



ANL01

Metodologia para Projetos de Carbono em
Áreas de Vegetação Nativa e Culturas
Perenes em Propriedades Rurais

Versão 2.1

Setembro 2025

Metodologia para o desenvolvimento de projetos de carbono do tipo *insetting*, *offsetting* ou geração de ativos financeiros como CPR Verde, com base na conservação e recuperação de áreas de vegetação nativa e do manejo sustentável de culturas perenes de longa duração em propriedades rurais. A metodologia inclui a quantificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), dos estoques e das remoções de carbono em todo o limite da propriedade, juntamente com planos de monitoramento, relato e verificação (MRV) conduzidos por terceiros. Os projetos continuam elegíveis mesmo na ausência de culturas perenes.

Esta versão 2.1 da Metodologia para Projetos de Carbono em Áreas de Vegetação Nativa e Culturas Perenes em Propriedades Rurais — anteriormente intitulada “Metodologia de Carbono ANL01 PES (v1.0)” — foi desenvolvida pela Agro New Life e incorpora aprimoramentos resultantes da consulta pública realizada entre junho e julho de 2025 e da revisão metodológica conduzida pela FoodChain ID em março de 2025.

VERSÃO 2.1

Setembro 2025

Endereço

Rua Gonçalves Dias, 100, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

Tel.: + 55 (11) 5520 0477

contato@agronl.com.br

Copyright © 2025 Esta metodologia é apresentada exclusivamente para fins informativos e de orientação. A AGRO NEW LIFE, empresa responsável pelo desenvolvimento e apresentação desta metodologia, não se responsabiliza por qualquer uso das informações contidas neste documento. A metodologia e seus resultados foram desenvolvidos com base em dados e modelos atuais e estão sujeitos a incertezas inerentes aos processos de estimativa e análise. Não garantimos a precisão, completude ou adequação dos dados para fins diferentes daqueles para os quais esta metodologia foi criada. O uso inadequado ou a má interpretação dos resultados é de responsabilidade exclusiva do usuário. Os direitos autorais desta metodologia e de todo o conteúdo incluído nesta apresentação são reservados. Nenhuma parte deste material pode ser reproduzida, distribuída ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópias, gravações ou qualquer outro sistema de armazenamento e recuperação de informações, sem a permissão prévia por escrito dos detentores dos direitos autorais. Qualquer violação de direitos autorais estará sujeita às penalidades previstas pela legislação aplicável. Para dúvidas, solicitações adicionais ou esclarecimentos sobre o conteúdo apresentado, entre em contato conosco por e-mail: contato@agronl.com.br.

SUMÁRIO

1.	RESUMO EXECUTIVO	4
2.	FONTES E DOCUMENTOS DE APOIO	6
3.	JUSTIFICATIVA E REPOSICIONAMENTO METODOLÓGICO	8
4.	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....	12
5.	ESTRUTURA CONCEITUAL E DEFINIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE GEE	20
6.	CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE.....	26
7.	LIMITES DO PROJETO	29
8.	CENÁRIO DE LINHA DE BASE E PERÍODO DE REFERÊNCIA	42
9.	ADICIONALIDADE	46
10.	EMISSÕES POR VAZAMENTO (LEAKAGE)	49
11.	RISCO E PERMANÊNCIA	50
12.	QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE	54
13.	QUANTIFICAÇÃO DOS ESTOQUES E REMOÇÕES DE CARBONO	75
14.	CÁLCULO DOS CRÉDITOS ANUAIS E RESERVA DE RISCO	90
15.	PLANO DE MONITORAMENTO	92
16.	REFERÊNCIAS.....	98

1. RESUMO EXECUTIVO

Apesar da vasta riqueza ecológica do Brasil e dos avanços nos marcos legais de conservação, proprietários rurais seguem amplamente excluídos dos mercados de carbono por falta de metodologias aderentes à sua realidade. Áreas de vegetação nativa — pilares da integridade ambiental — são mantidas a custo próprio, sem remuneração pelos serviços ecossistêmicos que prestam à sociedade (regulação climática, armazenamento de carbono, ciclo da água, biodiversidade, controle de erosão). Sob a maioria das metodologias atuais, esses serviços ainda são negligenciados ou subestimados.

Esta metodologia foi desenvolvida para preencher essa lacuna. Adota a fazenda inteira como unidade contábil, com foco no saldo líquido de carbono no nível de propriedade, em contabilidade modular e rastreável. Para isso, integra as emissões de todas as atividades desenvolvidas na fazenda, as remoções de carbono pela vegetação nativa e por culturas perenes e os estoques de carbono em vegetação nativa já conservada e elegível.

Diferentemente de abordagens centradas apenas em remoções adicionais ou em desmatamento evitado, esta metodologia reconhece, de modo verificável, os estoques de carbono já mantidos em florestas em pé e condiciona sua remuneração à manutenção anual da integridade ecológica. Ao mesmo tempo, a metodologia reconhece o sequestro de longo prazo de sistemas perenes longevos (café, citros, cacau, seringueira e outros) e o integra ao balanço líquido de gases de efeito estufa (GEE) do projeto, com dedução explícita das emissões de manejo, de modo que apenas o excedente líquido anual seja elegível à emissão de créditos.

Para ampliar a transparência e a replicabilidade, o Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) prioriza sensoriamento remoto auditável, com atualização anual e séries temporais consistentes. O monitoramento é anual e deve resultar em um relatório entregue ao final de cada ano, avaliando todas as condições alteradas em emissões, remoções e estoques, incluindo fluxos biogênicos; somente após essa verificação os créditos podem ser gerados. Os ciclos de crédito são de cinco anos, com reavaliação periódica de linha de base, onde reversões comprovadas geram deduções proporcionais.

A arquitetura modular permite uso tanto em *offsetting* (créditos transacionáveis), *insetting* (mitigação dentro da cadeia produtiva) quanto na geração de instrumentos financeiros lastreados em ativos ambientais — como a Cédula de Produto Rural Verde (CPR Verde). Em todas as modalidades aplicam-se salvaguardas contra dupla contagem. No *insetting*, veda-se a compensação cruzada entre módulos (“*netting*”), entendida como: (i) usar

reduções ou remoções de um módulo/escopo para neutralizar aumentos em outro (por exemplo, empregar remoções biogênicas de perenes para abater emissões fósseis em transporte/processo, ou usar reduções de energia para compensar aumentos na criação de animais); (ii) dupla reivindicação do mesmo resultado (p.ex., reportá-lo como *insetting* e, simultaneamente, como crédito de *offsetting*); e (iii) compensação intertemporal entre períodos para mascarar déficits, isto é, usar reduções verificadas de um ano para neutralizar aumento de emissões em outro ano. O reporte permanece segregado por módulo, escopo e categoria (reduções vs. remoções; biogênico vs. fóssil). Ainda para *insetting*, o Documento de Concepção do Projeto (*Project Design Document*, PDD) deve comprovar a rastreabilidade (cadeia de custódia) e identificar, no mínimo, o primeiro destinatário — isto é, quem recebe a primeira entrega do produto/serviço vinculado ao resultado (por exemplo, uma cooperativa, um armazém ou um centro de distribuição) — com documento que permita rastrear o lote até o destinatário final da reivindicação de *insetting*.

