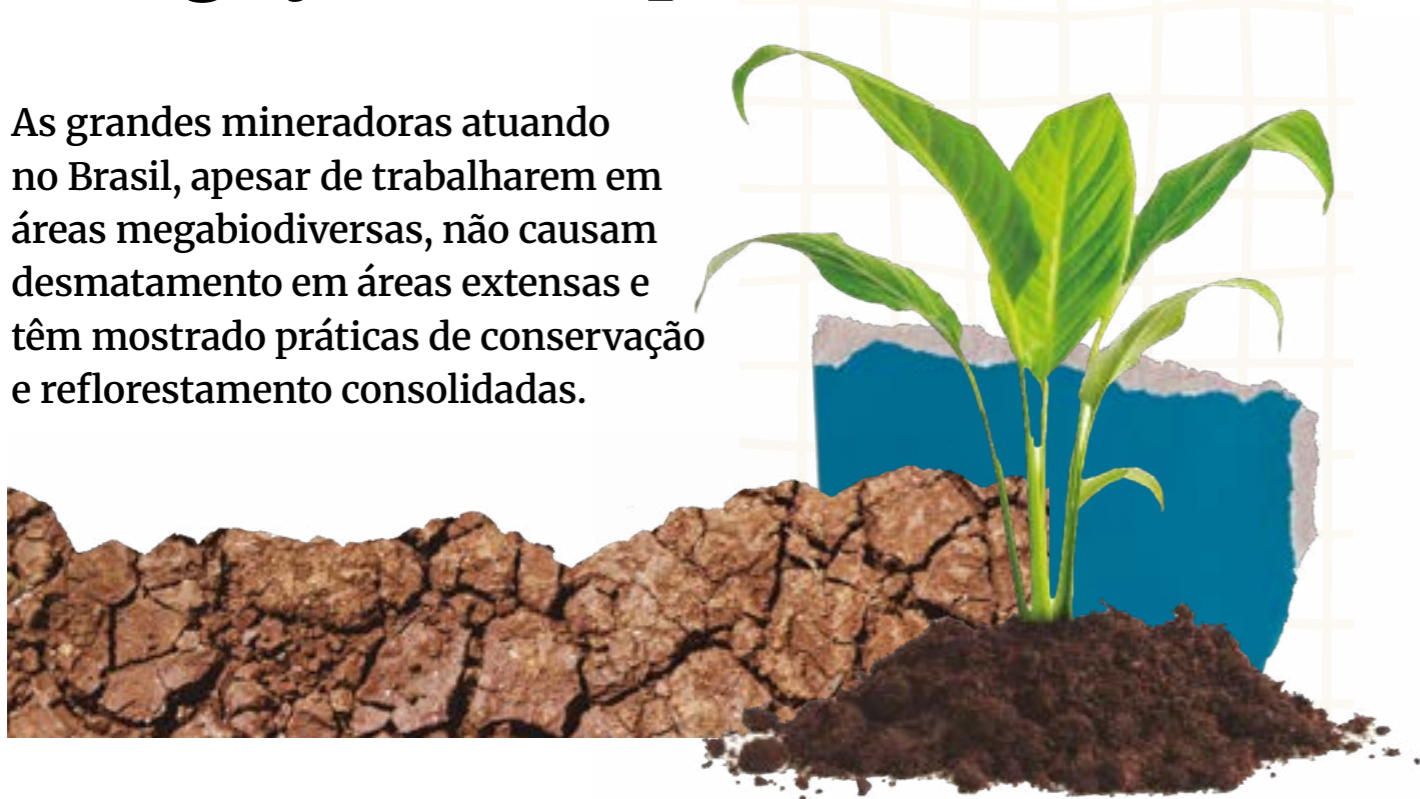
O Brasil já abastece parcialmente cadeias de valor de energia limpa por meio da exportação de minerais como lítio, níquel, cobre, grafite, terras raras e nióbio. Embora a exportação de concentrados minerais ainda seja predominante, há sinais concretos de conexão, com empresas globais investindo em projetos brasileiros de lítio e nióbio visando à oferta e ao processamento local.

Empresas como a Sigma Lithium focam na produção de “lítio verde”, o que atrai investimentos e diferencia o produto no mercado internacional. A expansão da rastreabilidade e certificação de origem sustentável é fundamental para que os minerais brasileiros atendam às exigências globais de descarbonização e responsabilidade social.

Conservação, restauração e gestão ambiental

Mitigação de impactos

As grandes mineradoras atuando no Brasil, apesar de trabalharem em áreas megabiodiversas, não causam desmatamento em áreas extensas e têm mostrado práticas de conservação e reflorestamento consolidadas.



As companhias do setor acumulam conhecimento para aplicar ações regenerativas que restaurem paisagem degradada, controlem a erosão e promovam a resiliência hídrica, incluindo sistemas de retenção de água e reflorestamento com espécies nativas.

Além disso, a atividade mineradora pode gerar impactos positivos na medida em que compartilha informações sobre o território. Para atuarem, as empresas precisam de dados locais de qualidade a respeito de solo, relevo, clima e quaisquer variáveis que possam afetar sua produtividade e ativos. Devidamente empregados em parcerias com governos locais,

empresas de outros setores e terceiro setor, esses dados podem ter efeito socioambiental multiplicador, ao embasar projetos variados de mitigação, adaptação e ordenamento territorial, segundo a consultoria Humana.

Em relação à restauração, o Brasil tem aprimorado significativamente os processos, especialmente com a introdução de legislações sobre planos de fechamento de mina, alinhadas às melhores práticas internacionais, segundo o Núcleo de Pesquisa para Mineração Responsável da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP). A recuperação ou restauração da área minerada é sempre realizada

no próprio local, de acordo com informações do Centro de Tecnologia Mineral (Cetem), unidade de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

A obrigatoriedade de recuperar a área degradada é um requisito exigido pela Constituição Federal. Esta obrigatoriedade se refere à área de influência da mineração (direta ou indireta), canteiro de obras e vias de acesso. Este total tem de ser recuperado ou reabilitado para voltar à sua condição anterior ou para uma destinação compatível com a região e os parâmetros de qualidade ambiental que se requer para aquela área. Esta restauração vai atender aos critérios fixados no licenciamento, que aparecem como condicionantes com cronograma próprio a ser atendido, com metas e resultados mensuráveis.

A recomposição topográfica, a recolocação de solo vegetal, o controle da erosão, a correção da qualidade do solo e a revegetação são rotinas adotadas para a recuperação ambiental de áreas de lavra. As práticas de restauração e compensação ambiental têm sido eficazes em mitigar os impactos da mineração, na avaliação do Ibram.

Práticas de recuperação de áreas degradadas feitas a partir já do início da operação mostraram-se mais efetivas sob os aspectos financeiro e ambiental. Mas, por melhor que tenha sido a técnica utilizada na restauração, é muito difícil que a área restaurada retorne à sua

condição inicial, principalmente em termos de biodiversidade. Em relação ao desmatamento, a tendência é reduzir ao máximo a área a ser desmatada, tanto nos acessos como na área a ser explorada, e há o esforço da recuperação da degradação, simultaneamente ao processo produtivo.

Por isso, segundo o Cebri, a recuperação deve ser planejada desde o início da operação, com o conceito de fechamento de mina progressivo, incluindo modelagem de relevo e cobertura vegetal para restabelecer funções ecológicas; uso de espécies nativas para reflorestamento; e transformação de áreas em parques, lagos artificiais ou empreendimentos de uso múltiplo.

Em relação a boas iniciativas fora das áreas de mineração, um dos casos mais sofisticados é relatado pela Belterra Agroflorestas, uma empresa B (Benefit Corporation, comprometida com a geração de impactos sociais e ambientais positivos). Com investimento do Fundo Vale, a Belterra vem implementando agroflorestas e práticas agrícolas regenerativas em seis polos em quatro estados, alcançando três biomas.

A proposta da iniciativa, apresentada pelo Fundo Vale em 2020, é chegar a 100 mil hectares. A atividade da Belterra, que ultrapassou 6 mil hectares, passou a exercer efeito multiplicador, ao fomentar novos negócios relacionados a reflorestamento.

Saídas maduras: compensação ambiental, recuperação da vegetação e *strip mining*



Entre soluções já maduras na conservação, restauração e gestão ambiental das áreas impactadas pela mineração, estão a compensação ambiental estratégica, os chamados Planos de Fechamento de Mina (PFMs) e a prática de *strip mining* (lavra em tiras) – que permite a lavra progressiva do depósito, seguida de recuperação ambiental quase imediata da área minerada, enquanto a produção se desloca para uma área próxima.

Em complemento à restauração no local, a compensação ambiental é exigida para impactos significativos, especialmente a projetos licenciados em áreas com relevância ecológica. Essa compensação pode ocorrer em áreas diferentes da mina, como a criação ou manutenção de unidades de conservação; por meio de investimentos em pesquisa, reflorestamento ou recuperação de nascentes em regiões afetadas indiretamente; ou ainda por contribuições financeiras obrigatórias, conforme previsto na legislação (Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC).

A compensação geralmente não ocorre na área minerada em si, mas sim em locais definidos como equivalentes ecológicos ou prioritários para conservação, de acordo com critérios do órgão ambiental. Costuma acontecer quando

não é possível atender de forma plena a recuperação devida, permitindo que seja possível alcançar a meta prevista de área restaurada ou degradada.

Tanto a restauração como a compensação devem ser, preferencialmente, efetuadas na área minerada ou em área contígua, ou do mesmo bioma, ou na mesma bacia hidrográfica, para que os resultados ambientais sejam comparáveis, ou seja, não haja perda ambiental. Quando há possibilidade de perda, aumenta a compensação ambiental.

Diversas empresas estão se comprometendo com metas de restauração que excedem a exigida no licenciamento, em uma demonstração de atuação responsável ou em uma parceria com órgãos em que sejam fixadas metas comuns. Além da recuperação *in loco*, empresas mineradoras investem em compensações ambientais para preservar ou restaurar ecossistemas em outras regiões, frequentemente vinculadas a unidades de conservação.

Já os Planos de Fechamento de Minas (PFMs) introduzem uma mudança fundamental: a recuperação ambiental e a destinação futura da área minerada deixam de ser uma etapa final e passam a integrar o próprio ciclo de vida do empreendimento, desde sua concepção

inicial. Isso permite antecipar riscos, mitigar impactos e garantir a convivência da atividade mineral com outras formas de uso do solo e com a conservação da biodiversidade.

O Decreto nº 10.965/2022 e a Resolução ANM nº 95/2022, que o regulamenta, estabelecem diretrizes e critérios técnicos, conteúdo obrigatório, exigência de garantias financeiras e prazos para a apresentação e atualização dos PFMs. As legislações exigem que a recuperação das áreas degradadas seja planejada desde o início do projeto, integrando-se ao licenciamento ambiental e ao Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (Prad).

O fechamento de mina é um processo que integra critérios de sustentabilidade para mitigar impactos sociais, ambientais e econômicos. O planejamento adequado do fechamento e reabilitação ambiental visa garantir que o legado do setor traga benefícios para empresas e sociedade, informa o Ibram.

Por fim, a *strip mining* é uma prática consolidada. A técnica minimiza impactos paisagísticos e erosão, além de facilitar a reintrodução de vegetação. É aplicada não apenas em projetos de grande porte, mas também em lavras de menor escala com bom planejamento técnico, segundo a consultoria Humana.

EXEMPLOS DA ATUAÇÃO EMPRESARIAL

Alcoa, Hydro e MRN - Mineração Rio do Norte

são empresas do setor de bauxita que aplicam o *strip mining*, realizando recuperação progressiva e monitoramento contínuo de fauna e flora.

No caso da **Alcoa, em Juruti (PA)**, a empresa também implementou sensores para controle de umidade do solo e drones para o mapeamento e acompanhamento da vegetação reabilitada. Os resultados mostram que mais de 80% da área minerada já foi reabilitada ou está em processo de recuperação, um número considerado como referência para o setor mineral.

A **Hydro Paragominas**, no Pará, utiliza lavra em tiras associada à metodologia de *Tailing Dry Backfill*, devolução dos rejeitos inertes às áreas já mineradas, o que elimina a necessidade de novas áreas de armazenamento. A operação aplica técnicas de controle geotécnico e hidráulico para minimizar a compactação do solo, o que favorece o retorno da biodiversidade. A empresa desenvolveu um

Sistema Integrado de Gestão Ambiental da Lavra, que permite o acompanhamento por imagens de satélite e inteligência artificial da evolução das áreas reabilitadas. O programa de reflorestamento segue a meta de reabilitar um hectare para cada hectare minerado, exceto áreas de infraestrutura, em até dois anos após a lavra. Entre 2009 e 2024, a Mineração Paragominas havia reabilitado 3.467 hectares²⁹.

Alcoa e Hydro mantêm parcerias com instituições locais especializadas no bioma Amazônia como o Museu Paraense Emílio Goeldi, Embrapa, UFPA e ICMBio para acompanhar a fauna e flora em áreas reabilitadas, com monitoramentos multianuais que têm demonstrado retorno progressivo da biodiversidade original da floresta.

Localizada em Oriximiná (PA), a **MRN** aplica técnicas de *strip mining* com recuperação progressiva da vegetação de floresta tropical, um grande desafio técnico. A empresa conduz pesquisas com a Embrapa e universidades, com foco na recuperação

funcional do ecossistema. Mais de 7 mil hectares já foram reflorestados, com monitoramento contínuo de fauna e flora. É um modelo escalável e replicável, inclusive para minerais estratégicos com lavra semelhante, segundo o Núcleo de Pesquisa para Mineração Responsável da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP).

O empreendimento de bauxita da empresa, inserido na Floresta Nacional Saracá-Taquera, ocupa apenas 4,24% da área total da referida Unidade de Conservação. A mineradora conta com diversos programas e iniciativas na região da Flona para auxiliar na conservação da floresta, com um robusto plano de ações de produção e plantio de mudas; monitoramento da flora e solo; acompanhamento de espécies arbóreas e arbustivas, entre outras ações que auxiliam na restauração florestal.

Uma dessas iniciativas é o desenvolvimento do Programa de Resgate, Salvamento, Multiplicação e Reintrodução da Flora (PRSF),

a ser implantado após o término das atividades de lavra. Desde 2016, a MRN preserva materiais botânicos para compor a sua coleção científica. Ao todo, já foram armazenados 892 exemplares vegetais. Esta atividade de resgate tem interface com o Programa de Recuperação de Áreas Degradadas, pois fornece espécimes para enriquecimento ambiental de áreas em restauração florestal.

Anglo American: possui programas de compensação que incluem corredores ecológicos e proteção de nascentes fora das áreas operacionais.

CBA - Companhia Brasileira de Alumínio (Zona da Mata - MG): primeira mineradora a receber, em 2025, a Declaração de Recuperação Ambiental de Áreas Mineradas, emitida pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam) do Estado de Minas Gerais, é referência internacional por implantar projetos de restauração ecológica de alta qualidade em opera-

ções de bauxita de médio e pequeno porte na Zona da Mata.

Esses projetos promovem a recomposição da vegetação nativa, proteção hídrica, e integração com comunidades locais, gerando benefícios sociais e ambientais, e contribuindo para a resiliência dos territórios frente às mudanças climáticas. Estudo em parceria com a Universidade Federal de Viçosa (UFV) apontou o retorno de mais de 60 espécies vegetais e 53 espécies de aves após as ações de recuperação ambiental³⁰.

CBMM (Araxá, MG): a companhia preserva mais de 1.200 hectares de Cerrado, incluindo áreas de pesquisa e conservação de fauna e flora.

Mineração Taboca: desenvolve tecnologias em parceria com a Embrapii para concentração e extração de elementos terras raras (ETR) a partir de rejeitos da mineração de estanho³¹. Trata-se de uma solução concreta que

agrega valor a resíduos, reduz impactos ambientais e amplia o aproveitamento de substâncias estratégicas para a transição energética.

Além disso, o modelo de coinvestimento da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), com mais de 90 centros de pesquisa e 162 projetos em curso na área mineral, está se consolidando como uma forma eficaz de impulsionar inovação tecnológica em empresas de todos os portes. A atuação em temas como reaproveitamento de resíduos, processamento mineral avançado e digitalização de processos operacionais mostra-se essencial para alinhar a mineração brasileira às exigências da transição energética.

MG LIT - Lithium Ionic (Vale do Jequitinhonha - MG): a empresa tem articulado mineração com projetos socioambientais. Além de investir em energia solar para alimentar suas operações, a companhia planeja investir R\$ 750 milhões no Vale do Jequitinhonha, com foco

na geração de empregos. A iniciativa também mantém um viveiro de mudas para espécies nativas com foco em restauração e educação ambiental. São 1,2 mil mudas plantadas até o momento³².

Serra Verde (Minaçu - GO):

a mina de terras raras aplica rotas tecnológicas mais limpas, com valorização de coprodutos, redução da geração de resíduos e baixo uso de reagentes. Fez o planejamento para recuperação ambiental progressiva da área minerada, inspiradas em experiências anteriores com fosfato e níquel.

Sigma Lithium (Vale do Jequitinhonha - MG):

além da mineração de lítio de baixo impacto, a empresa investe em programas de reflorestamento e compensação em áreas do Cerrado, plantando espécies nativas. Esse modelo visa criar corredores ecológicos e promover a inclusão social na restauração ambiental, integrando biodiversidade e geração de renda.

Vale - Mina de Águas Claras (Nova Lima - MG): após o encerramento das atividades

de extração de ferro pela Vale, a área passou por um processo de reabilitação do solo e revegetação, com a introdução de espécies nativas da Mata Atlântica. Hoje, parte da área está integrada ao cinturão verde da região metropolitana de BH e é usada para pesquisa, educação ambiental e lazer, sendo considerado um exemplo de reuso sustentável da paisagem minerada.

Da área total de 1.908 hectares da mina, 1.225 hectares são destinados à proteção ambiental, incluindo a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Mata do Jambreiro, que possui 912 hectares e é um importante remanescente de Mata Atlântica. A recuperação da área da mina também inclui obras de caráter geotécnico para a segurança das estruturas de mineração, segundo a empresa.

Vale - Complexo Carajás (PA):

a empresa ajuda a proteger e gerenciar o Mosaico, um conjunto de seis Unidades de Conservação no Sul e Sudeste do Pará, que abriga a maior área contínua

de Floresta Amazônica na região. Além disso, promove o reflorestamento de áreas de pastagens em Serra Sul, criando corredores ecológicos e restabelecendo a fauna e a flora. A empresa utiliza espécies nativas da região, como as da Floresta Nacional de Carajás, para o plantio em Áreas de Preservação Permanente (APP). O Mosaico é parte crucial no plano da Vale de proteger 1,2 milhão de hectares de florestas “fora da cerca”.

Em Carajás, a área protegida é de 800 mil hectares e a operação tem impacto sobre 3% dessa área (ou, por causa da operação de mineração, são protegidos 97% da área, 776 mil hectares). O modelo inclui monitoramento em parceria com o ICMBio e uma “ocupação econômica” do território que gera emprego e reduz o espaço para atividades ilegais. A empresa tem o compromisso de proteger e restaurar mais 500 mil hectares de biomas no Brasil, com foco na Amazônia, até 2030; e chegou a mais 220 mil hectares em 2024 (sendo 200 mil de preservação e 20 mil de recuperação).

carbono



Crédito nos mercados

O Brasil é um campo fértil para a implementação de projetos que visam gerar créditos de carbono, tanto pela sua extensa área de florestas tropicais, quanto pelo potencial de gerar energia de fontes renováveis e por desenvolver um arsenal de técnicas agrícolas que capturam e armazenam carbono. O marco legal sancionado em 2024 ainda será regulamentado, mas já se configura como instrumento de política climática que deve engajar setor privado, fundos e governos

do extinto Protocolo de Kyoto aos atualíssimos projetos de restauração de ecossistemas, o mercado de carbono se consolida cada vez mais como um instrumento de política climática, de conservação e de financiamento da transição para uma economia inclusiva e de baixo carbono. O Brasil é um campo fértil para a implementação de projetos que visam gerar créditos de carbono, tanto pela sua extensa área de florestas tropicais (*mais à pág. 57*), quanto pelo potencial de gerar energia de fontes renováveis (*mais à pág. 93*) e por desenvolver um arsenal de técnicas agrícolas que capturam e armazenam carbono (*mais à pág. 27*). Em razão desses fatores de competitividade, tende a se consolidar como um provedor de soluções nesse campo dentro e fora do País, especialmente por já acumular experiência em projetos que geram créditos de carbono desde a década de 2000, por já ter um mercado voluntário em operação e pelo novo

marco legal sobre o mercado regulado, aprovado no final de 2024.

A origem do mercado de carbono remonta a 1997, na COP 3, realizada na cidade japonesa de Kyoto, quando os países signatários da Convenção sobre Mudança do Clima da ONU (UNFCCC, na sigla em inglês) concordaram em assumir compromissos mais rígidos para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O Protocolo de Kyoto foi o primeiro acordo mundial voltado a esse objetivo, e instituiu, de forma inédita, o sistema de comércio de emissões de gases de efeito estufa. Nele, os países poderiam negociar títulos denominados certificados de emissão reduzida (CERs), dando origem aos primeiros créditos de carbono. Muitos desses créditos eram gerados por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), voltado a países em desenvolvimento que voluntariamente investissem em projetos de redução das emissões.

PRECIFICAÇÃO DE CARBONO NO MUNDO

O MAPA MOSTRA JURISDIÇÕES QUE IMPLEMENTARAM INSTRUMENTOS DE PRECIFICAÇÃO DE CARBONO, COMO MECANISMOS DE CONFORMIDADE (ETS* OU IMPOSTOS SOBRE O CARBONO) E/OU MECANISMOS VOLUNTÁRIOS DE MERCADO DE CARBONO

MECANISMOS

Instrumentos de conformidade**:

37 ETS

43 Impostos sobre o carbono***

33 Mecanismos voluntários****

113
TOTAL

ONDE SÃO APLICADOS

55

Jurisdições nacionais

44

Jurisdições subnacionais

RECEITAS GERADAS EM 2024

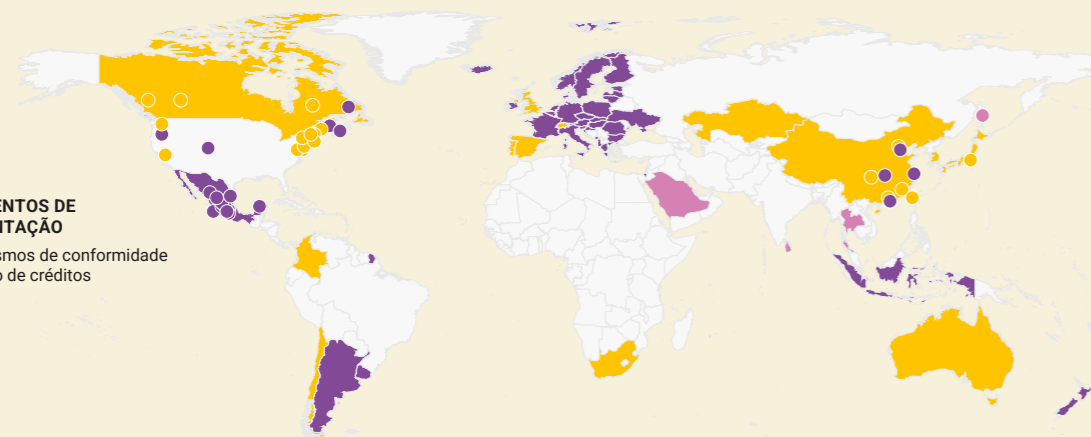
US\$ 69 bilhões
ETS

US\$ 33 bilhões
Impostos sobre o carbono

US\$ 102
bilhões
TOTAL

INSTRUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

- Mecanismos de conformidade
- Emissão de créditos
- Ambos



PREÇOS

(1 crédito = 1 t CO₂e):

US\$ 0,1 <-----> US\$ 158,8

TOTAL DE EMISSÕES COBERTAS PELOS MECANISMOS DE CONFORMIDADE:

14,7 GtCO₂e

28% das emissões globais de GEE

23% ETS

5% Impostos sobre o carbono

Fonte: Banco Mundial

*Sistemas de comércio de emissões (na sigla em inglês). Neles, o governo impõe um limite à quantidade de emissões de GEE das entidades abrangidas. As entidades devem entregar unidades de emissão (ou "permissões") para cobrir suas emissões dentro de um período de conformidade. Cada unidade de emissão representa o direito de emitir um determinado volume de emissões (tipicamente 1 tCO₂e) e pode ser negociada entre as entidades abrangidas ou, às vezes, com outros negociadores.

**Instrumentos de conformidade: inclui sistemas de comércio de emissões (ETS) ou impostos sobre carbono, em que as entidades abrangidas são obrigadas a pagar pelas emissões de suas atividades econômicas. A participação na atribuição de créditos de carbono, por outro lado, é opcional, com os participantes a ganhar "créditos" em reconhecimento por reduções ou remoções de emissões quantificadas e verificadas.

***Imposto sobre o carbono: Por meio dele, o governo cobra uma taxa das entidades cobertas por suas emissões de GEE, proporcionando um incentivo financeiro para a redução das emissões. Nesse tipo de imposto, o governo define o preço das emissões (a alíquota do imposto). O volume resultante de reduções de emissões alcançado pela política é determinado pela resposta das entidades emissoras ao preço definido.

****No âmbito de um mecanismo de crédito de carbono, créditos negociáveis (representando 1 tCO₂e) são gerados por meio de atividades voluntárias de redução de emissões. Os créditos de carbono são emitidos para atividades que reduzem as emissões, de acordo com protocolos que visam garantir que cada crédito represente uma redução genuína de emissões. Os créditos podem, então, ser vendidos a compradores, gerando receita.



Assim, a partir de Kyoto surgiram os primeiros mercados regulados de carbono, onde apenas os países desenvolvidos tinham metas de redução de emissões e, para isso, poderiam comprar créditos dos países em desenvolvimento, por meio de projetos MDL, como de reflorestamento, de substituição de energia ou de captura de carbono em aterros sanitários, por exemplo. O carbono se tornou uma moeda de troca para a compra e venda dos créditos entre os países, de modo que cada crédito equivale a 1 tonelada de carbono (e outros gases de efeito estufa equivalentes) que deixaram de ser lançados na atmosfera. As negociações no âmbito do Protocolo de Kyoto perduram por 20 anos, até o Acordo de Paris, firmado na COP 21, em 2015.

O Brasil foi, aliás, o primeiro país signatário de Kyoto a regulamentar internamente o tratado e também o primeiro a ter um projeto de MDL registrado na ONU – de aproveitamento energético do biogás do aterro sanitário de Nova Iguaçu (RJ), em 2024. A experiência como o MDL foi um grande marco, tanto para a diplomacia brasileira, que protagonizou as negociações em torno do tema, quanto para

a sociedade brasileira como um todo, que passou a enxergar esse processo de precificação do carbono como uma oportunidade também de atração de investimentos e geração de riqueza atrelados à proteção ambiental. Essa lógica perdurou e se ampliou com a aprovação do Acordo de Paris, que instituiu mecanismos ainda mais sofisticados em termos de abordagens cooperativas para a mitigação de emissões – a partir de Paris, todos os países passaram a firmar compromissos ambientais, partindo do princípio das responsabilidades comuns, mas diferenciadas.

Com a crise das hipotecas americanas de 2008, o mercado sofreu com a instabilidade de preços, e a própria evolução das negociações sobre mudanças climáticas mudou o cenário, de modo que os países em desenvolvimento passaram a também assumir compromissos de redução de suas emissões. Contudo, já estavam lançadas as bases para que várias iniciativas de precificação de carbono fossem adotadas por países, regiões e cidades.

De acordo com o Banco Mundial, atualmente o mundo soma 113 iniciativas de precificação

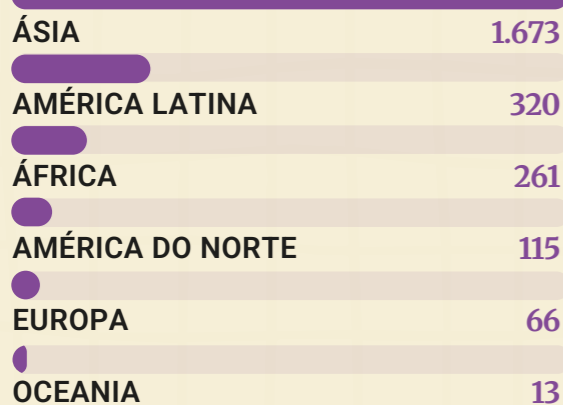
MERCADO VOLUNTÁRIO

PROJETOS VCR* REGISTRADOS NA AMÉRICA DO SUL E NO MUNDO

O Brasil é líder no mercado voluntário de carbono na América do Sul, respondendo por 40% do total de projetos e 25,6% das reduções de emissões anuais:



A Ásia lidera no cenário global, respondendo por 68% dos projetos e 59% das reduções de emissões anuais, com predominância de projetos de energia renovável:



Fonte: Systemica/Aliança Brasil NBS
*VCR = Sigla em inglês para Padrão de Carbono Verificado, ou projetos certificados para ofertar créditos no mercado

[introdução]

de carbono, divididos entre instrumentos de conformidade (*compliance*) e os mecanismos voluntários. O primeiro grupo inclui os sistemas de comércio de emissões (ETS, na sigla em inglês) e os impostos sobre o carbono que, juntos, geraram receitas de US\$ 102,2 bilhões em 2024 e cobriram 28% das emissões globais de gases estufa (ver infográfico).

Já os mecanismos voluntários do mercado de carbono foram criados paralelamente – e inspirados no mercado regulado. Nele, empresas e governos subnacionais podem transacionar os créditos de carbono em uma relação bilateral e não sujeita a regulação. É baseado na aquisição dos créditos de carbono sem que haja obrigações legais para a redução de emissões, com as entidades comprometendo-se voluntariamente a compensar o CO₂ lançado na atmosfera.

O Brasil lidera o mercado voluntário de carbono na América do Sul, respondendo por 40% do total de projetos e 25,6% das reduções de emissões anuais. A maioria das iniciativas são de REDD+, sigla para Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal, um instrumento criado pela ONU que prevê o pagamento por resultados de redução de emissões de carbono associadas ao desmatamento e à degradação florestal. Globalmente, 68% dos projetos que geram créditos de carbono destinados ao mercado voluntário estão na Ásia, com predominância de projetos de energia renovável, com 59% das reduções de emissões anuais.

[contexto]

Marco legal amplia possibilidades

As oportunidades do mercado de carbono no Brasil ampliam-se ainda mais com a definição do marco legal, aprovado em dezembro de 2024 com a sanção da Lei nº 15.042/24.

Aprovada no Congresso Nacional após um longo período de tramitação, em diferentes textos, a lei estabelece as bases para o mercado regulado de carbono no País, ao permitir que as emissões de gases poluentes possam ser convertidas em ativos financeiros negociáveis, ampliando as possibilidades de atração de investimentos internacionais.

O marco legal cria o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) e estabelece metas de emissão de gases de efeito estufa para atividades econômicas que serão abrangidas pela lei – emissores acima de 25 mil toneladas de CO₂ equivalente/ano, o que deve incluir setores industriais, energia, transportes e resíduos. Dessa forma, as empresas que não atingirem suas metas de redução poderão comprar permissões de emissão, batizadas de Cotas Brasileiras de Emissão (CBEs) das empresas que estiverem abaixo do limite.





Esse mecanismo, internacionalmente conhecido como *cap and trade*, viabiliza um sistema de compra e venda dessas cotas de emissão, com o governo definindo o teto total de emissões permitidas para o país. Com a regulamentação desse mercado, o Brasil passa a ter um sistema obrigatório e fiscalizado, diferentemente do mercado voluntário, no qual a participação das empresas não é mandatória. O SBCE pretende funcionar ainda como uma ferramenta de competitividade verde, ao estimular investimentos em tecnologias produtivas de baixo carbono, enquanto aquelas intensivas em emissões estarão sujeitas a custos adicionais.

Construída com participação de entidades setoriais e do setor privado, a lei estimula a participação das empresas na agenda de descarbonização. Em 2016, logo após a aprovação do Acordo de Paris, o debate sobre a instituição de um instrumento de precificação de carbono no País ganhou mais espaço na agenda pública, o que abriu a porta para que entidades do setor empresarial tomassem uma posição.

Uma das mais ativas foi o Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), que em 2017 lançou uma carta aberta em conjunto com a Iniciativa Empresarial em Clima (IEC) manifestando o apoio do setor privado à precificação de carbono no Brasil, que foi assinada por 25 CEOs e executivos de finanças de grandes empresas brasileiras. O documento, entregue ao então ministro do

O SBCE pretende funcionar como uma ferramenta de competitividade verde, ao estimular investimentos em tecnologias produtivas de baixo carbono, enquanto aquelas intensivas em emissões estarão sujeitas a custos adicionais.

Meio Ambiente, José Sarney Filho, abriu espaço para um diálogo mais próximo entre o setor empresarial e o governo brasileiro nessa temática – mas ainda não estava claro qual tipo de instrumento seria mais adequado ao contexto brasileiro.

O debate amadureceu a partir da conclusão de que um mercado regulado de créditos de carbono seria o melhor modelo regulatório para conduzir a questão, em razão da custo-efetividade desse sistema, que permite uma trajetória de descarbonização com um menor custo para a economia como um todo, e pela experiência recente do Brasil com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no âmbito do Protocolo de Kyoto, que possibilitou a negociação de créditos de projeto de energia limpa.

Até que fosse aprovado, o marco legal atual tramitou por quatro anos nas duas Casas do Legislativo e é visto hoje como um dos pilares para o País alcançar a meta contida na nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), apresentada na COP 29, em Baku, Azerbaijão. O compromisso brasileiro perante o Acordo de Paris prevê a redução entre 59% a 67% nas emissões do País até 2035, em comparação a 2005, e a expansão dos mercados de carbono é uma das estratégias para alcançá-lo. O mercado regulado de carbono também é um dos itens que compõem o Plano de Transformação Ecológica liderado pelo Ministério da Fazenda.

ETAPAS

A implementação do SBCE será gradual, dividida em cinco fases principais, de modo que a expectativa do governo federal é de que o mercado regulado de carbono esteja 100% operacional dentro de cinco anos. Essa transição controlada, segundo o Ministério da Fazenda, busca garantir previsibilidade e segurança jurídica para as empresas reguladas e evitar impactos bruscos na economia, oferecendo às empresas a oportunidade de se adequar gradualmente ao novo regramento. São essas as etapas:

Fase 1 (12 a 24 meses após a aprovação): Regulamentação inicial, criação do órgão gestor e definição dos setores que serão regulados. Nesta etapa, estão previstas ainda a definição dos detalhes operacionais do sistema e as bases jurídicas para o funcionamento do mercado.

Fase 2 (12 meses): Operacionalização do sistema de monitoramento, relato e verificação (MRV) das emissões de gases de efeito estufa. É por meio deste sistema que as empresas informarão o reporte de suas emissões de forma padronizada, criando uma base de dados que permitirá a fiscalização do mercado.

Fase 3 (24 meses): Marcará o início da obrigação de apre-

sentar relatórios de emissões e planos de monitoramento, fornecendo os dados para o primeiro Plano Nacional de Alocação (PNA), que definirá as regras de distribuição de cotas e o volume inicial disponível para o mercado.

Fase 4:

Início do primeiro ciclo de alocação de Cotas Brasileiras de Emissão (CBEs) e realização dos primeiros leilões. Nesta etapa, será publicado o PNA e as primeiras cotas começam a ser emitidas e negociadas, com a participação das empresas reguladas.

Fase 5:

Implementação plena do mercado, com o primeiro leilão de CBEs e o início do mercado secundário, que permitirá a negociação entre empresas.

Na prática, no cronograma estabelecido legalmente, os primeiros dois anos serão dedicados à regulamentação; depois, haverá um período de criação dos mecanismos de mensuração para as empresas que emitem mais de 25 mil toneladas de CO₂ e/ano e, só depois, a definição do teto e da distribuição entre os setores, com o Plano Nacional de Alocação (PNA). Durante esse período de regulamentação, o país terá o apoio técnico do Banco Mundial, que mantém um programa que contribuiu para a construção de mercados de carbono em diversos países.