O tratamento da propriedade em sua integralidade diminui risco de vazamento e melhora a rastreabilidade, alinhando incentivos para conservar, manejar e produzir com menor intensidade de emissões. Descontos conservadores por incerteza e mecanismos de buffer de risco reforçam a integridade ambiental.

A adicionalidade ancora-se nos marcos legais nacionais do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE, Lei nº 15.042/2024) e da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA, Lei nº 14.119/2021), orientando a avaliação da conservação prolongada de ecossistemas naturais — que abrigam biodiversidade (fauna e flora) e prestam serviços ecossistêmicos essenciais à sociedade, como regulação climática, manutenção do ciclo hidrológico, controle da erosão e provisão de habitat. Essa conservação é considerada adicional por ocorrer em propriedades rurais sujeitas a riscos recorrentes de degradação, desmatamento e fogo, além de vulnerabilidade climática e déficit florestal regional, o que reforça sua legitimidade regulatória.

Em coerência com esses marcos (SBCE/PNPSA), a metodologia observa princípios do *Integrity Council for the Voluntary Carbon Market* (ICVCM) e é compatível com o reporte corporativo — *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol) e *Science Based Targets initiative* (SBTi), incluindo as diretrizes do *Forest, Land and Agriculture* (FLAG). Na prática, aproxima o financiamento climático de pequenos e médios produtores, valoriza o que já existe — e não apenas o que pode ser plantado — e viabiliza transformar conservação e produção responsável em receita recorrente baseada em evidências.

2. FONTES E DOCUMENTOS DE APOIO

Esta metodologia faz referência aos seguintes documentos, leis, diretrizes e ferramentas:

BRAZIL. MCTI – Ministry of Science, Technology and Innovation. Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Volume III. Brasília: Ministry of Science, Technology and Innovation, 2016. 336 p.

BRAZIL. MCTI – Ministry of Science, Technology and Innovation. Fourth National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Volume I. Brasília: Ministry of Science, Technology and Innovation, 2020. 648 p.

CDM AR-AMS0007. *Afforestation and reforestation project activities implemented on lands other than wetlands.* Version 3.1.

CDM AR-TOOL02. *Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate additionality in A/R CDM project activities.* Version 1.0, EB 35 Annex 19.

CDM AR-TOOL15. *Estimation of the increase in GHG emissions attributable to displacement of pre-project agricultural activities in A/R CDM project activity.* Version 2.0, EB 75 Annex 28.

Cool Farm Alliance & Quantis. *Quantification Methodology and Accounting Framework for Carbon Sequestration in Perennial Cropping Systems.* 2022.

Greenhouse Gas Protocol (WRI/WBCSD). *Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition).* 2004.

Greenhouse Gas Protocol (WRI/WBCSD). *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard.* 2011.

Greenhouse Gas Protocol (WRI/WBCSD). *Land Sector and Removals Guidance — Draft for Pilot Testing and Review.* 2022.

Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM). *Core Carbon Principles and Assessment Framework.* Version 2, 2024.

International Organization for Standardization (ISO). *ISO 14064-1:2018 — Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of GHG emissions and removals,* (2024).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.

Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938/1981, nº 9.393/1996 e nº 11.428/2006; revoga as Leis nº 4.771/1965 e nº 7.754/1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67/2001. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 28 maio 2012.

Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 14 jan. 2021.

Lei nº 15.042, de 4 de janeiro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SBCE. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 5 jan. 2024.

ReSeed. *ReSeed Benchmarking White Paper V1.1.* 2024. Available at: <https://reseed.farm/wp-content/uploads/2024/06/ReSeed-Benchmarking-White-Paper-V1.1.pdf>

Science Based Targets Initiative (SBTi). *Forest, Land and Agriculture (FLAG) Science-Based Target-Setting Guidance.* Version 1.0, 2022.

Social Carbon SCM0003: Methodology for Carbon Removal in Private Conservation Areas. 2024.

Verra. *VM0007: REDD+ Methodology Framework (REDD-MF).* Version 1.6.

Verra. *VM0015: Methodology for Avoided Unplanned Deforestation.* Version 1.3.

3. JUSTIFICATIVA E REPOSICIONAMENTO METODOLÓGICO

Nos últimos anos, instituições técnicas e científicas têm reforçado a necessidade de adaptar as metodologias de carbono aplicadas ao setor de uso da terra, florestas e agricultura (AFOLU – *Agriculture, Forestry and Other Land Uses*) às realidades dos países tropicais, onde esse setor concentra a maior parte das emissões (IPCC, 2022; FAO, 2020). No Brasil, as emissões brutas do setor AFOLU representaram 74% do total nacional em 2023 (46% Mudança de Uso da Terra e Florestas + 28% Agropecuária), sendo a conversão de vegetação nativa uma das principais fontes (SEEG, 2023). Esse contexto evidencia a necessidade de alterações estruturais nos mecanismos de financiamento climático voltados às propriedades rurais.

A escassez de metodologias e padrões AFOLU que sejam cientificamente robustos para quantificar os benefícios de atividades de conservação e restauração — com abordagens proporcionais a escala dos projetos, harmonizadas e operacionais — e que sejam aplicáveis à realidade de propriedades de pequeno e médio porte, limita a participação efetiva desses agentes nos mecanismos de financiamento climático (Ecosystem Marketplace, 2022). Ao mesmo tempo, esses produtores estão entre os mais expostos aos impactos das mudanças climáticas, o que revela um viés estrutural que compromete princípios de equidade e efetividade da agenda climática global.

Inadequação histórica dos modelos contrafactuais ao setor AFOLU

Grande parte das metodologias climáticas aplicadas ao setor AFOLU deriva, direta ou indiretamente, de estruturas desenvolvidas no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM – *Clean Development Mechanism*), instituído pelo Protocolo de Kyoto (1997). Nesse modelo, a elegibilidade de projetos depende da comprovação de adicionalidade contrafactual — isto é, da demonstração de que os benefícios climáticos, como a redução de emissões ou o sequestro de carbono, não ocorreriam na ausência da intervenção financiada pelos créditos gerados (UNFCCC, 2001; Gillenwater, 2012).

Embora esse modelo tenha se mostrado funcional no setor energético e industrial — em que a adoção de tecnologias mais limpas pode, de fato, ser condicionada ao incentivo financeiro —, sua transposição direta ao setor AFOLU revelou fragilidades estruturais. Ao contrário das emissões industriais — concentradas, tecnológicas e relativamente bem mensuráveis —, as emissões e principalmente remoções em AFOLU são influenciadas por variabilidade espacial e temporal elevada (solos, clima, regimes de umidade, sazonalidade

e distúrbios naturais como secas, incêndios e enchentes). Essa multiplicidade de fatores, variando em curtas distâncias e ao longo do tempo, dificulta a construção de cenários contrafactuais robustos e auditáveis. Somam-se a isso desafios intrínsecos como incerteza de linha de base e custos de MRV desproporcionais em contextos pulverizados, que tornam modelos herdados, concebidos para contextos mais homogêneos, propensos a estimativas frágeis no setor AFOLU (Angelsen et al., 2018; Houghton & Nassikas, 2017).