PRÓXIMOS PASSOS

Na atual fase 1 (agosto de 2025), está em curso a definição do órgão gestor do mercado de carbono regulado, que será uma secretaria

extraordinária provisória dentro do Ministério da Fazenda. O órgão será responsável pela condução da regulamentação do SBCE enquanto não houver uma instância definitiva para supervisionar o sistema de cap and trade. As atividades da secretaria incluem o início da formação do registro central das emissões – que funcionará como uma espécie de livro contábil do mercado regulado – e a criação de modelos padronizados para que as empresas reguladas relatem suas pegadas de carbono.

Uma vez instalada a secretaria, será publicado o Plano de Implementação – um documento detalhado, preparado com apoio do Banco Mundial, para orientar os agentes do mercado nas diferentes fases da regulamentação. Completando a governança, o governo federal espera estabelecer nos próximos meses o Comitê Técnico Consultivo e a Câmara de Assuntos Regulatórios, também previstos no marco legal.

Em paralelo, o Ministério da Fazenda trabalha em uma proposta de projeto de lei para que seja criada uma agência reguladora para assumir a gestão do mercado regulado – a expectativa da pasta é de que ela já esteja operando na ocasião do Plano Nacional de Alocação, na fase 3 da implementação. Será necessário fortalecer também outros órgãos que integram o ecossistema do carbono e a futura autoridade nacional, que cuidará de etapas seguintes as quais envolvem a chamada interoperabilidade entre o mercado regulado e voluntário, a autorização de transferências internacionais e a elegibilidade dos créditos de carbono.

Diferentes mercados devem coexistir



O passado recente com os projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) deu ao Brasil estofo para o desenvolvimento de projetos de crédito de carbono ligados à área de energia, que preconizam a substituição de combustíveis fósseis, mais poluentes, por outros menos poluentes e/ou renováveis; projetos de geração de energia renovável (parques eólicos, usinas solares, biomassa); recuperação de metano em aterros sanitários e projetos de eficiência energética.

Com o Redd e Redd+, os projetos ligados à conservação florestal e manejo tomaram a frente no mercado voluntário e abriram caminho também para projetos de restauração conhecidas pela sigla em inglês ARR (Florestamento, Reflorestamento e Revegetação, que visam a recuperação de áreas e ecossistemas degradados, como florestas, pastagens e sistemas

agroflorestais (SAF). No mesmo embalo, estão em ascensão os projetos de agricultura e pecuária, por meio dos quais produtores rurais podem gerar créditos com a adoção de práticas agrícolas de baixo carbono e regenerativas, como uso de bioinsumos, plantio direto, rotação de culturas e sistemas e Integração Lavoura, Pecuária e Floresta (ILPF).

Com a regulamentação do marco legal, a perspectiva é de que diferentes mercados de carbono coexistam no Brasil: o já operacional mercado voluntário, o Redd Jurisdicional, que é um novo nicho dentro do mercado voluntário (*ver quadro na próxima página*) começa a dar os primeiros passos, e o mercado regulado, via SBCE. Para especialistas, a segurança jurídica conferida pela lei vai incrementar os mercados de formas diversas, principalmente em relação à integridade e à transparência.

ATIVIDADES QUE PODEM GERAR CRÉDITOS DE CARBONO

OFERTA (QUEM VENDE):

Os créditos de carbono podem representar reduções de emissões alcançadas por meio de prevenção (impedindo que as emissões de GEE entrem na atmosfera) ou remoção (retirada de GEE da atmosfera)

- ENERGIAS RENOVÁVEIS
- REDD+
- REDD JURISDICIONAL
- RESTAURAÇÃO DA NATUREZA
- EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
- TROCA DE COMBUSTÍVEIS
- ENGENHARIA DE CARBONO

DEMANDA (QUEM COMPRA):

Pode vir de instrumentos de conformidade (ETS ou impostos sobre o carbono que permitem o uso de compensações), países com metas a cumprir de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) na Convenção sobre Mudança do Clima da ONU; compensação voluntária (às vezes vinculada à precificação interna do carbono) ou financiamento climático baseado em resultados.

CONCEITOS:

REDD+: sigla para Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal é um instrumento criado pela ONU que prevê o pagamento por resultados de redução de emissões de carbono associadas ao desmatamento e à degradação florestal. O REDD+ constitui grande parte dos créditos de carbono negociados no mercado voluntário no Brasil.

REDD+ JURISDICIONAL: é uma abordagem que trabalha com a contabilização da redução das emissões nos limites de um território específico, seja país, seja estado, seja município.



Fonte: Elaboração própria, Banco Mundial, Aliança Brasil NBS, B3

Mercado voluntário: em busca de alta integridade

No caso do mercado voluntário, que teve parte de sua credibilidade arranhada em razão de episódios fraudulentos envolvendo projetos florestais, o momento é de revisão de metodologias e de uma redução na emissão de créditos. Essa é a avaliação da Aliança Brasil NBS (Nature-Based Solutions), grupo que reúne 15 membros, entre desenvolvedoras de projetos de créditos de carbono e organizações do terceiro setor, respondendo por 70% dos créditos de carbono emitidos desde 2022 ligados a soluções baseadas na natureza e uso da terra, agricultura e florestas. Segundo a Aliança, um dos indícios de que o mercado voluntário está entrando em uma fase de maior maturidade é o fato de que o volume de emissão de novos créditos advindos de projetos florestais vem diminuindo, enquanto as aposentadorias (quando o crédito é utilizado para fazer uma compensação e sai de circulação) está aumentando.

De acordo com uma análise da consultoria especializada Systemica¹, nos três primeiros meses de 2025 a emissão global de novos créditos no mercado voluntário atingiu 61,8 MtCO₂e (milhões de toneladas de CO₂e), uma queda de 27,5% em relação ao ano anterior, impulsionada principalmente por uma forte redução na emissão de créditos de soluções baseadas na natureza, particularmente de projetos REDD+. Em contrapartida, as aposentadorias ultrapassaram 55 MtCO₂e, representando um dos maiores volumes de aposentadorias registradas nos últimos trimestres. O superávit geral permaneceu pouco acima de 1 bilhão de tCO₂e, com uma desaceleração em sua taxa de crescimento. Com base nas tendências atuais de emissão e aposentadoria, projeta-se que o superávit aumente em menos de 1% até o final de 2025.

O equilíbrio entre oferta e demanda no mer-

CARBONO E USO DA TERRA

Na sopa de letras da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima das Nações Unidas, os projetos de carbono ligados ao uso da terra podem se enquadrar na categoria Agricultura, Floresta e outros Usos do Solo (AFOLU, na sigla em inglês), que podem seguir diferentes metodologias: desmatamento evitado Redd; desmatamento evitado com ganhos para as comunidades Redd+; restauração florestal (ARR), agricultura (ALM) e manejo florestal (IFM). No Brasil, a dominância é de projetos de desmatamento evitado (82%) e restauração florestal (16%), segundo estudo de 2023 da Aliança Brasil NBS.

cado voluntário sugere não uma estagnação do mercado, mas uma busca por créditos de maior qualidade – ou, no jargão do segmento, de alta integridade. Hoje, as principais compradoras desses títulos são empresas com metas de neutralidade climática que fazem parte do programa SBTi (Iniciativa de Metas Baseadas na Ciência, na sigla em inglês), que reúne mais de 10 mil empresas no mundo todo e visa mobilizar o setor privado e as instituições financeiras para se engajarem em metas de redução das emissões alinhadas com a ciência climática mais recente e com os objetivos do Acordo de Paris.

Por conta desses compromissos, o valor movimentado em 2024 foi da ordem de US\$ 1,4 bilhão em 2024², acompanhado por uma demanda superior a 180 milhões de MtCO₂e pelo terceiro ano consecutivo. As previsões da Bloomberg sugerem um valor de mercado potencial de US\$ 500 bilhões a US\$ 1 trilhão/ano, a depender da integridade dos créditos.

O SBCE vai permitir a conexão com o mercado voluntário de carbono, por meio das compensações – os chamados offsets – que poderão “migrar” para o mercado regulado, desde que atendam a requisitos a serem ainda detalhados em uma regulamentação futura. Essa é a chamada “interoperabilidade” entre mercados. De antemão, o marco legal já estabelece que sejam créditos com alta integridade e adicionalidade, provenientes de projetos com metodologias reconhecidas pelo SBCE e com a garantia de que não haja dupla contagem de créditos. Na visão dos analistas do mercado de carbono, essa interoperabilidade deve contribuir também para dar maior robustez, segurança jurídica e proteção a fraudes no mercado voluntário.

O MERCADO VOLUNTÁRIO EM NÚMEROS

US\$ 1,4 bilhão

MOVIMENTADOS EM 2024

+ 180 milhões

MTCO₂E DE DEMANDA, PELO 3º ANO CONSECUTIVO

US\$ 500 bilhões a US\$ 1 trilhão/ano

DE VALOR DE MERCADO POTENCIAL, SEGUNDO A BLOOMBERG

Além disso, abre caminho para o fomento a novos projetos de descarbonização em setores variados que poderão ofertar créditos no sistema – não apenas nos segmentos que terão metas a cumprir, o que deve contribuir para que o Brasil alcance as metas contidas na NDC. Para o Ministério da Fazenda, paralelamente à redução das emissões nos setores mais intensivos em carbono, que serão regulados, o SBCE vai estimular os demais setores a investir em projetos de descarbonização para alimentar a demanda por créditos. Na visão da pasta, isso vai impulsionar novas cadeias produtivas, a ciência e a inovação de baixo carbono, criando um efeito virtuoso na economia brasileira. Inclusive no setor do agro-negócio, que ficou fora do mercado regulado, mas contribui com uma fatia de quase 30% das emissões de gases de efeito estufa do Brasil.

Bolsas em preparação

O ambiente de bolsa de valores já se prepara para o aumento das transações envolvendo créditos de carbono, tanto aqueles oriundos do mercado voluntário, quanto os créditos gerados após a regulamentação do SBCE. A Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F, atual B3) foi pioneira na comercialização de créditos do extinto MDL, nos anos 2000. Em 2010, a B3 lançou o Índice Carbono Eficiente, uma carteira de ações formada por só por empresas de capital aberto que realizam inventários de emissões de gases de efeito estufa. Mais recentemente, a B3 passou a negociar, em seu mercado de balcão³, os Créditos de Descarbonização, ou CBIOS (*mais no box*).

Em 2023, a B3 deu um passo à frente e criou ambiente próprio de registro de créditos de carbono, nos mesmos moldes que oferece para outros produtos do mercado financeiro de capitais. A bolsa anunciou uma parceria com a ACX (AirCarbon Exchange), uma plataforma de negociação global com foco em ativos ambientais, com sede em Singapura. O acordo teve como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma para o mercado de créditos de carbono no Brasil integrada com a estrutura de registro disponibilizada pela B3, unindo as duas pontas.

Dessa forma, os clientes da B3 passaram a ter acesso amplo à plataforma internacional de negociação da ACX. A parceria foi possível a partir da atuação da BlockC, empresa de tecnologia blockchain voltada para o mercado de carbono, que acumula experiência desde a década de 2000 no segmento de desenvolvimento de projetos de carbono com foco em energia, quando atuava com o nome de Ecoinvest.



ALTA INTEGRIDADE

São créditos de carbono que representam reduções ou remoções de emissões de gases de efeito estufa que são verificadas, seguindo os padrões do ICVCM (Integrity Council for the Voluntary Carbon Market). Para serem considerados desta forma, os créditos também precisam atender a requisitos adicionais que medem impactos positivos sociais e na biodiversidade, além de beneficiar economicamente o território onde são gerados.

ADICIONALIDADE

As reduções ou remoções da atividade de mitigação devem ser adicionais – ou seja, elas não teriam ocorrido na ausência do incentivo criado pelo mercado de carbono.]

Um olhar para o território

Mecanismo mais recente do sistema Redd+, o Jurisdicional é uma nova abordagem, que trabalha com a contabilização da redução das emissões nos limites de um território específico, que pode ser um município, estado ou país. No âmbito dos mercados de carbono, a jurisdição é a base territorial sobre a qual se estabelecem as metas de redução do desmatamento e os projetos de carbono. O mecanismo é resultado de um aprimoramento do conceito do Redd+ para os níveis subnacionais, ou seja, voltado a estados e municípios – a ideia central é que os recursos gerados via projetos de crédito carbono subsidiem políticas públicas de combate ao desmatamento e de desenvolvimento sustentável.

Os projetos desenhados até o momento partem do princípio do pagamento baseado em resultados. A avaliação da redução é feita em comparação com a quantidade de carbono que foi

emitida na jurisdição antes do projeto Redd+. Esses governos podem, então, usar fundos de Redd+ Jurisdicional para manter áreas protegidas, controlar o desmatamento, aprimorar políticas de comando e controle do desmatamento, de manejo florestal e de contenção das queimadas e degradação florestal.

O princípio do pagamento por resultados de conservação ambiental não é novo – já estava presente em políticas públicas já desenhadas por estados brasileiros como Acre e Mato Grosso, que participaram do Programa Redd+ Early Movers do banco KfW, da Alemanha. A novidade agora é o interesse crescente do setor privado na iniciativa, especialmente pela via do mercado voluntário de carbono, e a participação de organizações da sociedade civil como prestadoras de apoio técnico. Com esse empurrão, vários estados brasileiros es-

tão desenhando suas políticas de Redd+ Jurisdicional, como Tocantins, Pará, Piauí, Maranhão e Amazonas.

Exemplos dessa nova abordagem são a Coalizão LEAF, que reúne governos e empresas para financiar a proteção de florestas, especialmente na parte tropical e subtropical do globo, e a suíça Mercuria Energy Group, que tem negócios de comercialização de óleo e gás, energia elétrica, biocombustíveis, produtos agrícolas e metais. Em 2023, entrou no segmento de carbono com o lançamento do fundo Sylvania, com foco em investimentos em soluções baseadas na natureza. Entre seus negócios, está o aporte ao programa de Redd+ Jurisdicional do Tocantins e do Piauí.

A Coalizão LEAF (ou Reduzindo Emissões por meio da Aceleração do Financiamento

Florestal) visa aumentar a ambição climática global e contribuir para deter o desmatamento tropical e subtropical e a degradação florestal até 2030. É uma coalizão global voluntária que reúne empresas e governos para financiar a conservação de florestas tropicais e subtropicais de acordo com a escala do desafio da mudança climática. O grupo de participantes reúne os governos da Noruega, Coreia do Sul, Reino Unido e dos Estados Unidos como doadores e mais de 30 grandes empresas como Amazon, Airbnb, Bayer, BCG, SAP, McKinsey, Nestlé, Salesforce e Unilever.

A iniciativa, que já recebeu 27 propostas de diferentes jurisdições, prevê mobilizar US\$ 1 bilhão em compromissos financeiros, sendo que US\$ 270 milhões já estão sendo alocados em contratos assinados com Costa Rica, Equador, Gana e o governo do Pará.

PAGAMENTOS POR RESULTADOS NO SETOR FLORESTAL

No âmbito da UNFCCC, em 2013, foi criado o Marco de Varsóvia para Redd+, que estabelece os requisitos para o reconhecimento de resultados de mitigação no setor florestal e para a obtenção de pagamentos por resultados de Redd+ em âmbito nacional dos países. Por este mecanismo, as reduções comprovadas de emissões de carbono florestal são recompensadas por meio de “pagamentos por resultados”, onde o pagamento está ligado a reduções de emissões medidas em relação a uma linha de base de toda a jurisdição. Esses pagamentos são realizados por resultados de mitigação, medidos em toneladas de CO₂ equivalente, e são canalizados através de fontes internacionais, em particular do Fundo Verde para o Clima (Green Climate Fund – GCF, em inglês). O Brasil já recebeu pagamentos por resultados de seus programas nacionais de Redd+ do GCF e do governo da Noruega, por meio do Fundo Amazônia.

COMPROMISSOS E RESULTADOS

27
PROPOSTAS
RECEBIDAS DE
DIFERENTES
JURISDIÇÕES

**US\$ 1
bilhão**
PREVISTO EM
COMPROMISSOS
FINANCEIROS

**US\$ 270
milhões**
JÁ ALOCADOS EM
CONTRATOS ASSINADOS
COM COSTA RICA,
EQUADOR, GANA E O
GOVERNO DO PARÁ



REDD JURISDICIONAL: INEDITISMO, COMPLEXIDADE E VARIEDADE DE SOLUÇÕES

O Redd+ Jurisdicional entrou no radar dos Estados amazônicos, que estão estruturando políticas voltadas ao mecanismo que faz com que os recursos gerados com a venda de créditos de carbono subsidiem iniciativas de combate ao desmatamento, de desenvolvimento sustentável e de bioeconomia. Hoje, oito estados da Amazônia Legal e também o Piauí estão em fases distintas de desenho de políticas, sendo que Tocantins e Pará saíram na frente, com negociações já acertadas.

Pressionado por índices elevados de desmatamento e expansão da fronteira agrícola na região conhecida como Matopiba, o Tocantins saiu na frente entre os estados brasileiros na estruturação de um programa de Redd+ Jurisdicional. A base para isso foram dois marcos legais: o primeiro, estabelecido em 2008, foi a Política Estadual de Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável (PEMC), que abriu caminho para iniciativas de Redd+ no âmbito estadual e autorizou o Tocantins a negociar créditos de carbono em mercados nacionais ou internacionais.

O segundo marco legal foi a Política Estadual de Pagamen-

to por Serviços Ambientais (PEPSA), publicada em 2023, que detalhou o objetivo do estado de valorizar os esforços de redução das emissões e conservação dos estoques de carbono na vegetação nativa em seus dois biomas, Cerrado (presente em 91% do território) e Amazônia (9%). O Tocantins também assumiu compromissos climáticos de redução das emissões de carbono florestal.

Para gerar os créditos jurisdicionais, o governo do estado implementou ações em todo o território visando uma redução sistemática do desmatamento e da degradação florestal, com planos de prevenção do fogo e de incentivo à agricultura de baixo carbono (Plano ABC+TO) e criou uma estrutura de governança que pudesse garantir a participação das partes interessadas – de grandes produtores rurais a agricultores familiares, povos indígenas, quilombolas e populações tradicionais.