Além disso, as diferentes dinâmicas e complexidades associadas às emissões e remoções no uso da terra reduzem a aplicabilidade de critérios centrais como o *regulatory surplus* — isto é, a demonstração de que as ações propostas excedem as exigências legais. No setor energético-industrial, esse critério é relativamente direto: limites de emissão, padrões tecnológicos mínimos ou obrigações normativas claramente definidos permitem uma comparação objetiva entre o cenário projetado e o cumprimento regulatório, viabilizando a criação de parâmetros-base replicáveis em múltiplas jurisdições com alta previsibilidade técnica.

No contexto brasileiro, o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) estabelece salvaguardas obrigatórias (Reserva Legal e APP) que, conforme bioma e localização, exigem manutenção de frações substanciais da propriedade — tipicamente entre 20% e 80% — sob vegetação nativa. Exigir, como condição de elegibilidade climática, resultados que excedam sistematicamente esses pisos legais tende a inviabilizar economicamente propriedades rurais e a excluir projetos que preservam grandes estoques já protegidos por lei. Nesse contexto, a aplicação literal do *regulatory surplus* desalinha o critério de adicionalidade da realidade do AFOLU brasileiro, por desconsiderar a materialidade e o risco dos estoques existentes e a necessidade de reconhecer sua conservação prolongada.

Esse desalinhamento torna-se ainda mais evidente quando se considera a assimetria de permanência entre setores: no energético-industrial, as reduções de emissões tendem a ser estáveis após a adoção tecnológica (por exemplo, substituição de vetores energéticos, adoção de melhores tecnologias disponíveis e implantação de sistemas de captura de carbono), produzindo trajetórias com alta previsibilidade. Em AFOLU, por sua vez, horizontes de 50–100 anos frequentemente resultam em extrapolações especulativas sobre estoques e taxas futuras. Por isso, ciclos de projeto mais curtos e renováveis, com monitoramento anual e reavaliações periódicas de linha de base, tendem a ser muito mais efetivos. Essa estrutura não apenas fortalece a rastreabilidade e a integridade ambiental, como também estabelece a condição de que créditos só podem ser gerados após a verificação anual das emissões, remoções e estoques observados. Esse arranjo permite

ajustes graduais e auditáveis à medida que novas evidências empíricas se acumulam. Também diminui a dependência de previsões longínquas, ancora a emissão de créditos em observações atualizadas e melhora a rastreabilidade dos resultados. Ao mesmo tempo, no contexto brasileiro, a permanência em AFOLU é adicionalmente reforçada pelo regime jurídico do Código Florestal — dado que RL e APP impõem proteção contínua sobre extensas frações das propriedades —, o que eleva, de forma intrínseca, a durabilidade do armazenamento de carbono quando comparada a contextos sem salvaguardas legais equivalentes.

Limitações do foco em desmatamento evitado e reflorestamento na definição de adicionalidade

Embora funcional em contextos de conversão acelerada, o foco exclusivo em desmatamento evitado e reflorestamento restringe a determinação de adicionalidade no AFOLU. Ao tratar o desmatamento como único evento disruptivo, as metodologias convencionais deixam de reconhecer emissões relevantes em florestas que permanecem “em pé”, mas estão sob degradação contínua, com perda de carbono, biodiversidade e funcionalidade ao longo do tempo.

Entre os múltiplos fatores, destacam-se extração seletiva, queimadas e compactação do solo — pressões mitigáveis na escala da fazenda quando há incentivos e capacidade financeira. As evidências são robustas: entre 2001 e 2018, as emissões na Amazônia oriundas de degradação foram comparáveis às do desmatamento total (Lapola et al. 2023). Até 70% das emissões em florestas tropicais podem decorrer de degradação pouco captada por métricas convencionais (Baccini et al., 2017). Queimadas recorrentes, mesmo de baixa intensidade, liberam 20–30 tCO₂e/ha por ciclo (Alencar et al., 2015).

Ao tomar o desmatamento como único indicador de ameaça, essa abordagem ignora o valor estratégico da conservação prolongada. Ela também gera viés sistemático contra propriedades pequenas e médias, nas quais a manutenção de florestas e sistemas agroflorestais exige custos recorrentes como combate a incêndios, manutenção de cercas e aceiros e vigilância contra extração ilegal. Ao desconsiderar essas ações como parte do mérito climático, os modelos vigentes excluem territórios que preservam estoques significativos de carbono.

Ao financiar essas propriedades, além de remunerar e reconhecer os benefícios climáticos já gerados, os projetos permitem ampliar os investimentos em prevenção e manejo da

degradação, além de instituir monitoramento periódico. Isso reduz a probabilidade e a intensidade da degradação e eleva as remoções líquidas, com resultados observáveis e auditáveis em séries temporais.

Ao mesmo tempo, reconhecer a adicionalidade de reflorestamentos em detrimento da conservação ignora fatores críticos tanto do ponto de vista ecológico quanto da permanência do carbono. Projetos de reflorestamento, em sua maioria, apresentam composição florística empobrecida, com número reduzido de espécies, baixa variabilidade genética e funcional, e estrutura ecológica simplificada quando comparados a florestas maduras. Mesmo quando bem-sucedidos, tais sistemas não replicam os atributos biogeoquímicos, a resiliência climática nem os serviços ecossistêmicos prestados por formações nativas intactas.

Essa assimetria metodológica persiste apesar de evidências robustas de que florestas maduras possuem densidade de carbono, complexidade estrutural e valor ecológico que não podem ser reproduzidos por reflorestamentos, mesmo após muitas décadas (Poorter et al., 2021). Além disso, os projetos de restauração florestal enfrentam riscos significativos de reversão, especialmente nos estágios iniciais da sucessão, quando estão mais expostos a incêndios, estresse hídrico, invasões biológicas, abandono e conflitos de uso. Estudos recentes demonstram que as taxas de insucesso e degradação precoce desses projetos são substanciais, comprometendo sua efetividade climática e levantando dúvidas sobre sua permanência real (Strassburg et al., 2020; Crouzeilles et al., 2017).

Ainda assim, tais iniciativas são frequentemente reconhecidas como adicionais, enquanto a conservação ativa de florestas nativas — mais densas, complexas e estáveis — permanece sistematicamente excluída dos fluxos de financiamento climático. Segundo Griscom et al. (2017), a conservação de ecossistemas existentes representa mais de 30% do potencial custo-efetivo de soluções climáticas naturais até 2030, mas continua subvalorizada pelas metodologias predominantes. Moomaw et al. (2019), por sua vez, defendem o conceito de *proforestation* — a proteção e promoção da longevidade de florestas existentes — como estratégia central para a mitigação climática global, especialmente diante do risco de emissões irreversíveis associadas à degradação.