Depois, definiu uma linha de base para calcular as reduções reais de emissões de carbono florestal, a partir da média das emissões históricas por desmatamento e degradação por queimadas do período de 2015 a 2019. Na prática,

a diferença entre o desmatamento anual verificado após a implementação do Redd+ e a linha de base corresponde às emissões evitadas, que geram créditos de carbono para serem negociados.

O passo seguinte foi verificar, por meio de auditoria independente, se a metodologia cumpria os requisitos do padrão ART Trees – o mais reconhecido para projetos de Redd+ Jurisdicional, por encampar salvaguardas sociais mais rigorosas. Depois dessa etapa, o Tocantins foi a primeira jurisdição subnacional a protocolar o documento de registro no ART Trees no mundo, em novembro de 2024, durante a COP 29, em Baku, Azerbaijão. Levou na bagagem uma redução do desmatamento de 44,3% entre os meses de junho a outubro de 2024 em comparação ao mesmo período do ano anterior.

Para desenvolver o projeto, o governo do Tocantins firmou uma parceria com a empresa suíça de commodities e energia Mercuria Energy Group, que aportou R\$ 20 milhões na iniciativa e, como *trader*, poderá comercializar os créditos provenientes da empreitada. A Mercuria, por meio do seu fundo independente Sylvania,

vai adquirir os créditos gerados pelo estado até o final da década, com uma projeção potencial de mais de 50 milhões de créditos, que pode representar uma receita adicional estimada em mais de R\$ 2,5 bilhões até 2030.

Os recursos serão aplicados nas próprias políticas públicas ambientais do Tocantins, gerando um ciclo virtuoso, e vão custear também a repartição de benefícios da venda dos créditos. O governo do estado está na reta final de um total de 52 oficinas com povos tradicionais, o agronegócio e órgãos públicos para definir a melhor forma de destinar os recursos, buscando uma escuta ativa das comunidades envolvidas. Uma delas, realizada no final de julho, ouviu a população indígena da etnia Karajá, na Ilha do Bananal, dentro do processo de consulta livre, prévia e informada da Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) – uma das salvaguardas exigidas pelo processo de certificação.

De acordo com a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (Semarh), o projeto de Redd+ Jurisdicional do estado trouxe visibilidade à política ambiental do estado, que tem sido consultado por outras regiões dentro e fora do Brasil sobre o

tema. Também abriu portas a novas parcerias para projetos de restauração, como um acordo para reflorestar 12 mil hectares no Parque Estadual do Cantão, zona de transição entre os biomas Cerrado, Pantanal e Amazônia.

UM ACORDO HISTÓRICO

Em setembro de 2024, o Pará assinou um acordo histórico ao vender quase R\$1 bilhão em créditos de carbono e garantir financiamento da Coalizão LEAF para apoiar seus esforços de redução do desmatamento. O governo do Estado celebrou o acordo com a Emergent, coordenadora da Coalizão LEAF, que prevê a compra de até 12 milhões de créditos de carbono florestal de alta integridade, gerados por reduções no desmatamento no Pará entre os anos de 2023 a 2026. Cada crédito, que representa uma tonelada métrica de reduções de emissões de carbono resultantes de cortes no desmatamento, será comprado ao preço de US\$ 15 por tonelada.

Os recursos serão utilizados, a partir deste ano, para financiar programas que visam reduzir o desmatamento, além de apoiar o modo de vida dos povos tradicionais e o desenvolvimento sustentável. Esses programas compartilharão, equitativamente, os benefícios econômicos com os povos

indígenas, quilombolas, comunidades extrativistas e agricultores familiares que estão na linha de frente na luta contra o desmatamento. A ideia é que 85% dos recursos sejam repassados diretamente a essas populações, com uma fração destinada a ações de proteção e ordenamento territorial.

As mudanças no uso da terra e o desmatamento foram responsáveis por 74,8% das emissões de gases de efeito estufa do Pará entre os anos de 2018 e 2022. A partir do Plano Estadual Amazônia Agora (Peaa), principal plataforma de combate à perda de florestas, o Estado conseguiu reduzir em 21% as taxas de desmatamento em 2023, em comparação ao ano anterior, o que sinalizou uma possibilidade real de alcançar o objetivo estadual de reduzir em 37% as emissões até 2030. O programa de Redd+ Jurisdicional vem, assim, contribuir com a meta, visto que a redução progressiva das taxas de desmatamento do Pará exige a estruturação de uma estratégia de financiamento climático que promova a continuidade da redução das taxas de desmatamento, ao mesmo tempo fomentando mudanças na matriz produtiva, com a promoção de novas atividades econômicas baseadas na floresta em pé, como a bioeconomia.

Restauração de florestas é a bola da vez – e outras tendências

O mercado de carbono é um dos catalisadores de projetos de restauração e recomposição de ecossistemas, conhecidos pela sigla em inglês ARR (Florestamento, Reflorestamento e Revegetação), que estão ganhando impulso. Empresas e startups voltadas a projetos dessa natureza foram criadas nos últimos cinco anos, alimentadas pelos recursos de fundos de investimentos, bancos de fomento e grandes companhias, atentas ao potencial tanto de mitigação de emissões, quanto da valorização de ativos florestais.

O compromisso brasileiro firmado perante o Acordo de Paris de recompor 12 milhões de hectares de vegetação até 2030 e a oferta de concessões de florestas públicas com áreas degradadas para restauração voltados à iniciativa privada, com linhas de crédito no BNDES voltadas a esse fim, também contribuem para o recente *boom* das iniciativas de restauração.

Os projetos de ARR visam a recuperação de áreas e ecossistemas degradados, como florestas, pastagens e sistemas agroflorestais (SAF), e têm como objetivo a remoção do carbono da atmosfera – diferentemente dos projetos de Redd+, que buscam evitar o desmatamento e a degradação. Os projetos de restauração requerem contratos de longo prazo e tendem a ser mais caros para a implementação, pois exigem a aquisição ou arrendamento de terras, demandam custos relacionados à proteção das áreas, ao plantio de mudas (insumos, mão-de-obra), semeaduras e condução da regeneração natural, entre outras técnicas.

Na esteira dos projetos de restauração, estão emergindo também projetos de agricultura e pecuária, onde produtores rurais podem gerar créditos com a adoção de práticas agrícolas de baixo carbono e regenerativas, como uso de bioinsumos, plantio direto, rotação de culturas e sistemas de ILPF. Várias dessas tecnologias já estão presentes no agronegócio brasileiro, mas o interesse dos produtores por certificá-los e vender créditos no mercado voluntário ainda é incipiente.

No entanto, na medida em que se aperfeiçoam as ferramentas de mensuração do carbono na agropecuária, esse horizonte tende a se ampliar.

A Embrapa Territorial fez uma meta-análise a partir de mais de 30 estudos científicos sobre precificação de carbono na agricultura e na pecuária publicados entre 2004 e 2024 em diversos países e chegou à estimativa de um valor de US\$ 11,54/tCO₂e para o Brasil.

CRÉDITOS PARA AS BIG TECHS

O mercado voluntário de carbono tem viabilizado os investimentos em reflorestamento na Amazônia e na Mata Atlântica, com modelos de negócios que se caracterizam por parcerias com fundos e investidores atentos às oportunidades de ganhos advindos de vendas de créditos de carbono para grandes empresas de tecnologia, ávidas para compensar suas emissões de gases de efeito estufa. Com o avanço das tecnologias de inteligência artificial (IA), cujos data centers demandam alto consumo de energia, o negócio se tornou ainda mais promissor, visto que os projetos de restauro florestal são eficientes na captura de carbono da atmosfera.

Com a meta de recuperar 1 milhão de hectares, a re.green está com nove projetos de restauro florestal em seu *pipeline*, distribuídos em quatro

estados – Bahia, Pará, Maranhão e Mato Grosso, que somam mais de 30 mil hectares. Destes, 12 mil hectares já estão em processo de restauração ativa, com quase 6 milhões de mudas plantadas. O modelo de negócios da empresa consiste em adquirir ou arrendar áreas, realizar as atividades de restauro – geralmente em áreas com pastos degradados – capturar carbono e vender os créditos no mercado voluntário.

A empresa tem firmado contratos com grandes empresas de tecnologia, entre elas a Microsoft, para a venda de 3 milhões de créditos de carbono decorrentes do reflorestamento de 16 mil hectares na Amazônia e Mata Atlântica. Outro contrato importante foi firmado com a Nestlé, e prevê a restauração de 2 mil hectares no Sul da Bahia, com o plantio de 3,3 milhões de árvores da vegetação nativa e

a geração de 880 mil créditos de carbono ao longo de 30 anos. A ação faz parte de uma estratégia de apoiar a gigante de alimentos na adoção de práticas regenerativas no campo, com foco nas regiões produtoras de cacau e café.

Além da negociação dos créditos no mercado voluntário, a re.green aposta na demanda futura que poderá vir tanto com o mercado regulado no Brasil, quanto com a regulamentação do artigo 6.4 no Acordo de Paris, que possibilitará a compra e venda de créditos entre países. Em ambos os casos, será preciso que os créditos ligados a remoções de carbono por meio do restauro sejam aceitos no sistema *cap & trade* – há uma proposta para que o ETS europeu, por exemplo, aceite até 3% de créditos de outros países a partir de 2036.

Segundo a Embrapa, o valor pode servir como uma referência para políticas públicas de incentivo à redução das emissões no agronegócio e também para estratégias de pagamentos por serviços ambientais voltados a agricultores.

As metodologias que subsidiam projetos voltados à geração de créditos de carbono estão em constante evolução, de modo que as principais empresas globais que trabalham com os padrões (*standards*) desse mercado, como a Verra e a Gold Standard, atualizam com frequência o rol de novas metodologias. Exemplos disso são o desenvolvimento de padrões para a emissão de créditos a partir do biochar, que é o “biocarvão”, obtido a partir da pirólise de biomassa, que pode gerar créditos pela quantificação da remoção de CO₂ da conversão de biomassa em biochar e sua posterior aplicação como corretivos de solo ou em materiais de construção, como concreto.

Também está sendo revisada a metodologia para o CCUS – captura e armazenamento de carbono, tecnologia conhecida como CCUS, na sigla em inglês –, que prevê a redução de emissões pela captura e aprisionamento do carbono em formações geológicas profundas no subsolo. Essas tecnologias são utilizadas por empresas produtoras de petróleo e gás natural – é o caso da Petrobras, que tem se destacado por um grande programa de CCUS no pré-sal da Bacia de Santos.

Outro projeto inédito no Brasil, em vias de verificação, é o de substituição de lâmpadas na iluminação pública. A Future Climate, plataforma de negócios climáticos que inclui consultoria, financiamento e estruturação de projetos de créditos de carbono em diferentes vertentes, obteve a certificação para um projeto com esse perfil, que parte da redução do consumo de energia elétrica em duas

idades nordestinas – Aracaju, em Sergipe, e Feira de Santana, na Bahia. Ao substituir lâmpadas da iluminação pública tradicionais por equipamentos LED, as cidades não apenas melhoram sua eficiência energética, mas reduzem emissões de gases de efeito estufa e vão garantir uma nova fonte de receita a partir da negociação dos créditos de carbono.

O projeto Public Lighting in Brazil Grouped Project deve evitar a emissão de cerca de 9.200 toneladas de CO₂ na atmosfera por ano nas duas cidades, que somam 116.359 lâmpadas LED instaladas. Em Aracaju, a substituição aconteceu de 2021 a 2024 e foram trocados 60.033 pontos de iluminação, resultando em uma redução do consumo energético de 67,2% (de 4.332.505 kWh para 1.420.952 kWh). Já em Feira de Santana foram mais de 46 mil lâmpadas trocadas, inclusive com a instalação de luminárias com chips para manutenção preventiva. A projeção de economia financeira no município baiano foi de 50%. Além da economia, há uma modernização da rede elétrica urbana e melhora na iluminação, beneficiando a população.

O projeto foi registrado e aprovado junto à certificadora Verra como um gerador de créditos, e o próximo passo será a auditoria nos moldes do MRV (monitoramento, reporte e verificação). Após a aprovação dos dados, os créditos serão negociados no mercado voluntário. Por ser um projeto do tipo “agrupado”, ele permite a inclusão de novas instâncias - ou seja, outras cidades brasileiras que estejam realizando a substituição de lâmpadas convencionais, de alto consumo energético, por lâmpadas LED, mais eficientes. A redução no consumo de energia decorrente dessa modernização é o que gera os créditos de carbono e essa inclusão de novas cidades é possível para ações iniciadas a partir de novembro de 2021. A próxima cidade a ser incorporada ao monitoramento do projeto é Campinas (SP).

Créditos de biodiversidade

Deve ganhar corpo nos próximos anos o desenvolvimento de metodologias que combinam remoção de carbono a benefícios para a fauna e flora e geram ativos financeiros negociáveis. Uma das principais experiências nesse campo vem da Austrália, que criou o EcoAustralia, programa em que cada crédito equivale a uma tonelada de carbono equivalente (CO₂e) de emissões evitadas mais 1,5 metro quadrado de vegetação nativa protegida e credenciada pelo governo – medida localmente chamada de ABU (unidade de biodiversidade australiana, na sigla em inglês). Esses créditos podem ser transacionados tanto nos mercados já estabelecidos de carbono quanto no sistema de compra e venda de offsets (compensações) de biodiversidade, criado em 2016 no país para fomentar a conservação de territórios de interesse ecológico estratégico.

No Brasil, um exemplo de metodologia que soma a mensuração do carbono e dos serviços ecossistêmicos é o PSA Carbonflor, desenvolvido pela consultoria ambiental Econ e utilizada pelo Legado das Águas, uma área preservada de Mata Atlântica de 31 mil hectares no Vale do Ribeira, no sul de São Paulo, mantida pela Reservas Votorantim. O projeto combina uma metodologia de pagamento por serviços ambientais a remoções de carbono por desmatamento evitado (nos moldes do Redd+), o que gera créditos batizados de C+ – ou seja, carbono associados à biodiversidade. Para a negociação desses créditos, a B3 criou um ambiente de registro para projetos que gerem créditos associados a essa nova metodologia.

Analistas do mercado de carbono apostam em uma maior aproximação entre os créditos de

carbono e de biodiversidade, impulsionado por três principais fatores: o reconhecimento do valor econômico da biodiversidade; a crescente pressão sobre as empresas para combater seus impactos ambientais a partir do novo Marco Global da Biodiversidade (Acordo Kunming-Montreal), que estabeleceu metas específicas para o setor privado; e a potencial integração de créditos de biodiversidade em mercados emergentes.

Embora as metodologias ainda estejam sendo testadas e não haja ainda um padrão internacional de referência, a crescente conexão entre as soluções em clima e natureza abre caminho para a construção de mercados de crédito para biodiversidade de alta integridade com salvaguardas socioambientais, contemplando as vozes dos povos indígenas e comunidades locais, com preços mínimos estabelecidos e acordos de governança internacional atualizados.



Avanços na modelagem de um mercado regulado global

Um dos resultados mais celebrados da COP 29, realizada em 2024 em Baku, no Azerbaijão, foram os avanços nas negociações dos artigos 6.2 e 6.4 do Acordo de Paris, que ampliam os horizontes para a criação de um mercado regulado de carbono global. O Artigo 6.2 regulamenta os ITMOs – sigla em inglês para Resultados de Mitigação Internacionalmente Transferíveis, mecanismo que permite aos países reduzir emissões com o investimento em projetos em outros países.

Para usar ITMOs com o objetivo de reduzir suas próprias emissões, era necessário avançar na regulamentação, o que ocorreu em Baku. Já o Artigo 6.4 busca definir um mecanismo centralizado para certificar projetos e transações dos ITMOs. A expectativa é de que essa regulamentação avance mais na COP 30, em Belém, abrindo espaço para ampliar o uso de ITMOs para apoiar os países em NDCs mais ambiciosas.

A regulamentação do artigo 6.4 do Acordo de Paris prevê ainda a destinação de uma parcela dos rendimentos com a geração dos créditos

de carbono para o Fundo de Adaptação criado no âmbito da Convenção do Clima, a UNFCCC, para apoiar estratégias de adaptação às mudanças climáticas em países vulneráveis. Essa já era uma prerrogativa dos projetos de MDL no Protocolo de Kyoto, que previa uma taxa de 2% aplicada sobre todas as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) emitidas.

Ao longo de cerca de 10 anos, o MDL destinou mais de US\$ 200 milhões de um total de mais de US\$1 bilhão de recursos do Fundo de Adaptação. No Acordo de Paris, o percentual destinado ao fundo de adaptação subiu para 5% das Unidades de Redução de Emissões (novo nome dos ativos) geradas dentro do novo mecanismo, que serão retidas. Segundo especialistas, esta é uma das ideias que pode ser “copiada” pelo mercado regulado de carbono brasileiro, a partir da regulamentação do SBCE.



B3: CBIOS, UM BALÃO DE ENSAIO PARA O MERCADO REGULADO

A bolsa de valores foi o ambiente pioneiro no Brasil na venda de créditos de carbono do extinto Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), preconizado pelo Protocolo de Kyoto. A antiga Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F, atual B3), leiloou, em 2007, um total de 808,4 mil créditos de carbono gerados pela Prefeitura de São Paulo. Resultados do controle do metano que deixou de ser lançado na atmosfera pelo aterro sanitário Bandeirantes, que funcionava em Perus, na Zona Norte da capital paulista, e posteriormente desativado, os créditos foram arrematados pelo banco holandês Fortis Bank NV/SA, que pagou R\$ 34 milhões pelo lote – o crédito foi negociado a € 16,20 a tonelada de carbono equivalente, 27,5% a mais do que o valor mínimo.

Mais de uma década se passou até que o ambiente do mercado de capitais se tornasse palco de outro modelo para negociação de Créditos de Descarbonização, os CBIOS. Instituídos em 2017 pela Renovabio, política pública voltada a expandir a produção brasileira de biocombustíveis, os CBIOS foram desenhados como ativos financeiros emitidos por empresas produtoras de etanol ou biodiesel que demonstram reduções de gases de efeito estufa e certificados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

No mercado que passou a vigorar a partir de 2020, os compradores desses créditos são as empresas distribuidoras de biocombustíveis, como forma de abater as emissões da venda de combustíveis fósseis. Para este ano, a ANP fixou a meta de negociação de 40,39 milhões de créditos, e cada CBIO corresponde a uma tonelada de carbono que deixou de ser lançada no meio ambiente.



Para tornar esse ambiente operacional, a B3 criou um ambiente de registro voltado para os CBIOS, nos moldes de outros ativos financeiros que são negociados na bolsa, tais como debêntures, derivativos e letras financeiras. A B3 atua como infraestrutura, registrando e divulgando informações sobre as negociações, que são feitas no mercado de balcão, voltado aos entes regulados pelo Renovabio. A compra e venda efetivamente é feita por instituições financeiras, e os ativos podem compor fundos e serem comprados por outros perfis de investidores.

E, apesar de os CBIOS não se conectarem com os créditos de carbono do mercado voluntário, a criação de uma infraestrutura de registro permitiu à B3 realizar um balão de ensaio de como uma infraestrutura semelhante pode vir a ser utilizada para o mercado regulado de carbono. Uma das mudanças trazidas pelo marco legal do mercado de carbono é a classificação das Cotas Brasileiras de Emissão (CBEs) como ativos mobiliários, um passo necessário para ampliar as negociações desses títulos, como ocorre nos mercados de carbono mais maduros. A B3 faz parte do grupo de trabalho que discute detalhes da regulamentação da lei e deverá ser um ambiente de negociação.

BLOCKC E TEMBICI: BICICLETAS COMPARTILHADAS GERAM OS PRIMEIROS CRÉDITOS DE MOBILIDADE ATIVA



As bicicletas compartilhadas da empresa de mobilidade Tembici – conhecidas como “laranjinhas do Itaú” – já fazem parte da paisagem de grandes cidades como São Paulo, Rio e Salvador, no Brasil, e Buenos Aires, Bogotá e Santiago, na América do Sul. Utilizadas tanto para trabalho quanto para lazer, as bicicletas foram objeto do primeiro leilão de créditos de carbono de uma empresa de micromobilidade urbana no mundo, em 2022.

Foram colocados à venda dois lotes de 750 unidades de crédito de carbono, com lance mínimo de US\$ 7 por unidade, que equivale a 1

tonelada de CO₂ e evitada, ou seja, que deixou de ser lançada na atmosfera a partir do momento em que o usuário optou pela bicicleta em vez do carro. Embora o volume de 1,5 mil créditos tenha sido pequeno em comparação ao que é usualmente negociado em mercados voluntários, a iniciativa teve um caráter educativo e também inaugurou a Bolsa Verde do Rio, iniciativa da prefeitura carioca para criar um hub de negociação de ativos ambientais.

A ideia de ofertar créditos de carbono veio com a adesão da Tembici

à iniciativa Bikes for the Planet – o primeiro projeto de geração de créditos de carbono de micromobilidade do mundo –, para o qual a *startup* de mobilidade emitiu 2,4 mil créditos certificados pelo padrão internacional Verified Carbon Standard (VCS) desde 2019.

Responsável pelo desenho da estratégia da Tembici, a BlockC, empresa especializada em tecnologia *blockchain* voltada para o mercado de carbono, também disponibilizou a plataforma ACX (AirCarbon Exchange) para a realização do leilão virtual, que teve as empresas StoneX Financial e Climate Seed, ligadas ao banco francês BNP Paribas, como compradoras dos lotes, ao preço de US\$ 8,50 a tonelada de carbono.

economia circular



O redesenho necessário

Exceto por iniciativas isoladas, a circularidade ainda é um conceito incipiente no Brasil. A reciclagem é o pilar que se encontra mais avançado, ainda que seja a última solução de uma cadeia de valor circular. Esse quadro pode mudar, pois o País espera concluir ainda este ano o seu conjunto de políticas cruciais para alavancar o modelo

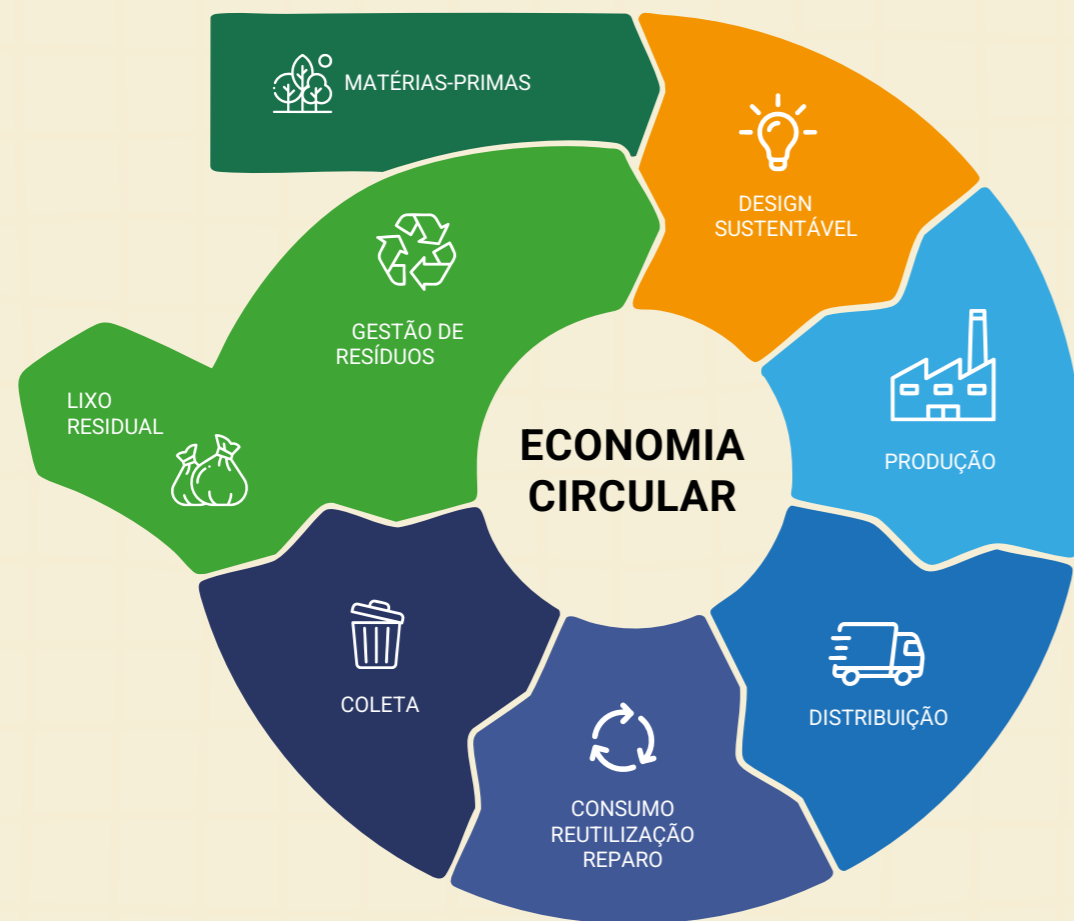


Com grande potencial de mitigar a crise climática, a economia circular baseia-se em três princípios: eliminar resíduos e poluição, circular produtos e materiais, regenerar a natureza. O valor contido em produtos, materiais e recursos naturais deve circular nos processos produtivos pelo maior tempo possível, reduzindo ao máximo a extração de matérias-primas e reduzindo ao mínimo a geração de resíduos.

O design, chave para uma economia circular, vai muito além de concepções estéticas ou funcionais. É a fase em que se define o ciclo de vida de um produto, incluindo impacto ambiental, durabilidade, reuso, remanufatura e reciclabilidade.

FECHANDO O CICLO

AS ETAPAS DA ECONOMIA CIRCULAR



Fonte: Serviços de Estudos do Parlamento Europeu (EPRS)

OS PONTOS-CHAVE DO DESIGN NA ECONOMIA CIRCULAR

Prolongamento do ciclo de vida: aumenta a durabilidade dos produtos, facilita o conserto ou a atualização, reduzindo a necessidade de substituições frequentes.

Facilidade de reuso e reciclagem: considera materiais que possam ser desmontados, reaproveitados ou reciclados mais facilmente, evitando desperdício e geração de resíduos.

Escolha de materiais: opta por materiais renováveis, recicláveis ou com menor impacto ambiental, a fim de reduzir a extração de recursos naturais.

Modelo de negócios: repensa os modelos de negócio, incentivando a logística reversa e o consumo consciente, como prestação de serviços, aluguel ou compartilhamento.

Redução de resíduos e poluição: elimina o conceito de "lixo" ao transformar resíduos em insumos para novos produtos.

Com uma estrutura de soluções sistêmicas de enfrentamento aos desafios globais, a economia circular se contrapõe ao modelo econômico linear, limitado à lógica de extração-produção-consumo-descarte, prevalente no sistema atual de produção e consumo. As políticas públicas em vigor no Brasil e em grande parte do mundo ainda subsidiam o crescimento baseado nesta mentalidade, incentivando a tripla crise ambiental que a humanidade enfrenta: o aquecimento global, a poluição provocada pelo excesso de resíduos no ambiente e a perda de biodiversidade em escala sem precedentes.

Sabe-se que grande parte das soluções de mitigação à mudança do clima passa também pela transição para a energia renovável (*mais sobre energia à pág. 93*). Mas, segundo levantamento da Fundação Ellen MacArthur, embora a transição energética seja crucial para os países alcançarem balanço zero de emissões (*net zero*) até 2050, conforme dita o Acordo de Paris (2015), um sistema de energia totalmente renovável responderá tão somente por 55% da redução necessária ao atingimento da meta. Os outros 45% das emissões são decorrentes da estrutura linear de produção e consumo de bens

e alimentos. A economia circular é, portanto, a outra peça-chave para o êxito do Acordo.

O estudo *Completando a Figura: Como a economia circular ajuda a enfrentar as mudanças climáticas* (2019)¹ calcula que a economia circular poderia reduzir as emissões globais da indústria em 40% – equivalente a 3,7 bilhões de toneladas – até 2050 com duas práticas: mantendo produtos e componentes ativos por mais tempo por meio de reuso e reciclagem; e eliminando resíduos por meio de designs que reduzam a extração de matéria-prima.

De acordo com *A Circle Economy Foundation*², embora a economia circular tenha atingido o *status* de megatendência – o volume de discussões, debates e artigos sobre o conceito quase triplicou nos últimos cinco anos –, a circularidade global está em declínio. O Panorama Global de Recursos 2024³, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) confirma que houve, de fato, um retrocesso. A parcela de materiais secundários (materiais pós-consumo, resíduos industriais e sucata) consumidos pela economia global diminuiu de 9,1% em 2018 para 7,2% em 2023 — uma queda de 21% ao longo de cinco anos.

NÚMEROS DA CIRCULARIDADE

3x mais se tem falado

SOBRE ECONOMIA CIRCULAR NOS ÚLTIMOS CINCO ANOS – O TEMA VIROU MEGATENDÊNCIA.

fonte: Pnuma

De 9,1% para 7,2%

CAIU A PARTICIPAÇÃO DE MATERIAIS SECUNDÁRIOS NA ECONOMIA GLOBAL ENTRE 2018 E 2023.

21% de queda

NA CIRCULARIDADE GLOBAL, SEGUNDO O PANORAMA GLOBAL DE RECURSOS 2024.

No Brasil, exceto por iniciativas isoladas, a circularidade ainda é um conceito incipiente. Contudo, esse quadro pode melhorar, pois o governo espera concluir em meados deste ano o seu conjunto de políticas necessárias para alavancar o modelo. Enquanto isso, a reciclagem segue sendo o pilar da economia circular que se encontra mais avançado, ainda que o País só transforme cerca de 4% do material reciclável descartado.

Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), iniciativa do Observatório do Clima, o setor de resíduos foi responsável por 4% das emissões de CO₂ do País, em 2021. Grande parte dessas emissões foi resultado da destinação inadequada do material em lixões, aterros controlados, aterros sanitários e meio ambiente⁴. Até 2023, os lixões ainda eram utilizados em 73,8% dos municípios na Região Norte, 51,6% no Nordeste, 52,9% no Centro-Oeste, 12,1% no Sudeste e 5,7% no Sul⁵, segundo dados do IBGE.

[introdução]

A Common Seas, organização do Reino Unido, que vê na economia circular a solução para a poluição dos oceanos causada pelo descarte inadequado de embalagens plásticas, ressalta que a reciclagem é a última solução de uma cadeia de valor circular. O propósito maior é a durabilidade dos bens de consumo e o seu retorno às cadeias produtivas de origem no fim do ciclo de vida. Entretanto, na ausência de um processo produtivo integrado com reparo, reúso e remanufatura, a reciclagem sempre será preferível ao descarte.



[contexto]

Leis e regulamentações devem fomentar a transição

Nos últimos dois anos, diminuiu a distância regulatória do Brasil em relação a países da América Latina na corrida pela circularidade da economia

O Brasil denota urgência em estabelecer o seu conjunto de políticas em economia circular. Com isso, busca equiparar-se aos 16 vizinhos latino-americanos, que iniciaram esse processo em 2021 ao unirem-se na Coalizão de Economia Circular para a América Latina e o Caribe, um fórum formado por governos, empresas e academia para promover a transição da economia linear para a economia circular.

Àquela época, o governo brasileiro ignorou o convite do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) para participar da iniciativa e, somente em 2023, aceitou juntar-se ao grupo de países latino-americanos, entre os quais México, Colômbia, Chile e Argentina. Nos últimos dois anos, a distância regulatória do Brasil em relação a países da América Latina na corrida pela circularidade da economia diminuiu.

Atualmente tramita no Congresso Nacional o projeto de lei que cria a Política Nacional de Economia Circular (PL nº 1.874). O texto trata a economia circular como uma solução sistêmica ao modelo econômico linear e define as bases para todos os desdobramentos institucionais no tema. O PL já passou em regime de

urgência no Senado Federal e agora se encontra na Câmara dos Deputados aguardando votação, também em regime de urgência.

Em 2024, o País instituiu a Estratégia Nacional de Economia Circular (Enec), por meio do decreto presidencial nº 12.082, apontando as direções para a definição de políticas públicas. Mais recentemente, em fevereiro deste ano, foi lançado o Fórum Nacional de Economia Circular, coliderado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) e Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). O colegiado é composto por 36 representações de governo e da sociedade civil e indústria, para monitorar e avaliar a implementação da Enec.

O País avança também na elaboração do seu Plano Nacional de Economia Circular para os próximos dez anos (2025-2034), que guiará a formulação das políticas públicas do governo federal. O Plano ficou aberto à consulta pública até 19 de março deste ano e recebeu 1.627 contribuições da sociedade, um volume que superou as expectativas do MDIC e de outros setores do governo.

O QUE ESPERAR DO PLANO NACIONAL DE ECONOMIA CIRCULAR

O Plano Nacional de Economia Circular, lançado em 8 de maio de 2025, estrutura-se em cinco grandes eixos. O primeiro prevê melhoria regulatória, com a formulação leis e decretos que acelerem e possibilitem a transição da economia. Um segundo eixo visa fomentar a inovação, orientando órgãos de governo que atuam com investimentos em P&D a inserirem recursos em iniciativas para melhorar, por exemplo, o design de materiais.

Em uma terceira iniciativa, o Plano trabalha com soluções simultâneas para reduzir a produção de resíduos,

facilitar a logística reversa e combater a obsolescência programada. O quarto eixo volta-se à criação de instrumentos financeiros para alavancar a transição. E o quinto trabalha a articulação interfederativa – segundo informação da Secretaria de Economia Verde, do MDIC, existe um esforço coordenado para o encerramento dos quase dois mil lixões ainda em operação no País. A ideia é conectar municípios à estratégia de economia circular, contribuindo com planos de coleta seletiva, instituindo campanhas de conscientização ambiental e, sobretudo, fortalecendo as cooperativas de catadores de materiais recicláveis.

Reforçando uma tendência do Brasil em protagonizar o avanço dessa transição na América Latina, o Fórum Mundial de Economia Circular – o evento mais emblemático sobre a temática –, foi realizado em São Paulo entre os dias 13 e 16 de maio, pela primeira vez em um país do Sul Global. A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) foi a anfitriã do encontro, idealizado pela fundação finlandesa Sitra e coorganizado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), Apex Brasil e Senai.

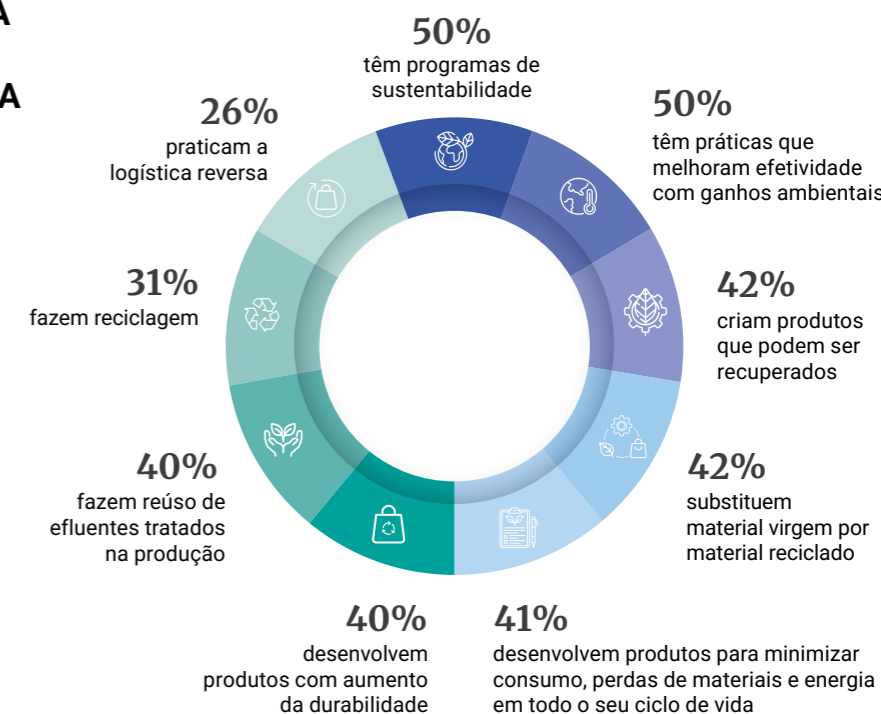
O fato de o Brasil ter começado a formular suas políticas públicas um pouco mais tarde não significa que a temática tenha “hibernado” nos últimos anos. Um marco foi a Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010 (Lei nº

12.305), que distinguiu resíduos reaproveitáveis e recicláveis de rejeitos, e estabeleceu a logística reversa com destinação final correta, por exemplo, de embalagens pós-consumo de defensivos agrícolas. A indústria, principalmente a multinacional, e outros setores como agropecuária e energia também seguiram buscando inovações para tornar suas cadeias de valor mais sustentáveis, passo fundamental para a implementação de uma economia circular, mas ainda em um ritmo aquém do ideal, dada a urgência climática.