O paradoxo é evidente: quanto mais historicamente bem conservada a paisagem, menor a probabilidade de que seja considerada adicional. Florestas maduras, solos estabilizados e agroecossistemas resilientes — justamente os sistemas mais estratégicos para a estabilidade climática — tornam-se inelegíveis aos fluxos de financiamento climático. Em vez de valorizadas como ativos críticos de mitigação, essas áreas são tratadas como se

seu valor já estivesse garantido, sendo assim excluídas de incentivos e mecanismos de compensação.

Todos esses impasses metodológicos — em especial a exigência de um marco disruptivo como condição para reconhecer adicionalidade — fragilizam a viabilidade de projetos no setor AFOLU. No Brasil, onde mais de 60% do território permanece sob cobertura de vegetação nativa, cuja relevância regulatória, climática e de biodiversidade é amplamente reconhecida internacionalmente, esse viés torna-se ainda mais disfuncional. A própria noção de adicionalidade precisa ser urgentemente repensada à luz das especificidades ecológicas, operacionais e institucionais que definem o uso da terra em contextos tropicais.

4. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Esta metodologia foi concebida como resposta técnica e operacional às lacunas discutidas na seção anterior, estruturando um modelo contábil capaz de integrar, de forma coerente e verificável, os múltiplos componentes ambientais e produtivos das propriedades rurais. A abordagem parte da avaliação climática da fazenda como um todo, considerando em conjunto os fatores que contribuem para emissões, remoções e manutenção de estoques de carbono. A fronteira do projeto corresponde ao limite integral da propriedade (*boundary*), com regras explícitas de elegibilidade, exclusões e rastreabilidade de dados.

O ponto de partida é a construção de um balanço de carbono líquido no nível da propriedade, que considera:

- **Emissões de GEE** provenientes de atividades agrícolas e criação de animais;
- **Remoções de carbono** pela vegetação nativa remanescente, pela regeneração natural ou por cultivos perenes;
- **Estoques de carbono** já consolidados, legalmente elegíveis, monitorados anualmente e sujeitos a risco mensurável de reversão.

Como a contabilidade é realizada no nível da fazenda como um todo — e não apenas sobre áreas nativas isoladas —, **e é modular quanto a emissões, remoções e estoques**, esta metodologia é aplicável a três mecanismos possíveis:

- **Mercados de carbono do tipo *offsetting***: unidades verificadas de carbono são comercializadas no mercado voluntário e utilizadas por terceiros para compensar emissões residuais ou apoiar metas climáticas, conforme regras aplicáveis.

- **Estratégias de *insetting***: voltadas a empresas agroindustriais que buscam reduzir suas próprias emissões e reforçar remoções dentro da cadeia, investindo diretamente no desempenho climático de propriedades fornecedoras. Nesse caso, os PDDs devem comprovar a rastreabilidade (cadeia de custódia) e identificar, no mínimo, o primeiro destinatário — isto é, quem recebe a primeira entrega do produto/serviço vinculado ao resultado (por exemplo, uma cooperativa, um armazém ou um centro de distribuição) — com documento que permita rastrear o lote até o destinatário final da reivindicação de *insetting*, conforme princípios SBTi FLAG.
- **Instrumentos financeiros lastreados em ativos ambientais**: incluem mecanismos como a CPR Verde, título de crédito do agronegócio que monetiza serviços ecossistêmicos prestados pela propriedade rural — como conservação de vegetação nativa, manejo sustentável e práticas de baixa emissão — permitindo ao produtor acessar capital a partir da valorização desses ativos e reinvesti-lo em ações que fortaleçam a sustentabilidade e a resiliência produtiva. Todos os instrumentos observam salvaguardas de prevenção à dupla contagem e mecanismos de registro compatíveis com sistemas nacionais.

Ao contemplar essas diferentes abordagens, a metodologia se consolida como ferramenta estratégica para o cumprimento de metas climáticas, a estruturação de projetos de carbono do setor AFOLU e a valorização de produtos e cadeias com menor intensidade de emissões. Sua aplicação é compatível com protocolos de inventário de Gases de Efeito Estufa — inclusive no Escopo 3 —, assegurando rastreabilidade, compatibilidade regulatória e aderência a padrões internacionais de sustentabilidade. É compatível com os princípios de integridade climática definidos pelo ICVCM: (i) quantificação baseada em dados verificáveis e replicáveis; (ii) viabilidade de monitoramento ao longo do tempo; (iii) rastreabilidade completa de insumos, parâmetros e resultados; e (iv) abordagem conservadora e explícita para tratamento das incertezas. A geração de créditos fica condicionada à verificação anual independente (MRV) e às regras de incerteza (descontos conservadores) e de permanência (buffer de risco) definidas nesta metodologia. As estimativas publicadas incorporam desconto conservador por incerteza e buffer de risco proporcionais ao contexto do projeto, com regras detalhadas em seção específica.

O uso de dados públicos auditáveis e procedimentos reproduzíveis atendem aos requisitos da SBTi (2022) para contabilização de reduções e remoções na cadeia e aos princípios do GHG *Protocol*, com mecanismos claros de prevenção de dupla contagem. Com isso, empresas exportadoras de commodities como café, cacau, citros ou borracha podem

demonstrar, com base em evidências técnicas, redução de emissões na cadeia, ausência de desmatamento na produção de matérias primas e progresso consistente rumo a metas climáticas baseadas na ciência. Sempre que aplicável, as reduções deverão ser demonstradas contra linhas de base atualizadas periodicamente, com transparência sobre fatores de emissão e metodologias de detecção remota utilizadas. Os pagamentos por estoques e remoções são escalonados e condicionados a desempenho anual verificado e ao cumprimento de salvaguardas ambientais e sociais, assegurando rastreabilidade e integridade ao longo do ciclo.

Ao transformar essas contribuições em ativos de carbono íntegros e rastreáveis, a metodologia permite que produtores rurais — especialmente pequenos e médios — sejam efetivamente remunerados por conservar vegetação, manter sistemas sustentáveis e adotar práticas regenerativas. Reposiciona-se, assim, o produtor como agente ativo da transição climática, com papel decisivo na preservação da biodiversidade, na regulação ambiental e na resiliência das paisagens produtivas.

Fazendas como âncoras para a conservação

Grande parte dos ativos ambientais mais valiosos do Brasil está localizada dentro de propriedades rurais privadas. Embora cerca de dois terços do território nacional — o equivalente a 5,7 milhões de quilômetros quadrados, mais do que toda a União Europeia — esteja coberto por vegetação nativa, apenas uma pequena fração desse patrimônio encontra-se protegida por unidades públicas de conservação. A vasta maioria permanece sob responsabilidade direta de produtores rurais, especialmente nas Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente estabelecidas pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012).