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), várias indústrias brasileiras já deram um ou mais passos em direção à economia circular. A pesquisa *Economia Circular: barreiras, oportu-*

PASSOS DA INDÚSTRIA BRASILEIRA NA DIREÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR

QUAIS SÃO AS PRÁTICAS MAIS USADAS PELAS EMPRESAS



Fonte: Confederação Nacional da Indústria (CNI)

*nidades e práticas na indústria*⁶, revela que seis em cada dez indústrias brasileiras já adotam pelo menos uma prática de economia circular. A ação mais frequente é a reciclagem de produtos, presente em um terço das empresas consultadas. Em seguida, aparecem o uso de matéria-prima secundária nos processos produtivos (30%) e o desenvolvimento de produtos com atenção à durabilidade (29%). O levantamento ouviu 1.708 empresas das indústrias extrativa, de transformação e da construção civil, entre 3 e 13 de fevereiro de 2025.

A indústria, central na transição para uma economia circular, aponta alguns entraves que impedem mais agilidade no processo de transição, entre os quais, as barreiras regulatórias,

como a escassez de incentivos para o uso de recursos secundários; as barreiras econômicas, relacionadas à necessidade de elevados investimentos iniciais; as barreiras tecnológicas, ligadas à falta de soluções para novos processos; e as barreiras culturais e educacionais, que envolvem resistência às mudanças e falta de conhecimento sobre as vantagens da economia circular.

Uma investigação anterior da CNI, feita em 2024 junto à base industrial, em parceria com o Centro de Pesquisa em Economia Circular da Universidade de São Paulo (USP), detectava que 85% das indústrias desenvolviam pelo menos uma prática de economia circular. Nesta pesquisa foram ouvidas 253 indústrias de

transformação e construção entre 17 de maio e 30 de julho de 2024. Veja na figura acima como essas práticas se distribuíaam.

Segundo a CNI, os dois levantamentos não são passíveis de comparação, pois a sondagem atual priorizou práticas de economia circular com maior grau de maturidade, além de número maior de empresas participantes.

A Fundação Ellen MacArthur avalia que toda a movimentação atual, envolvendo sistema regulatório, grandes eventos e ampla participação de setores produtivos e sociedade civil, seja a representação de um divisor de águas na transição econômica no Brasil. E a Fundação não é a única a enxergar mudanças no horizonte.

O relatório *Como se Preparar para a Economia Circular*⁷, lançado em fevereiro pelo Hub de Economia Circular, Instituto Brasileiro de Economia Circular e Exchange 4 Change Brasil, considera que a partir de uma legislação favorável à transição, a economia circular passará a ser uma agenda estratégica para os negócios e uma potente ferramenta de alcance das es-

Nos últimos meses, surgiram três iniciativas estaduais de pagamento por serviço ambiental urbano, em Minas Gerais, Ceará e Bahia. Em fins 2024, o governo cearense implementou o Programa Auxílio Catador (PAC), por meio do qual fornece uma compensação financeira mensal correspondente a um quarto do salário-mínimo a mais de 3.600 catadores, mediante comprovação de uma produção mínima mensal de 500 quilos de material reciclável⁹.

[contexto]

tratégias *net zero* e de enfrentamento à mudança do clima.

RECICLAGEM, UMA SAÍDA PARCIAL

No Brasil, a reciclagem conquistou um espaço considerável dentro do sistema econômico linear como uma solução parcial de circularidade. Segundo o Atlas Brasileiro de Reciclagem, de cada dez quilos de material reciclável que entram na indústria recicladora, nove quilos provêm do trabalho de catadores e catadoras⁸. A prática foi estimulada por políticas públicas, inclusive como forma de inclusão social.

Mas, apesar do importante serviço ambiental prestado à sociedade, a grande maioria da categoria não recebe nenhum tipo de subsídio. Muitos dos cerca de 800 mil catadores brasileiros vivem em situação de insegurança ou de vulnerabilidade social, devido ao baixo valor das sucatas. A grande bandeira do Movimento Nacional dos Catadores de Material Reciclável é o pagamento por serviços prestados. Mas a Política Nacional de Resíduos Sólidos (nº 12.305/2010) é vaga em relação a essa matéria.

Determina apenas que as empresas incentivem o trabalho das cooperativas de reciclagem.

O estado de Minas Gerais iniciou na mesma época um repasse trimestral a 72 associações e cooperativas de catadores vinculadas ao programa e espera beneficiar 1.421 catadores de todas as regiões do estado¹⁰. Na Bahia, o governo enviou recentemente à Assembleia Legislativa projeto de lei que cria a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais.

O fortalecimento da circularidade da economia pode trazer mais estabilidade também para as indústrias recicladoras, que enfrentam a volatilidade do mercado, especialmente no setor de plástico. O custo do plástico reciclado é maior que o do produto virgem, pois envolve um complexo processo de coleta, transporte e processamento. As novas políticas para a economia circular prometem rever a tributação do material reciclado, isto é, a bitributação, uma vez que todo produto descartado já foi um dia taxado em sua origem. Uma lei de responsabilidade estendida

do produtor pelos resíduos gerados também beneficiaria o setor.

RESPONSABILIDADE ESTENDIDA

A Common Seas defende que a logística reversa envolvida no processo de circularidade seja subsidiada, não pelo governo, mas pelas empresas produtoras, como já ocorre em países da Comunidade Europeia. É a chamada lei de Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR, sigla inglesa para Extended Producer Responsibility), segundo a qual os setores produtivos europeus devem patrocinar processos e infraestrutura eficazes de coleta, triagem e reciclagem dos resíduos gerados por suas respectivas atividades.

O arcabouço regulatório da Comunidade Europeia está impondo também diretrizes para impulsionar o direito ao reparo de produtos eletroeletrônicos. Caso o Brasil venha a implementar uma política nesse sentido, terá de vencer as barreiras que tornam mais compensador adquirir um novo produto do que consertar o antigo: a obsolescência programada, o alto custo das peças de reposição e da mão de obra e a baixa capacitação da assistência técnica.



BIOPLÁSTICO É SOLUÇÃO?

O plástico é um produto de origem fóssil tido como grande vilão poluidor de solos e de oceanos. Pesquisas para a produção em escala de bioplásticos, de origem vegetal diversa, que promete ser uma solução de circularidade para muitas empresas, estão avançadas. Mas, do ponto de vista da sua compostabilidade, nem tanto. O bioplástico, embora tenha uma base vegetal, não se decompõe facilmente em ambientes naturais – em geral, exige altas temperaturas, ventilação e umidade controladas.

Mas, ainda que não compostável, tem seus impactos positivos seja no clima, com a redução no uso de matéria-prima fóssil, seja no aproveitamento de resíduos orgânicos, seja na geração de trabalho e renda para comunidades rurais e extrativistas. No entanto, no contexto da economia circular, a contribuição do bioplástico termina aí. Ou seja, se não for compostável, o produto não se diferencia dos plásticos convencionais na etapa do pós-consumo e, quando misturados ao plástico de origem fóssil, podem comprometer a reciclagem, uma vez que não há diferenciação entre eles.

As pesquisas para torná-los compostáveis no meio ambiente seguem em andamento. O mesmo ocorre com os plásticos de origem fóssil que recebem aditivos para acelerar a sua decomposição por micro-organismos, os chamados biodegradáveis. Sem uma degradação bem conduzida em ambiente controlado, os biodegradáveis podem se transformar rapidamente em microplásticos, criando um problema ambiental ainda maior.



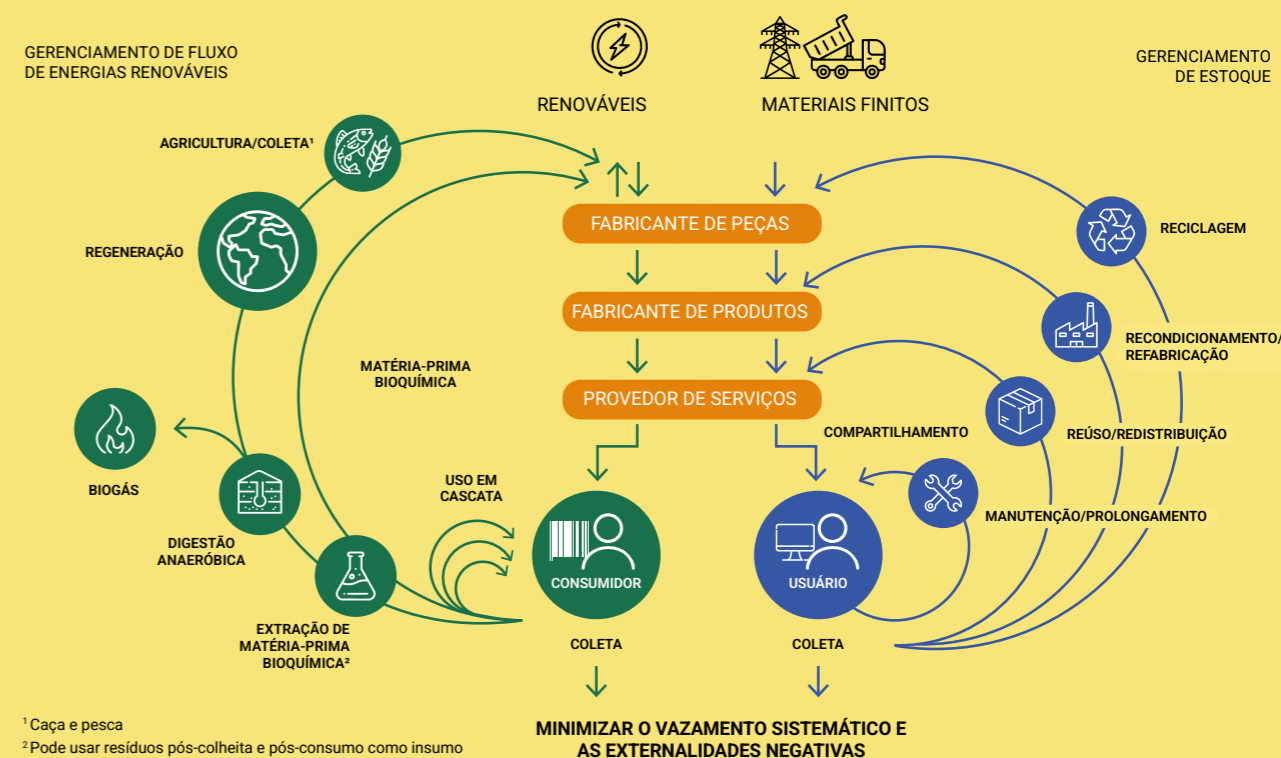
Ainda não existe uma solução definitiva para a circularidade dos bioplásticos mas, quando vier, será muito comemorada, principalmente porque poderá eliminar de vez o maior vilão entre os polímeros, o plástico flexível. Com baixíssima taxa de reciclagem, é o que mais polui o meio ambiente¹¹.

Os ciclos técnico e biológico

A economia circular apresenta exemplos emblemáticos no ciclo técnico, embora pouco numerosos.

Segundo a Fundação Ellen MacArthur, os fluxos de materiais usados na indústria dividem-se em dois ciclos – o ciclo dos materiais finitos, chamado de ciclo técnico, e o ciclo dos materiais biológicos, chamado de ciclo de biomateriais. A economia circular tem exemplos emblemáticos no ciclo técnico, embora pouco numerosos. Já no ciclo de biomateriais, os países do Sul Global, com muito a ensinar e a inovar no campo da bioeconomia, podem se tornar o epicentro da inovação da economia circular para inspirar e ensinar o mundo e transformar suas cadeias de valor.

OS FLUXOS DE MATERIAIS NA CADEIA INDUSTRIAL COMO OS CICLOS BIOLÓGICO E TÉCNICO SE RELACIONAM



A garrafa universal

No ciclo técnico, a América Latina tem o maior exemplo de reuso de embalagem no mundo, talvez o único com ganho de escala comprovado, que é o da garrafa PET universal desenvolvida pela Coca-Cola no Brasil. Esse sistema cobre atualmente mais de um terço do portfólio da empresa na América Latina e tem um impacto de redução de emissões progressivo. Quanto mais o sistema de reuso avança, mais a Coca-Cola consegue reduzir suas emissões e diminuir drasticamente a geração de resíduos e poluição.

Uma inovação com tamanho alcance só foi viabilizada porque existiu um projeto de design brasileiro que criou uma garrafa universal para poder dar escala aos diferentes produtos do portfólio da empresa. Se antes havia um design de garrafa para cada refrigerante, definiu-se uma garrafa universal igual para todos os produtos. Criou-se, então, uma logística e um modelo de negócio, com benefício também para o consumidor que, ao retornar a garrafa no ponto de venda, paga apenas pelo líquido na compra de um novo produto. A garrafa universal pode ser reutilizada 25 vezes antes de ser reciclada.

Trata-se de um caso altamente escalável, que está ganhando *share* do portfólio da Coca-Cola. Os benefícios ambientais são claros e crescem à medida que ganha escala. Do ponto de vista de negócio, também é positivo porque, apesar do alto custo das operações, mais alto do que no modelo convencional, a empresa fideliza o cliente com a redução do preço da bebida. É um modelo importante para explicar como dar escala a uma prática dentro do ciclo técnico, lembrando sempre que sem o redesenho da garrafa não existiria o projeto.



CASOS ESCALÁVEIS NA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS

Existem casos escaláveis, em especial na indústria de eletrônicos, mas menos fundamentais que o da Coca-Cola, pois as escolhas de design ainda não viabilizam uma circulação mais duradoura dos materiais. No setor de eletrônicos, é comum que as decisões de design aconteçam em uma empresa, e a produção em outra. Nesses casos, parcerias são fundamentais para gerar *feedback* sobre viabilidades e aumentar a circularidade.

A HP Brasil e o Sinctronics Innovation Center, um fornecedor de soluções de reciclagem para o setor de TI, formaram uma parceria em um robusto esquema de logística reversa para recuperar equipamentos eletrônicos de fim de uso e criar valor. A Sinctronics detém

um sistema de rastreamento do ciclo de vida dos eletroeletrônicos de seus clientes. Os produtos no fim de sua vida útil são coletados e levados ao Centro de Inovação em Tecnologia Sustentável.

Ali, esses produtos são reciclados, mas não por *downgrade* – quando o material perde qualidade ou utilidade em relação ao original. A técnica de reciclagem aplicada mantém um alto padrão de qualidade do material que poderá ser reinserido na cadeia produtiva de origem, ajudando as empresas a se aproximarem das metas de zero emissões. A Sinctronics consegue reincorporar 97% dos materiais e componentes coletados, com uma redução de custos em torno de 30% para a HP¹².

REINSERINDO OS RESÍDUOS NA CADEIA DE PRODUÇÃO

Na Dexco – multinacional brasileira que atua em setores como painéis de madeira industrializada, revestimentos, louças e metais sanitários –, as iniciativas voltadas à economia circular com maior maturidade estão relacionadas à reutilização de resíduos. A linha Matéria, da marca Castelatto, é um revestimento de concreto arquitetônico inédito desenvolvido com base em princípios de economia circular. Seu diferencial está na utilização de resíduos cerâmicos (chamados *pitcher*) provenientes da produção de louças sanitárias da marca Deca, também pertencente à Dexco. Mais de 70% da composição do produto é feita com materiais reaproveitados, incluindo peças com defeitos estéticos que seriam descartadas. Esse reaproveitamento evita o envio de resíduos para aterros e substitui insumos tradicionais como areia e pedra, reduzindo a extração de recursos naturais.

Na divisão Madeira, a principal matéria-prima

provém de plantações florestais para a produção de painéis e geração de energia por meio da biomassa. Os resíduos do processamento inicial da madeira (picagem e desfibrção) são utilizados como biomassa, enquanto os gerados na fabricação de painéis MDP e MDF são reaproveitados para embalagens, tabiques (divisórias) ou como fonte adicional de energia. Nas unidades de Agudos (SP) e Uberaba (MG), o lodo gerado na Estação de Tratamento de Efluentes e as cinzas das caldeiras são processados em centrais internas de compostagem e utilizados como fertilizante orgânico nas florestas.

No setor de embalagens, a Dexco também implementa um programa de compensação dos produtos que chegam ao consumidor final via aquisição de créditos de reciclagem – certificados gerados por cooperativas de reciclagem, que coletam e destinam resíduos equivalentes ao volume das embalagens comercializadas.

O CICLO BIOLÓGICO, UM MUNDO A EXPLORAR

No ciclo biológico, existe um mundo ainda pouco explorado para o desenvolvimento da economia circular. De um lado, há o surgimento e o avanço das políticas de economia circular, de outro a mesma coisa acontece na bioeconomia. Embora esses dois setores ainda não conversem entre si, a Fundação Ellen MacArthur vê como uma grande oportunidade para os países do Sul Global se atentar a essas conexões, não só porque são duas áreas “quentes” em termos de políticas públicas em construção, mas porque existem enormes possibilidades.

No setor de florestas plantadas, o Brasil tem exemplos de empresas que se preocupam com a eliminação de resíduos de poluição e com a regeneração da natureza. A Suzano Papel e Celulose e a Klabin aplicam métodos regenerativos e atóxicos na produção de eucalipto, para a geração de polpa de celulose e de papel (*saiba mais sobre florestas à pág. 57*).

É importante acompanhar como o bioinsumo regenerativo e compostável circula dentro das cadeias subsequentes, seja o papel no setor de embalagens, seja o algodão no setor de design de moda. A ideia do formato regenerativo e atóxico está baseada em uma volta à natureza para a recomposição do capital natural do solo. A circularidade é “quebrada” quando se aplicam, por exemplo, aditivos químicos nesses materiais, como tinturas e pigmentos.

Outros exemplos de economia circular de ciclo biológico vêm do projeto Ligue os Pontos (LoP), iniciativa criada para promover o desenvolvimento sustentável de um território rural no extremo Sul da cidade de São Paulo,

[soluções]



ALGODÃO REGENERATIVO PARA A INDÚSTRIA DA MODA

O País é o maior exportador de algodão regenerativo com selo BCI, que atende às normas de sustentabilidade da organização Better Cotton Initiative. Mais de 40% do algodão regenerativo usado no mundo tem origem no Brasil, segundo a Fundação Ellen MacArthur (*mais sobre agricultura regenerativa à pág. 43*). Grande parte desse algodão é destinada à indústria global da moda, cuja reputação foi fortemente abalada em 2021 – na época, imagens mostrando o “lixão” de roupas descartadas no deserto do Atacama, no Chile, circularam na internet e escandalizaram o mundo¹³. Agora a indústria tenta um reposicionamento de sua imagem.

tornou-se um exemplo importante de economia circular. O LoP apoia cerca de 160 agricultores locais na transição para práticas agrícolas regenerativas e o resultado é uma produção local de alimentos de alta qualidade que devolve a saúde do solo, promove biodiversidade, ajuda a combater a mudança climática e elimina ou reduz o uso de fertilizantes sintéticos e pesticidas¹⁴.

A Prefeitura de São Paulo compra a produção desses agricultores para oferecer alimentos saudáveis a pessoas em situação de vulnerabilidade social. A estratégia do programa, patrocinado pela Bloomberg Philanthropies, é ligar os pontos, instituindo uma cadeia de valor entre agricultores, fornecedores, empresários, profissionais autônomos, consumidores e municípios em prol do meio ambiente, da cidadania e do desenvolvimento econômico sustentável.

Cadeia de suprimentos da biodiversidade

A Natura, uma das maiores empresas de cosméticos do mundo, está entre os casos relevantes selecionados pela Fundação Ellen MacArthur, em particular por seus resultados referentes ao terceiro princípio da economia circular, a regeneração da natureza¹⁵. Para fabricar uma linha de produtos, incluindo sabonetes, cremes e xampus, cujos insumos provêm da rica biodiversidade amazôni-

ca, a Natura ajuda a conservar mais de 2 milhões de hectares de floresta tropical, com a meta de aumentar essa área para 3 milhões de hectares até 2030.

A cadeia de suprimentos da Natura inclui 44 tipos de ativos de biodiversidade (ingredientes derivados de plantas) e envolve mais de 10 mil famílias em 51 comunidades fornecedoras – 87%

na região amazônica. Ao longo de 2023, a empresa também atingiu a marca de 86,2% de embalagens recicláveis, reutilizáveis e compostáveis; incorporou, pelo menos, 50% de material reciclado em suas embalagens plásticas; e priorizou a biodegradabilidade das fórmulas, atingindo um mínimo de 95% dessa característica em seus produtos, conforme o Relatório Integrado Natura &Co 2023.

EXEMPLOS DE ECONOMIA CIRCULAR NO AGRO

A fazenda do Grupo Kompier, localizada em Montividiu (GO), é considerada um modelo em agricultura regenerativa de cunho circular. A biomassa resultante da produção de milho e soja é fermentada para a produção de bioinsumos, que retornam para o campo. Parte da produção de grãos se transforma em ração, que vai para a produção de leite. As vacas são criadas no sistema *compost barn*, em barracões que oferecem mais conforto e aumentam a produtividade de leite, tanto pela ventilação quanto pela cobertura do chão, que é formada por uma camada de material orgânico. Com a troca da forração, também chamada de cama, produz-se adubo orgânico que retorna para os plantios, reduzindo o uso de agroquímicos¹⁶. O estrume é aproveitado em uma estrutura de biometano que gera biogás. Este, por sua vez, é utilizado como energia na fazenda, fechando o ciclo.

Também no campo da economia circular, há o exemplo da Tupy, indústria de fundição que conta com três projetos de bioplantas – as quais coletam e tratam os resíduos gerados nas

operações, deixando de emitir metano, além de gerar empregos diretos e indiretos. Segundo a empresa, as emissões evitadas em suas três bioplantas (Primato, Seara e Granja Rancho da Lua) totalizam cerca de 165 mil toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) ao ano, com reflexo direto no inventário de emissões das empresas parceiras.

Por meio de parceria com a cooperativa agrícola Primato, em Ouro Verde do Oeste (PR), essa bioplanta compreende um plantel de aproximadamente 65 mil suínos e atende 27 cooperados, incluindo a granja do próprio parceiro. No projeto, estima-se que serão produzidas, anualmente, mais de 10 mil toneladas de fertilizante organomineral com formulação adequada para as culturas da região.

Em 2024, a Tupy firmou parceria com a Seara para uma bioplanta destinada a fabricar fertilizante organomineral, biometano e dióxido de carbono por meio de resíduos da suinocultura e avicultura. Localizado em Seara (SC), o projeto vai

compreender um plantel de cerca de 200 mil suínos e 1,7 milhão de aves de corte.

Já a Granja Rancho da Lua, em Divinópolis (MG), vai processar, por meio da bioplanta, os resíduos de cerca de 500 mil aves de postura para geração de energia elétrica na propriedade. A parceria contempla ainda a produção e comercialização para terceiros de fertilizante organomineral obtido do processo, com capacidade anual de aproximadamente 25 mil toneladas.¹⁷

Um outro exemplo é da suinocultora Nutribras, grupo mato-grossense que abate 3 mil suínos por dia, e é pioneiro na produção de biogás, segundo informações divulgadas pela empresa. O ciclo funciona assim: os animais abatidos no frigorífico produzem efluentes que são tratados em biodigestores, produzindo biofertilizantes e biogás. O biofertilizantes adubam as lavouras de soja e milho, que por sua vez geram os grãos da ração para alimentar os animais nas granjas. Já o biogás gera energia renovável para as granjas e para a indústria de processamento.¹⁸

A FACE SOCIAL DA RECICLAGEM

Catadores e catadoras são corresponsáveis pela liderança mundial do Brasil em reciclagem de latinha de alumínio do mundo. Segundo o Recicla Latas, o País reciclou mais de 390 mil toneladas de latas de alumínio para bebidas em 2022, alcançando 100% de todas as latas produzidas no período¹⁹. Ao reintroduzir as latas na cadeia de produção, a indústria reduz a extração da bauxita do meio ambiente e o consumo de energia relacionado à fusão de materiais. Com a reciclagem, consome até 95% menos energia do que quando extrai e processa o minério. Cada quilo de alumínio reciclado poupa cinco quilos de bauxita.

Outro destaque é o Hub do Plástico, a maior planta de gestão de plásticos da América Latina, inaugurada em fins de 2024 pela Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis (Ancat), como resultado de uma parceria com a Coca-Cola Femsab Brasil e a Fundação Banco do Brasil. Em uma área de 1.250m², em Mogi das Cruzes (SP), o objetivo da instalação é otimizar a triagem e comercialização do plástico reciclável.

A unidade espera atingir uma produção mensal de 200 toneladas de plástico – fruto do trabalho de 80 catadores, que terão acesso a melhores condições de trabalho e renda²⁰. A Ancat pretende escalar o projeto Hub do Plástico para outras regiões do Brasil. Os parceiros dessa primeira instalação avaliam a expansão do programa para Belo Horizonte e Brasília.

O Hub da Cidadania é mais um projeto da Ancat, este de cunho social, realizado em parceria com o Instituto Heineken. O projeto funciona com uma unidade móvel, itinerante, que circula por bairros na cidade e conta com uma equipe composta por psicólogos, assistentes sociais, enfermeiros, nutricionis-



tas, orientadores de políticas públicas e outros profissionais.

A proposta é levar aos catadores serviços que lhes tragam cidadania. Aos inscreverem-se, os catadores autônomos recebem o Kit Catador, composto de colete sinalizador, boné, par de luvas, sacola e garrafa plástica. Com quase dois anos de estrada em São Paulo e 1,3 mil catadores autônomos (sem vínculos com cooperativas) cadastrados, uma nova versão do *hub* será lançada ainda em 2025 em Salvador, com apoio da Tetra Pak²¹.

A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) e a CNI fizeram uma chamada pública em 2024 a fim de identificar casos exemplares de economia circular no Brasil e em sete países da América Latina e Caribe. A investigação resultou no e-book *Economia Circular na Indústria – Melhores Práticas*, que traz a descrição de 49 casos, de um total de 204 selecionados²². Lançado em maio de 2025, durante o Fórum Mundial de Economia Circular, em São Paulo, o *e-book* teve curadoria de especialistas independentes que avaliaram os projetos com base em critérios de impacto, inovação, escalabilidade e relevância ambiental.

Referência mundial em logística reversa no campo

Apesar de sua dimensão continental, o Brasil tornou-se exemplo global em responsabilidade compartilhada e inovação ambiental com seu programa de gestão de embalagens vazias de agrotóxicos. Coordenado pelo Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (Inpev), que representa a indústria fabricante de defensivos agrícolas, o Sistema Campo Limpo (SCL) é a iniciativa que promove a logística reversa desses resíduos.

Desde sua criação, o programa já destinou corretamente mais de 800 mil toneladas de embalagens, alcançando 100% de destinação adequada para os materiais plásticos rígidos recebidos, além das sobras pós-consumo de agrotóxicos. Com esses resultados, o Brasil se consolidou como referência mundial em logística reversa agrícola, superando países com longa tradição em políticas ambientais.

Em conformidade com a Lei nº 9.974/2000 (que dispõe sobre a destinação adequada das embalagens vazias de agrotóxicos, seus componentes e afins), o sistema envolve 411 unidades fixas de recebimento distribuídas pelo País e uma rede de operações itinerantes que alcança especialmente pequenos produtores em regiões de difícil acesso. O programa também fortalece a economia circular ao transformar resíduos em matéria-prima para novos produtos, como tubos de

esgoto, conduítes e até embalagens novas para usos não agrícolas, reduzindo os riscos de contaminação do solo, da água e da saúde humana.

O Inpev atua como articulador de vários elos da cadeia dos defensivos: agricultores, canais de distribuição, fabricantes, setor público e empresas de reciclagem ou incineração. A operação envolve, por exemplo, orientações ao produtor rural sobre a tríplice lavagem das embalagens, o armazenamento adequado e a devolução nas unidades credenciadas.

Em 2024, o instituto deu mais um passo rumo à inovação, com a implementação de um sistema de rastreabilidade digital que permite monitorar, em tempo real, os fardos de embalagens desde a devolução feita pelo agricultor até a destinação final. Essa tecnologia reforça a segurança ambiental, aprimora a governança do sistema e garante conformidade com a legislação.

De 2002 a 2023, o Inpev, em parceria com a Fundação Eco+, realizou estudos anuais de ecoeficiência para medir as contribuições ambientais do Sistema Campo Limpo. Com base em análises de avaliação do ciclo de vida, os estudos compararam o impacto do programa com um cenário hipotético sem logística reversa. Os dados mostraram que, em duas décadas, o Sistema evitou a emissão de 1,05 milhão de toneladas de CO₂ equivalente.

entrevistados

Adriano Scarpa
Ibá

Alan Batista
Symbiosis

Ana Luci Grizzi
Conselheira Independente de Governança Climática

André Guimarães
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam)

André Luiz Amarante Mesquita
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético da Universidade Federal do Pará (UFPA)

André Nassar
Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove)

Andrea Azevedo
Emergent/LEAF Coalition

Andrea Seif
consultora independente

Andréia Bicalho Henriques
Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Beatriz Luz
Exchange 4 Change Brasil e Hub de Economia Circular Brasil

Bertholdino Apolônio Junior
Usina Coruripe

Beto Mesquita
CI Brasil

Bruno Gomes
Humana

Bruno Igel
Wise Plásticos

Bruno Mariani
Symbiosis

Carlos de Mathias Martins Júnior
BlockC

Carlos Eduardo Cerri
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP)

Caroline Belisário Zorzal
Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop)

Caroline Prolo
FAMA Re.capital

Clarissa Lins
Catavento Consultoria

Clóvis Borges
Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem (SPVS)

Cristina Reis
Ministério da Fazenda do Brasil

Davi Bomtempo
Superintendência de Meio Ambiente e Sustentabilidade da Confederação Nacional da Indústria (CNI)

Dilma Pimentel
Consultoria em Gestão Integrada

Eduardo Maré de Mattos
Geoplant

Elbia Gannoum
Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica)

Elson Fernandes
FSC Brasil

Erasmus Battistella
Be8

Fábio Sakamoto
Biomass

Fabrizio Soler
Professor e advogado especialista em Direito Ambiental

Fernando Lins
Centro de Tecnologia Mineral (Cetem) e Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii)

Francisco Razzolini
Klabin

Gilberto Rodrigues
Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Giorgio de Tomi
Núcleo de Pesquisa para Mineração Responsável da Poli-USP

Gustavo Mockaitis
Programa de Doutorado em Bioenergia Unicamp/Unesp/USP

Guilherme Tângari
BHP

Hugo Barreto
Vale e Fundo Vale

Isabela Morbach
Associação CCS Brasil

João Adrien
Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura

José Carlos Pedreira de Freitas
Hecta - Desenvolvimento Empresarial nos Agronegócios

José Luiz Tejon Megido
Biomarketing

José Margarida da Silva
Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop)

José Otavio Brito
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef)

Juliano Bonacin
Instituto de Química da Universidade de Campinas (Unicamp)

Keyvan Macedo
Way Carbon

Laura Albuquerque
Future Climate

Leonardo Betanho
B3

Leontino Balbo Jr.
Usina São Francisco

Lucas Ramalho Maciel
Secretaria de Economia Verde do Ministério do Desenvolvimento Indústria, Comércio e Serviços (MDIC)

Luisa Santiago
Fundação Ellen MacArthur

Luiz Tapia
Veracel Celulose

Malu Rosa
CEBDS

Manoel Serrão
Funbio

Marcello Brito
Fundação Dom Cabral

Marcello Lelis
Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins

Marcelo Boechat Morandi
Embrapa

Marcelo Ferronato
Aliança pela Restauração da Amazônia

Marcelo Juliano de Carvalho
Meteoric

Marcelo Medeiros
re.green

Marcos Da-Ré
Fundação Certi

Marcos Jank
Insper Agro Global

Mariana Oliveira
WRI Brasil

Mariana Reis Barrella
Tutiplast

Mariano Cenamo
Idesam

Marília Marreco Cerqueira
Ex-presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)

Marina Grossi
CEBDS

Michel Santos
WWF-Brasil

Miguel Calmon
Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura

Mirela Sandrini
World Resources Institute (WRI)

Monica Saraiva Panik
SAE Brasil

Natalia Renteria
Race to Belém

Nathália Weber
CCS Brasil

Natalie Unterstell
Instituto Talanoa

Neidinha Suruí
Associação Kanindé

Patrícia Daros
Fundo Vale

Patricia Ellen
Aya Earth Partners e Systemiq Latam

Paula Kovarsky
SB COP30

Pedro de Camargo Neto
BR Foods

Rafaela Guedes
Centro Brasileiro de Relações Internacionais (Cebri)

Raul Jungmann
Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram)

Regiane Borsato
Instituto Life

Renan Pantoja
Imaflora

Renata Gatti
Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA)

Renato Ximenes
Nativas Brasil

Ricardo Abramovay
Instituto de Estudos Avançados (IEA/USP)

Ricardo Rodrigues
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq-USP)

Roberto Galery
Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Roberto Silva Waack
Instituto Arapyaú

Rodrigo Ciriello
Nativas Brasil

Rodrigo Lima
Agroicone

Rodrigo Sauaia
Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar)

Rubens Benini
TNC

Severino Junior
Aliança Internacional de Catadores

Suzana Kahn Ribeiro
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe-UFRJ)

Tayane Carvalho
Imaflora

Thais Vojvodic
Common Seas

Thiago Picolo
re.green

Tiago Ricci
Aliança Brasil NBS

Valmir Ortega
Belterra

notas

CONTRIBUIÇÕES DO BRASIL PARA O CLIMA E A NATUREZA

1. “A bioeconomia no G20 Brasil: uma visão da sociedade civil”, Revista Cebri. Disponível em <https://cebri-revista.emnuvens.com.br/revista/article/view/240/351>

AGRICULTURA E PECUÁRIA

1. ASSAD, E. 2022. Agricultura de Baixo Carbono. Projeto PlanaFlor – Rio de Janeiro, RJ, número 2, 20 páginas. Disponível em: www.planaflor.org. Link consultado em 9/4/2025.
2. Pecuária bovina regenerativa na América Latina e no Caribe, muito além do oxímoro. Revista de Economia e Sociologia Rural, 63, e289950. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2025.289950pt>
3. <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/braulio-borges/2025/04/mudanca-climatica-e-politica-monetaria.shtml>. Link consultado em 9/4/2025.
4. <https://www.climatepolicyinitiative.org/pt-br/publication/onde-estamos-na-implementacao-do-codigo-florestal-radiografia-do-car-e-do-pra-nos-estados-brasileiros-edicao-2024/>. Link consultado em 10/4/2025.
5. Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono do go-

verno brasileiro, criado para enfrentamento das mudanças do clima no setor agropecuário no período de 2020 a 2030. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmmais>. Link consultado em 11/5/2025.

6. <https://globo rural.globo.com/credito-e-investimento/noticia/2024/05/como-funciona-o-renovagro-programa-que-financia-iniciativas-de-baixa-emissao-de-carbono.ghtml>. Link consultado em 10/4/2025.
7. Tecnologias poupa-terra 2021 / Samuel Filipe Pelicano e Telhado, Guy de Capdeville, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2021.
8. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/>
9. <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:2024-12-23;15070-conceitos#:~:text=bioinsumo%20%2D%20o%20produto%2C%20o%20processo,crescimento%2C%20no%20desenvolvimento%20e%20no>. Link consultado em 12/4/2025.
10. <https://rodaleinstitute.org/pt/why-organic/organic-basics/regenerative-organic-agriculture/>. Link consultado em 12/4/2025.
11. Pecuária bovina regenerativa na América Latina e no Caribe, muito além do oxímoro. Revista de Economia e Sociologia Rural, 63, e289950. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2025.289950pt>.
12. <https://www.wbcsd.org/resources/resiliencia-para-o-futuro-um-caminho-viavel-para-paisagens-regenerativas-no-cerrado/>. Link consultado em 15/4/2025.
13. <https://capitalreset.uol.com.br/agronegocio/instituto-folio-encara-o-desafio-de-mudar-o-agro>. Link consultado em 20/5/2025.
14. https://www.theagribiz.com/regenera/os-novos-caminhos-da-folio-agora-fo-ra-da-raiar/?utm_source=canaiswhatsapp&utm_medium=referral. Link consultado em 20/5/2025.
15. Pecuária bovina regenerativa na América Latina e no Caribe, muito além do oxímoro. Revista de Economia e Sociologia Rural, 63, e289950. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2025.289950pt>.
16. <https://pagina22.com.br/2024/04/29/propostas-para-um-sistema-nacional-de-rastreabilidade-bovina>. Link consultado em 20/4/2025.