Essas áreas, distribuídas por milhares de propriedades, funcionam como zonas de amortecimento, corredores ecológicos e sumidouros de carbono essenciais à resiliência ambiental — sobretudo em regiões consolidadas ou fronteiras agrícolas, onde a vegetação nativa remanescente sustenta a estabilidade hídrica, a saúde do solo e a regulação climática local. Na prática, recai principalmente sobre os produtores a gestão direta de grande parte desses ativos ambientais.

A conservação, porém, representa custo de oportunidade perdida e custos operacionais de conservação. Despesas com cercamento, prevenção e combate a incêndios, e

monitoramento somam-se à renúncia de uso produtivo. Sem incentivos adequados, manter a vegetação nativa implica dispêndio contínuo, muitas vezes superior ao retorno possível.

O desequilíbrio é estrutural: produtores são legalmente obrigados a conservar ecossistemas que geram bens públicos globais — sequestro de carbono, biodiversidade e regulação hidrológica — sem apoio financeiro recorrente proporcional. Além disso, há desafios operacionais de fiscalização em escala continental, o que mantém risco residual de conversão mesmo sob proteção legal. A metodologia reconhece esse descompasso e estabelece critérios objetivos para elegibilidade, medição e verificação, de modo a converter esforço de conservação em resultados auditáveis e monetizáveis sem substituir obrigações legais.

Esta metodologia parte do reconhecimento de que as fazendas são vetores de estabilidade climática. Ao remunerar estoques de carbono mantidos sob risco e esforço contínuo — sem substituir obrigações legais —, a abordagem transforma a conservação de um custo recorrente em oportunidade econômica verificável, reposicionando as propriedades rurais como agentes estratégicos da solução climática brasileira e global.

O valor das florestas em pé e das plantações perenes

Esta metodologia recoloca a vegetação conservada no centro da ação climática, reconhecendo seu papel contínuo como reservatórios ativos de carbono. Não trata a conservação como ausência de intervenção humana: manter esses ecossistemas requer gestão ativa, resiliência operacional e resposta a riscos recorrentes. Além do desmatamento, é necessário lidar com formas de degradação frequentemente subestimadas, como queimadas de sub-bosque, extração seletiva e expansões graduais internas à propriedade. Essa gestão não apenas mitiga a degradação, como também preserva um conjunto de serviços ecossistêmicos essenciais — regulação hídrica, proteção do solo, suporte à biodiversidade e estabilidade microclimática.

Medir isoladamente cada um desses serviços é, contudo, complexo e custoso. Por isso, esta metodologia reconhece os estoques e fluxos de carbono como métrica integradora e operacional da funcionalidade ecológica que, além de estruturar os mercados climáticos, está diretamente associada a esses serviços ecossistêmicos. O carbono funciona como indicador robusto porque se correlaciona com a estrutura e a produtividade da vegetação, a matéria orgânica e a estabilidade do solo, a interceptação de chuva, o sombreamento e a conectividade funcional. Essa correlação torna visíveis cobenefícios historicamente

submensurados (biodiversidade, água, saúde do solo) e orienta decisões baseadas em evidência e integridade.

Nesse enquadramento, ecossistemas nativos concentram grandes volumes de carbono em biomassa e solos profundos, mantêm cadeias ecológicas complexas e favorecem a regulação hidrológica — atributos que, capturados pelo indicador de carbono, expressam com boa confiabilidade a integridade ambiental de uma paisagem.

De modo complementar, sistemas agrícolas perenes — como café, cacau, citros e seringueira, entre outros — embora não repliquem a biodiversidade dos ecossistemas nativos, constituem alternativa de longo prazo alinhada ao clima para áreas hoje ocupadas por culturas de ciclo curto ou pastagens degradadas. Sua longevidade favorece o sequestro e o armazenamento continuado de carbono na vegetação e no solo; sistemas radiculares profundos estabilizam o solo e elevam a retenção hídrica; a cobertura contínua de copas reduz a erosão e apoia a regulação microclimática, incrementando estoques no subsolo e a conectividade funcional em paisagens produtivas.

Ao reconhecer essas dinâmicas, a metodologia rompe com o paradigma tradicional aplicado ao setor AFOLU e adota uma lógica de mérito climático ancorada na manutenção da integridade ecológica e no reconhecimento da vulnerabilidade real das áreas conservadas, ao mesmo tempo em que valoriza arranjos produtivos perenes capazes de conciliar conservação e produção.

A urgência de inovação nas abordagens climáticas

O Brasil vive um ponto de inflexão. Apesar de avanços em políticas e monitoramento, o desmatamento e a degradação da vegetação nativa seguem pressionando metas ambientais, fragilizando economias rurais e reduzindo a resiliência dos ecossistemas. Sem mecanismos eficazes de compensação aos produtores que preservam paisagens ricas em carbono, o uso da terra tende a trajetórias de degradação.

Essa realidade exige novas abordagens. A estrutura contábil proposta permite monetizar o carbono já estocado e orientar melhorias produtivas com métricas confiáveis. Em vez de olhar apenas para áreas nativas, a metodologia considera toda a fazenda — lavouras, pastagens, áreas conservadas e em regeneração — gerando um balanço líquido mais representativo, verificável e aderente à diversidade agrícola brasileira. Os resultados são publicados com séries temporais reproduzíveis, metas e limites de incerteza documentados, e auditoria independente anual.

Crucialmente, a metodologia não exige compromissos de 30, 50 ou 100 anos. Em vez disso, adotam-se ciclos plurianuais renováveis de cinco anos, com reavaliação de linhas de base e verificação anual da manutenção dos estoques. Essa lógica viabiliza permanência proporcional e condicionada, com pagamentos escalonados ao desempenho. Garante rastreabilidade contínua e resposta pragmática aos riscos do campo. Eventos de reversão (ex.: fogo, perda de biomassa) geram ajustes proporcionais imediatos conforme regras de permanência e buffer de risco.

O sistema de MRV é orientado por sensoriamento remoto validado por instituições científicas. A priorização de sensoriamento remoto amplia a transparência, reduz vieses amostrais, cobre propriedades fragmentadas e detecta variações dentro de um mesmo fragmento de vegetação, capturando nuances estruturais e funcionais. Os algoritmos, fontes de dados e parâmetros de classificação/detecção serão documentados e versionados, permitindo replicação e auditoria.

Por fim, a metodologia reposiciona o produtor rural como provedor de soluções climáticas. Ao direcionar recursos a quem mantém e maneja as paisagens mais ricas em carbono, cria-se um caminho claro para reconhecimento ambiental e valorização econômica baseados em evidência, mérito técnico e justiça climática.

Marco Legal e alinhamento nacional

Esta metodologia está plenamente alinhada com o arcabouço político-ambiental brasileiro e com a agenda nacional de mitigação das mudanças climáticas. Contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas e apoia-se nos instrumentos legislativos mais atuais e abrangentes, oferecendo uma base jurídica sólida para o reconhecimento, certificação e monetização dos benefícios climáticos gerados no meio rural. Isso inclui tanto a conservação e recuperação da vegetação nativa quanto o balanço de carbono integral de propriedades rurais.

Fundamentação Legal 1: Lei nº 15.042/2024 — Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE)

Esta lei federal institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), que constitui o marco regulatório oficial para a geração, registro e comercialização de ativos de carbono verificados no Brasil. A norma confere segurança

jurídica aos projetos de carbono que promovem tanto a redução de emissões quanto a conservação de estoques de carbono em paisagens rurais.

Art. 1º – Instituição do SBCE “Esta Lei institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SBCE [...]”

Estabelece a plataforma nacional regulatória para geração e comercialização de ativos de carbono verificados no Brasil.

Art. 2º, IV – Definição de Ativos de Carbono “Ativos de Carbono são os instrumentos representativos da redução ou remoção verificável de gases de efeito estufa da atmosfera.”

Reconhece explicitamente remoções de carbono do solo e da biomassa como instrumentos válidos.

Art. 3º – Objetivos do Sistema “Fomentar investimentos em tecnologias e práticas de baixo carbono; incentivar a conservação de estoques de carbono naturais.”

Reforça o alinhamento da metodologia com práticas agroecológicas, conservação florestal e estratégias de mitigação de emissões.

Art. 6º – Atividades Elegíveis “São consideradas elegíveis [...] a remoção de gases de efeito estufa [...] o aumento de estoques de carbono em biomassa e solos.”

Confirma a elegibilidade legal das práticas abrangidas pela metodologia.

Art. 9º – Registro Eletrônico “Os ativos [...] deverão ser registrados [...] garantindo sua rastreabilidade e transparência.”

Garante a emissão rastreável de créditos via sistemas digitais seguros.

Art. 13º – Padrões Metodológicos “As metodologias [...] deverão atender a padrões internacionais de transparência, precisão, completude [...]”

Respaldam o uso de contabilidade conservadora de carbono, abordagem por propriedade completa, e forte integridade de dados.

Art. 17º – Integração com PSA e REDD+ “O SBCE poderá integrar iniciativas de pagamento por serviços ambientais [...]”

Confirma a compatibilidade com programas nacionais como o Floresta+ e com iniciativas jurisdicionais de REDD+.

Fundamentação Legal 2: Lei No. 14.119/2021 — Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA). Esta legislação define os princípios e instrumentos da PNPSA, servindo como pedra angular da política para a avaliação e remuneração de serviços ecossistêmicos, incluindo o sequestro de carbono e o aprimoramento de estoques.

Art. 1º – Reconhecimento da Conservação “Esta Lei institui a PNPSA, com o objetivo de reconhecer a conservação dos ecossistemas como atividade de interesse público.”

Reforça juridicamente o objetivo central do projeto: remunerar a conservação e o manejo ativo de serviços ecossistêmicos.

Art. 3º, II – Serviços Ambientais Elegíveis “Sequestro, conservação e melhoria do estoque de carbono.”

Inclui explicitamente os serviços climáticos chave da metodologia como elegíveis para compensação financeira.

Art. 6º – Modalidades de Pagamento “Incentivos diretos por serviços ambientais, inclusive com recursos públicos ou de mercados voluntários.”

Viabiliza fluxos de receita híbridos — tanto de programas públicos de PSA quanto de mercados voluntários de carbono.

5. ESTRUTURA CONCEITUAL E DEFINIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE GEE

Esta seção fornece os elementos conceituais necessários para interpretar e aplicar a abordagem de contabilização de carbono desta metodologia. Inclui definições claras dos principais termos utilizados ao longo do documento, uma lista padronizada de siglas que abrangem terminologia técnica, além de uma visão geral conceitual sobre métricas de GEE, fatores de conversão e os níveis metodológicos aplicados à quantificação e relato de emissões.

5.1. Definições

Adicionalidade: A condição pela qual os benefícios climáticos — como a manutenção ou o aumento dos estoques de carbono — são reconhecidos como elegíveis para geração de créditos por resultarem de ações definidas que vão além das práticas usuais de uso da terra. Nesta metodologia, a adicionalidade inclui tanto a prevenção do desmatamento e degradação, quanto a remoção ativa de carbono, demonstradas por meio de comparações com regiões de referência em termos espaço-temporais, climáticos e socioeconômicos e ancorada em marcos legais nacionais.

CPR Verde: título de crédito lastreado na Cédula de Produto Rural instituída pela Lei nº 8.929/1994 (CPR) e regulamentado, para atividades de conservação e recuperação de florestas nativas e de seus biomas, pelo Decreto nº 10.828/2021. Vincula-se a ativos ou serviços ambientais gerados na propriedade rural (p.ex., conservação e recuperação de vegetação nativa, manejo sustentável, redução de emissões e aumento de remoções de carbono) e funciona como instrumento financeiro que permite ao produtor rural antecipar recursos junto a investidores ou instituições financeiras, mediante compromisso contratual de entrega ou manutenção das condições ambientais pactuadas.

Crédito de Carbono: Unidade representando a remoção ou a não emissão de uma (1) tonelada métrica de CO₂ equivalente (t CO₂eq), verificada e emitida sob regras de um programa de certificação.

Estoque de Carbono: Quantidade de carbono contida em uma reserva em um dado momento, expressa em toneladas de carbono ou CO₂ equivalente.

Fator de Emissão: Coeficiente que quantifica as emissões ou remoções por unidade de atividade, com base em dados do IPCC ou regionais.

Florestas em Pé: Vegetação nativa que não sofreu distúrbios recentes e que continua a prover serviços climáticos, ecológicos e culturais. Reconhecida por esta metodologia como sumidouro ativo de carbono e como ativo estratégico de permanência e integridade climática.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística): Órgão federal responsável pela produção, análise e disseminação de dados geográficos, estatísticos, demográficos e socioeconômicos do Brasil. Suas bases cartográficas e informações territoriais — como malhas municipais, limites administrativos, classificações urbanas e zonas censitárias — são amplamente utilizadas como referência oficial em estudos espaciais, planejamento público e validação de dados em projetos ambientais e de uso da terra.

Insetting: Redução ou remoção de GEE dentro da própria cadeia de valor de uma empresa, comumente usada para mitigação de emissões do Escopo 3 e compromissos de sustentabilidade. Requer rastreabilidade completa até pelo menos o primeiro destinatário na cadeia, conforme SBTi FLAG.

Limites de GEE: Conjunto de todas as fontes e sumidouros de GEE dentro dos limites espaciais, operacionais e temporais do projeto. Devem ser explicitamente documentados para garantir completude e consistência com o GHG Protocol.

Linha de base: Representa um cenário de uso da terra, emissões de GEE e estoques de carbono no contexto da fazenda e de sua região de referência. Baseia-se em dados observados nos cinco anos anteriores ao início, incluindo tendências da propriedade e da região de referência. Serve como base para evidenciar os benefícios líquidos de carbono e deve ser atualizado a cada cinco anos.