17. <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/2/200>. Link consultado em 20/4/2025.
18. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-04/embrapa-propoe-politicas-para-reaproveitamento-de-pastagens-degradadas>. Link consultado em 13/4/2025.
19. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/estudo-mostra-reducao-de-26-8-milhoes-de-hectares-de-pastagens-degradadas-em-areas-que-adoptaram-o-plano-abc>. Link consultado em 12/4/2025.
20. <https://ccarbon.usp.br/pt/>. Link consultado em 17/4/2025.
21. <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/88740304/publicacao-aponta-caminhos-para-o-uso-sustentavel-de-pastagens-em-degradacao>. Link consultado em 13/4/2025.
22. <https://planetacampo.canalrural.com.br/noticias/carbono-xingu-e-lancado-com-inovacao-da-nasa-para-medir-carbono-em-areas-agricolas/>. Link consultado em 20/5/2025.
23. <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/398999-iniciativa-privada-lanca-carbono-xingu-uma-tecnologia-da-nasa-que-sera-aplicada-para-medir-carbono-no-solo-em-areas-de-lavoura-e-pecuaria.html>. Link consultado em 20/5/2025.
24. <https://ipe.org.br/noticias/cop15-conheca-as-23-metas-acordadas-entre-os-paises-da-cdb/>. Link consultado em 22/5/2025.
25. <https://lifeinstituteglobal.org/creditos-life-de-biodiversidade/>. Link consultado em 22/5/2025.

FLORESTAS

1. <https://rswaack.com.br/o-contiuo-florestal-continuidade-das-florestas/2470/>. Link consulta-

- do em 14/3/2025.
2. <https://brasil.un.org/pt-br/230737-na%C3%A7%C3%B5es-unidas-meta-%C3%A9-aumentar-%C3%A1rea-florestal-global-em-3-at%C3%A9-2030>. Link consultado em 16/3/2025.
3. <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>. Link consultado em 24/3/2025.
4. <https://www.weforum.org/press/2020/01/half-of-world-s-gdp-moderately-or-highly-dependent-on-nature-says-new-report/>. Link consultado em 25/3/2025.
5. <https://seeg.eco.br/>. Link consultado em 25/3/2025.
6. <https://data.inpe.br/big/web/inpe-divulga-dados-de-desmatamento-para-2024-na-amazonia-legal-brasileira-alb-e-no-cerrado/>. Link consultado em 23/3/2025.
7. <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/the-green-hidden-gem-brazils-opportunity-to-become-a-sustainability-powerhouse>. Link consultado em 8/4/2025.
8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S253006442200027X>. Link consultado em 25/3/2025.
9. <https://www.sema.am.gov.br/programa-guardioes-da-floresta/>. Link consultado em 10/4/2025.
10. [https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/controle-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/amazonia=-ppcdam1-#:~:text=Criado%20em%202004%2C%20o%20Plano,-de%20Pesquisas%20Espaciais%20\(Inpe\)](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/controle-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/amazonia=-ppcdam1-#:~:text=Criado%20em%202004%2C%20o%20Plano,-de%20Pesquisas%20Espaciais%20(Inpe)). Link consultado em 10/4/2025.
11. <https://www.wribrasil.org.br/>

- nova-economia-da-amazonia. Link consultado em 13/4/2025.
12. <https://observatorioflorestal.org.br/>. Link consultado em 9/4/2025.
13. <https://www.climatepolicyinitiative.org/pt-br/publication/onde-estamos-na-implementacao-do-codigo-florestal-radiografia-do-car-e-do-pra-nos-estados-brasileiros-edicao-2024/>. Link consultado em 10/4/2025.
14. <https://www.decadeonrestoration.org/pt-br>. Link consultado em 9/4/2025.
15. <https://www.wribrasil.org.br/noticias/planaveg-20-brasil-reafirma-meta-de-12-mi-de-hectares-com-novo-plano-de-restauracao>. Link consultado em 12/4/2025.
16. <https://www.pactomataatlantica.org.br/>. Link consultado em 11/4/2025.
17. <https://redario.org.br/>. Link consultado em 10/4/2025.
18. <https://www.iba.org/>. Link consultado em 19/3/2025.
19. <https://www.wribrasil.org.br/projetos/projeto-verena>. Link consultado em 17/3/2025.

ENERGIA

1. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU_n05_emiss%C3%B5es.pdf. Os links desta seção foram consultados em 17/4/2025.
2. <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>
3. Agência Internacional de Energia (IEA) <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/biofuels>
4. IPCC https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf citado pelo WRI em <https://www.wribrasil.org.br/noticias/>

transporte-e-fonte-de-emissoes-que-mais-cresce-veja-o-que-dizem-os-numeros

5. Ministério de Minas e Energia (MME) <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/BrasilLiderMundialnaTransicaoEnergeticaMinisteriodeMinaseEnergia.pdf>
6. MME <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-combustivel-do-futuro/analise-economica-diferentes-rotas-de-producao-de-saf.pdf>
7. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe-UFRJ)
8. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bateu-recorde-em-2024-na-expansao-da-matriz-eletrica-com-o-acrescimo-de-10-9-gw>
9. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18044516/estudo-mostra-que-etanol-de-cana-emite-menos-gas-carbonico-para-a-atmosfera-do-que-a-gasolina>
10. <https://unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2022/07/29/carro-eletrico-movido-etanol/>
11. <https://unica.com.br/noticias/etanol-atinge-maior-oferta-da-historia-em-2024/>
12. <https://www.fenasucro.com.br/pt-br/blog/negocios/pais-tem-23-produtoras-de-etanol-prontas-e-em-implantacao--conhe.html>
13. <https://www.shell.com.br/imprensa/press-releases-2023/pesquisa-da-shell-senai-cimatec-e-unicamp-para-produzir-energia-renovavel-a-partir-de-agave-avanca-no-nordeste.html>
14. <https://vale.com/pt/w/vale-komatsu-e-cummins-anunciam-colaboracao-para-desenvolver-caminhoes-bi-combustiveis-de-grande-porte-movidos-a-etanol-e-diesel>

15. <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2025/03/26/wartsila-vai-testar-etanol-em-termoletrica-no-brasil.ghtml>
16. <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2025/03/26/wartsila-vai-testar-etanol-em-termoletrica-no-brasil.ghtml>
17. <https://biodiesel.abiove.org.br/estatisticas-2024/>
18. <https://portal.datagro.com/en/soy/10/947298/indonesia-expects-to-increase-biodiesel-blending-to-50-palm-oil-by-2026>
19. <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Parana-tera-maior-complexo-de-biodiesel-do-mundo-base-de-oleo-de-soja>
20. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/brasil-alcanca-novo-recorde-de-expansao-da-geracao>
21. <https://www.irena.org/News/pressreleases/2025/Mar/Record-Breaking-Annual-Growth-in-Renewable-Power-Capacity>
22. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ministro-alexandre-silveira-destaca-avancos-na-expansao-do-setor-eletrico-brasileiro-durante-conferencia-nacional>
23. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgebc/gt-eolicas-offshore-1/arquivos/apresentacoes-forum-br-uk/20250319-apresentacao-mme-publicar.pdf>
24. <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/o-setor/>
25. <https://www.absolar.org.br/noticia/mundo-acrescentou-550-gw-de-energia-solar-em-2024/>
26. <https://www.iea.org/reports/renewables-2024/global-overview>
27. <https://www.absolar.org.br/noticia/https-www-estadao-com-br-economia-energia-solar-bate-recorde-em-2024-nprei/>

28. <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-e-6o-colocado-no-ranking-global-de-energia-solar-de-2024/>
29. Absolar https://www.engenhariacompartilhada.com.br/noticia/exibir/9093878_com-5-milhoes-de-imoveis-abastecidos-pela-geracao-propria-nos-telhados-e-solo-energia-solar-atinge-55-gigawatts-como-um-todo-no-brasil
30. Absolar https://www.engenhariacompartilhada.com.br/noticia/exibir/9093878_com-5-milhoes-de-imoveis-abastecidos-pela-geracao-propria-nos-telhados-e-solo-energia-solar-atinge-55-gigawatts-como-um-todo-no-brasil
31. MME <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/luz-para-todos-energia-solar-ja-beneficiou-mais-de-150-mil-consumidores-da-amazonia-legal>
32. <https://www.abrema.org.br/2024/08/29/com-3-mil-lixoes-ativos-brasil-ainda-tem-dificuldades-no-descarte-adequado-do-lixo-2/>
33. https://www.instagram.com/abiogas/p/DGJeTIR99Z/?img_index=4 <https://abiogas.org.br/conheca=-o-setor/#~:text=Esses%20setores%20representam%20fontes%20abundantes,6%2C1%20mil%C3%B5es%20Nm%C2%B3/dia>
34. <https://agencia.fapesp.br/cientistas-usam-cinzas-geradas-pela-queima-do-bagaco-da-cana-para-recuperar-nutrientes-da-vinhaca/52577>
35. <https://www ldc.com/br/pt/press-releases/louis-dreyfus-company-inova-com-a-maior-planta-do-mundo-a-produzir-biogas-a-partir-de-efluente-citrico/>
36. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArqui->

- vos/publicacao-839/Executi-ve%20Summary%20-%20SAF.pdf
37. <https://www.weforum.org/stories/2025/03/carbon-capture-storage-essentials-uptake/>
38. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2025/04/Agencia-Nacional-De-Petroleo-ANP-Evolucao-legal-e-regulatoria-Captura-e-Estocagem-de-Carbono-CCS.pdf>
39. https://www.energy.gov/eere/bioenergy/marine-biofuels?nrg_redirect=472645#:~:text=Drop%2DIn%20Fuels,Bio%2Dcrude
40. <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/15625-brasil-pode-produzir-800-mil-toneladas-de-hidrogenio-de-baixo-carbono-por-ano-ate-2030>
- MINERAÇÃO**
1. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/pnm-2050/estudos/caderno-4-competitividade-da-industria-mineral-brasileira/InfraestruturadeTransporteLogsticadoSetorMineralBrasileiro.pdf> Este e demais links das seção foram consultados em 13 de agosto de 2025.
2. https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cindra/arquivos/ANTF_YuriPontual.pdf
3. WRI - 2024 <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>.
4. IISD - 2024 <https://www.iisd.org/system/files/2024-08/igf-decarbonization-mining-sector.pdf>
5. Ibram - 2024 - [to-confirma-que-industria-da-mineracao-responde-por-ape-nas-055-das-emissoes-de-gee/](https://ibram.org.br/noticia/inventario-inedi-)
6. SEEG - 2024 - <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>
7. WEF - 2024 - https://reports.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Industry_Tracker_2024_Steel.pdf
8. SEEG - 2020 - <https://www.oc.eco.br/mineracao-responde-por-5-das-emissoes-do-brasil/>
9. <https://ibram.org.br/noticia/inventario-inedito-confirma-que-industria-da-mineracao-responde-por-055-das-emissoes-de-gee/>
10. Vale - Relato Integrado 2024
11. CDP - 2024 - <https://www.cdp.net/en/press-releases/corporates-supply-chain-scope-3-emissions-are-26-times-higher-than-their-operational-emissions>
12. <https://noticias.stf.jus.br/post-snoticias/stf-invalida-norma-que-estabelecia-presuncao-de-bom-fa-no-comercio-de-ouro/>
13. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-04/amazonia-garimpo-cresceu-361-em-terras-indigenas-de-2016-2022>
14. <https://www.socioambiental.org/noticias-socioambientais/o-garimpo-esta-desacelerando-na-amazonia>
15. https://www.researchgate.net/publication/385087081_The_impact_of_autonomous_vehicles_on_mining_operations_Enhancing_safety_and_productivity_through_technological_advancements
16. <https://esg.csn.com.br/meio-ambiente/agua/>
17. IRMA - [toria-irma/](https://responsiblemining.net/2025/03/20/miguel-burnier-gerdau-completa-audi-)

18. Artigo Sustentabilidade na mineração como vantagem competitiva: Estudo de caso do projeto ferro carajás S11D.
19. Artigo Sustentabilidade na mineração como vantagem competitiva: Estudo de caso do projeto ferro carajás S11D.
20. <https://saladeimprensa.vale.com/pt/w/vale-announces-green-briquette-capable-of-reducing-co2-emissions-of-steel-making-clients-by-up-to-10->
21. <https://vale.com/pt/w/frota-de-navios-a-servico-da-vale-recebe-primeiro-mineraleiro-do-mundo-equipado-com-velas-rotativas>
22. AIE - Global Critical Minerals Outlook 2024 2025 <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024/outlook-for-key-minerals>
23. AIE - Global Critical Minerals Outlook 2025
24. US Geological Survey.
25. Meteoric Brasil - Projeto Caldeira: Metais Estratégicos, Futuro sustentável - 2025
26. <https://pocosdecaldas.mg.gov.br/noticias/pocos-de-caldas-e-destaque-estadual-e-projeta-r-8-bilhoes-em-investimentos-ate-2030/>
27. https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/02/DADOS_Setor-Mineral_2024_5FEV2025.pdf
28. Potencial de extração de terras raras em rejeitos - Lucy Takehara Chemale, SGB - <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/25111>
29. Environmental and Social Progress Report – Paragominas and Alunorte 2022
30. <https://www.cba.com.br/conteudo/mineracao-sustentavel-praticada-pela-cba-ganha-destaque-internacional/> e <https://>

- www.ibram.org.br/noticia/cba-e-primeira-mineradora-em-minas-gerais-a-receber-declaracao-de-recuperacao-de-area-minerada-com-conservacao-ambiental/
31. Potencial de extração de terras raras em rejeitos - Lucy Takehara Chemale, SGB - <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/25111>
32. <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/lithium-ionic-investira-r-750-milhoes-no-jequitinhonha>

MERCADO DE CARBONO

1. Insights Mercado de Carbono - Edição 1 tri 2025 https://systemica.digital/wp-content/uploads/2025/05/1Q2025-VCM_Report-1.pdf. Link consultado em 03/8/2025.
2. MSCI, 2025, Frozen Carbon Credit Market May Thaw as 2030 Gets Closer <https://www.msci.com/research-and-insights/blog-post/frozen-carbon-credit-market-may-thaw-as-2030-gets-closer>. Link consultado em 31/8/2025.
3. Ambiente de negociação onde são comercializados ativos não registrados em bolsa, como títulos do governo, CDBs, LCIs, debêntures e outros.

ECONOMIA CIRCULAR

1. Completando a Figura, Como a economia circular ajuda a enfrentar as mudanças climáticas <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/completando-a-figura>
2. <https://www.circularity-gap.world/2024>. Link consultado em 19/5/2025.
3. Global Resources Outlook 2024, <https://www.unep.org/resources/Global-Resource-Outlook-2024>. Link consultado em 19/5/2025.
4. Análise das Emissões de Gases

- de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil. Disponível em <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>.
5. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41994-munic-2023-31-9-dos-municipios-brasileiros-ainda-despejam-residuos-solidos-em-lixoes>. Link consultado em 9/4/2025.
6. Economia Circular: barreiras, oportunidades e práticas na indústria, <https://s3.us-east-1.amazonaws.com/wasabi-cse360.com.br/email-editor-files/23f2e8db-c276-4f19-9362-08d8e40a8ad4/dc2b54aa-8511-4530-8bd7-7b0d7bc02ef2.pdf>
7. Como se Preparar pra a Economia Circular, <https://coreconsp.gov.br/wp-content/uploads/2025/02/E4CB-guia-comunicacao-reuniao-HubEc4-25-02-2025-1.pdf>. Link consultado em 21/4/2025.
8. <https://atlasbrasileirodareciclagem.ancat.org.br/>. Link consultado em 4/4/2025.
9. <https://www.sema.ce.gov.br/2024/12/31/inscricao-para-o-programa-auxilio-catador-inicia-nesta-terca-feira-02/>. Link consultado em 9/4/2025.
10. <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/governo-de-minas-realiza-novo-repasse-do-bolsa-reciclagem-a-cooperativas-de-catadores-de-materiais-reciclavéis>. Link consultado em 9/4/2025.
11. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/flexible-packaging/overview?web=1&wdLOR=cBCA-5715A-7F50-194F-A8A0-984FF-C548B48>. Link consultado em 1/4/2025.

12. <https://www.projetedraft.com/sintronics-faz-95-do-residuo-eletronico- virar-materia-prima-de-alta-qualidade/>. Link consultado em 29/3/2025.
13. <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-60144656>. Link consultado em 30/3/2025.
14. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/exemplos-circulares/ligue-os-pontos>. Link consultado em 9/4/2025.
15. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/natura-brazil>. Link consultado em 8/4/2025.
16. <https://www.produzindocerto.com.br/a-agropecuaria-naturalmente-lucrativa-do-grupo-kompier/>. Link consultado em 15/4/2025.
17. <https://www.tupy.com.br/tupy-e-mwm-firmam-contrato-com-primato-para-producao-de-combustivel-renovavel-e-eletricidade-limpa/>. Link consultado em 16/5/2025.
18. <https://www.nutribrasalimentos.com.br/>. Link consultado em 26/5/2025.
19. <https://reciclatatas.com.br/brasil-recicla-100-das-latinhas-de-aluminio-produzidas-em-2022-e-alcanca-marca-historica/>. Link consultado em 8/4/2025.
20. <https://exame.com/esg/ancat-inaugura-hub-do-plastico-a-maior-planta-de-gestao-de-plasticos-da-america-latina/> Link consultado em 8/4/2025.
21. <https://ancat.org.br/ancat-e-instituto-heineken-lancam-o-hub-da-cidadania-em-sp/>
22. Disponível em <https://economicscircualar.fiesp.com.br/docs/ebook-economia-circular-industria-melhores-praticas-desktop.pdf>