MapBiomass: Iniciativa multi-institucional brasileira que produz séries históricas anuais de mapas de uso e cobertura da terra a partir de imagens de satélite, com base em metodologia padronizada, transparente e de código aberto. Os dados do MapBiomass são amplamente utilizados para monitoramento ambiental no Brasil, formulação de políticas públicas e análises de sustentabilidade, oferecendo cobertura nacional em alta resolução temporal (desde 1985) e espacial (30 metros), com classificação temática validada por especialistas.

Offsetting: Uso de reduções ou remoções de emissões verificadas provenientes de projetos externos para compensar as emissões de uma determinada entidade. A compensação deve respeitar princípios de adicionalidade, permanência e ausência de dupla contagem.

Período de Crédito: O período durante o qual os benefícios climáticos verificados são elegíveis para emissão como créditos de carbono. Esta metodologia adota ciclos de crédito renováveis de cinco anos, que podem ser prorrogados desde que as condições do projeto sejam mantidas ou aprimoradas e todas as partes envolvidas permaneçam em acordo.

Permanência: Duração esperada do armazenamento de carbono, considerando risco de reversão. Nesta metodologia, a permanência não é fixada por um horizonte especulativo e arbitrário (por exemplo, “100 anos”). Ela é produzida por verificação anual e auditorias plurianuais, com reavaliações de linha de base e ciclos de projeto renováveis, ancorando créditos em observações recentes e permitindo correções conservadoras. No Brasil, o regime do Código Florestal — Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APP) — impõe salvaguardas contínuas sobre grande parte das propriedades, o que, combinado ao monitoramento, eleva a durabilidade efetiva dos estoques sem recorrer a projeções especulativas. Eventos de reversão são tratados por mecanismos de buffer e deduções proporcionais.

Project Design Document – PDD (Documento de Concepção do Projeto): Documento central de referência de cada projeto, que descreve seus limites, linha de base, critérios de adicionalidade, métodos de quantificação de estoques, remoções e emissões, plano de monitoramento e mecanismos de gestão de risco. No contexto desta metodologia, o PDD deve incluir todos os insumos, modelos, fatores de emissão, versões de dados e scripts utilizados, assegurando plena rastreabilidade, verificabilidade por terceiros (VVB) e compatibilidade com padrões nacionais e internacionais de MRV. Para projetos de *insetting*, o PDD deve ainda comprovar a rastreabilidade na cadeia de custódia, identificando ao menos o primeiro destinatário dos produtos vinculados, de modo a garantir transparência na aplicação dos créditos dentro da própria cadeia de valor.

Região de Referência: Área jurisdicional definida utilizada para analisar tendências regionais de uso do solo, pressões de desmatamento e vulnerabilidades climáticas. Dá suporte à avaliação de adicionalidade e permanência. Sua definição deve ser justificada e documentada, assegurando comparabilidade e transparência.

Reservatório de Carbono: Sistema que armazena carbono, como biomassa aérea e subterrânea, madeira morta, serapilheira e carbono orgânico no solo. A metodologia inclui apenas alguns desses compartimentos.

Serviços Ecológicos: Benefícios fornecidos pelos ecossistemas, como regulação climática, purificação da água, controle da erosão, biodiversidade e valores culturais.

Sumidouro de Carbono: Processo ou mecanismo que remove GEE da atmosfera e os armazena em reservatórios como biomassa ou solo.

Verificação de projeto: Avaliação independente realizada por terceira parte que confirma a conformidade das atividades do projeto e da contabilidade de carbono com a metodologia e os requisitos do programa de certificação. Inclui a auditoria das informações (sejam eles dados primários, secundários e análises derivadas), rastreabilidade, e a aplicação de amostragem estatística conforme normas de auditoria internacional.

5.2. Siglas

AFOLU (*Agriculture, Forestry and Other Land Uses*): Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra.

AGB (*Above-ground Biomass*): Biomassa acima do solo.

APP: Área de Preservação Permanente.

BGB (*Below-ground Biomass*): Biomassa abaixo do solo.

CAR: Cadastro Ambiental Rural.

CO₂: Dióxido de Carbono.

CO₂eq: Equivalente de Dióxido de Carbono.

CPR Verde: Cédula de Produto Rural Verde (instrumento financeiro atrelado a serviços ambientais).

DETER: Detecção de Desmatamento em Tempo Real.

ESRI (*Environmental Systems Research Institute*): Instituto internacional especializado em sistemas de informação geográfica (GIS).

FLAG (*Forest, Land and Agriculture*): Setor do SBTi que cobre florestas, uso da terra e agricultura.

GEE: Gás de Efeito Estufa.

GHG Protocol (*Greenhouse Gas Protocol*): Protocolo de Gases de Efeito Estufa, padrão internacional de contabilidade de emissões.

GWP (*Global Warming Potential*): Potencial de Aquecimento Global.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

ICVCM (*Integrity Council for the Voluntary Carbon Market*): Conselho de Integridade para o Mercado Voluntário de Carbono.

IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*): Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.

MTE: Ministério do Trabalho e Emprego.

MRV (*Monitoring, Reporting and Verification*): Monitoramento, Relato e Verificação.

N₂O: Óxido Nitroso.

PDD (*Project Design Document*): Documento de Concepção do Projeto.

PSA: Pagamento por Serviços Ambientais.

PNPSA: Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.

PRODES: Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite.

REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*): Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal.

RL: Reserva Legal.

R:S (*Root-to-Shoot Ratio*): Razão entre parte aérea e subterrânea das plantas.

SBCE: Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE.

SBTi (*Science Based Targets initiative*): Iniciativa de Metas Baseadas na Ciência.

SOC (*Soil Organic Carbon*): Carbono Orgânico do Solo.

UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*): Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

VVB (*Validation and Verification Body*): Entidade de Validação e Verificação.

5.3. Métricas de GEE e Conversões

5.3.1. Potencial de Aquecimento Global (GWP)

As emissões são reportadas para os principais gases de efeito estufa (GEE) associados às atividades agrícolas: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Esses gases são reconhecidos como os principais contribuintes das emissões na propriedade decorrentes da produção de bens agrícolas. Para padronizar os relatórios, as emissões de

cada gás são convertidas em toneladas de CO₂ equivalente (CO₂eq), utilizando os valores de Potencial de Aquecimento Global (GWP) para 100 anos fornecidos Grupo de Trabalho I do Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC (Material Suplementar, Capítulo 7, Tabela 7.SM.7):

- Dióxido de carbono (CO₂): GWP = 1
- Metano (CH₄): GWP = 27,9
- Óxido nitroso (N₂O): GWP = 273

Ao aplicar esses valores de GWP, as emissões de diferentes gases são expressas em uma métrica unificada, permitindo comparação e agregação consistentes das contribuições dos GEE. A metodologia adota o AR6 como padrão, podendo ser atualizada caso futuras revisões oficiais do IPCC sejam publicadas.

5.3.2. Conversão de Emissões para Relatórios de GEE

As emissões originalmente reportadas em termos de carbono (C) ou nitrogênio (N) elementares são convertidas para suas formas gasosas correspondentes usando as seguintes proporções de peso molecular:

- 1 tonelada de CH₄-C = $\left(\frac{16}{12}\right) \times 1$ tonelada de CH₄ = 1,33 tonelada de CH₄;
- 1 tonelada de N₂O-N = $\left(\frac{44}{28}\right) \times 1$ tonelada de N₂O = 1,57 tonelada de N₂O;
- 1 tonelada de C = $\left(\frac{44}{12}\right) \times 1$ tonelada de CO₂ = 3,67 toneladas de CO₂;

6. CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

A metodologia se aplica a propriedades rurais que desejam reivindicar créditos climáticos resultantes da conservação contínua de vegetação nativa, da recuperação florestal, do manejo ativo de ecossistemas e da implementação de práticas agrícolas de longo prazo com balanço de carbono positivo. Também é compatível com iniciativas jurisdicionais ou voluntárias que incluam Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) ou REDD+ sob marcos mais amplos que reconhecem estoques existentes e desempenho climático integral da paisagem.

A elegibilidade está condicionada ao cumprimento simultâneo dos critérios descritos a seguir:

- O projeto não deve resultar na violação de nenhuma lei ambiental, trabalhista ou fundiária aplicável, incluindo aquelas já aprovadas e com vigência estabelecida durante o período do projeto.
- Os projetos podem ser implementados por qualquer parte interessada com acesso legal ou direitos de gestão, incluindo proprietários de terras, cooperativas, comunidades, ONGs, empresas privadas ou governos nacionais e locais;
- A área do projeto não deve estar sujeita a nenhum outro projeto de carbono AFOLU, esteja ele registrado, em desenvolvimento ou planejado, durante o período de implementação ou de geração de créditos do projeto atual, nem gerar créditos simultaneamente em mais de um programa ou registro, exceto quando claramente permitido por normas internacionais (ex.: Art. 6 do Acordo de Paris);
- Áreas do projeto que se sobreponham, total ou parcialmente, a títulos ou concessões minerárias registrados na Agência Nacional de Mineração (ANM) — incluindo requerimentos/autorizações de pesquisa, concessões de lavra, guias de utilização e respectivas servidões/faixas de infraestrutura — são inelegíveis para contabilização de estoques, reduções/remissões de GEE e geração de créditos enquanto perdurar a vigência desses títulos; a elegibilidade somente poderá ser restabelecida mediante comprovação documental da extinção/cancelamento do título e da inexistência de restrições minerárias vigentes sobre a área.
- O proponente do projeto deve ter autorização clara e verificável para operar dentro da área designada. O projeto também deve estar devidamente regulamentado e não deve sobrepor-se a Unidades de Conservação ou territórios oficialmente reconhecidos de comunidades Indígenas ou Quilombolas;

- Fragmentos de vegetação nativa só serão elegíveis se estiverem devidamente registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR), identificados como Área de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal ou polígono reconhecido como Vegetação Nativa remanescente.
- Para áreas de vegetação nativa, são elegíveis à contabilização de estoques de carbono apenas os fragmentos que não sofreram supressão após 22 de julho de 2008, conforme o disposto no Art. 68 da Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal). Fragmentos desmatados após essa data podem ser incluídos em atividades de restauração (desde que a supressão não tenha ocorrido nos últimos 10 anos anteriores ao início do projeto), mas são excluídos da geração de créditos relacionados ao estoque histórico de carbono. É importante ressaltar que a existência dessas áreas não invalida a elegibilidade da fazenda como um todo, nem compromete outros fragmentos nativos plenamente conformes.
- Os proprietários de terras devem garantir condições de trabalho justas, incluindo contratos formais de trabalho, remuneração adequada e pleno respeito aos direitos humanos; comprovadas por certidões trabalhistas e avaliação de passivos sociais. Isso inclui comprovar inexistência de pendências trabalhistas, consulta ao Cadastro de Empregadores que tenham submetido trabalhadores a condições análogas à de escravo (“Lista Suja”) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), e respeito aos direitos de povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais, conforme normas nacionais e internacionais;
- Projetos são elegíveis independentemente da presença de culturas perenes — por exemplo, propriedades com apenas vegetação nativa, culturas anuais ou criação de animais também são elegíveis;
- O limite do projeto pode incluir uma ou várias áreas de implementação, contíguas ou não, desde que atendam a todas as condições acima.

Para reforçar a credibilidade e a transparência, a documentação de apoio que comprove a conformidade com esses requisitos deve ser compilada e incluída em um anexo específico, acessível apenas ao organismo de certificação devido à natureza confidencial das informações. Embora esses documentos não sejam divulgados publicamente, eles servem como evidência sólida de conformidade com os requisitos legais, ambientais e sociais, fortalecendo ainda mais a credibilidade do projeto e sua aceitação no mercado de carbono (ver Tabela 1).

Tabela 1. Diretrizes Técnicas para Verificação de Elegibilidade – Documentação e Localização do Projeto

Documentação	
Documentos do Titular	Apresentar documentação de identificação do responsável legal pela área do projeto. Para pessoas físicas: cópia legível do CPF e de documento de identidade oficial (RG ou CNH). Para pessoas jurídicas: comprovante de inscrição no CNPJ, contrato ou estatuto social consolidado e documento que comprove os poderes de representação legal. Para associações ou cooperativas: ata de assembleia vigente que autorize a participação no projeto, acompanhada do estatuto social e do documento de identificação dos representantes legais.
Cadastro Ambiental Rural (CAR)	Apresentar comprovante de inscrição da área no Sistema do Cadastro Ambiental Rural (CAR), acompanhado do respectivo arquivo vetorial georreferenciado da propriedade (formato <i>shapefile</i>).
Título de propriedade, posse ou contrato de arrendamento	Deverá ser apresentado documento hábil que comprove, de forma legítima e atualizada, o domínio, a posse ou a cessão onerosa da área do projeto, tais como matrícula do imóvel, transcrição do registro, contrato de arrendamento vigente, escritura pública, termo de cessão de uso ou outro documento legalmente válido.
Regularidade ambiental da propriedade	Apresentar declaração e documentação comprobatória de regularidade junto aos órgãos ambientais competentes (municipais, estaduais e federais), incluindo a verificação de embargos, autos de infração, passivos e outras restrições que possam afetar a elegibilidade. Na existência de pendências, serão admitidos casos em fase de regularização desde que o processo esteja formalmente instaurado (ex., protocolo ativo, inscrição no CAR, adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA), Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) firmado, Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD)/licenciamento em andamento), ou instrumentos/documentação equivalentes na jurisdição aplicável, com manutenção de comprovantes atualizados.
Certidões trabalhistas e avaliação de passivos sociais	Realizar consulta e anexar comprovantes atualizados da inexistência de pendências, incluindo: (i) verificação do Cadastro de Empregadores que tenham submetido trabalhadores a condições análogas à de escravo (“Lista Suja”), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE); e (ii) Certidão Eletrônica de Ações Trabalhistas (CEAT), emitida pela Justiça do Trabalho
Localização do Projeto	
Sobreposição com Áreas Protegidas	Realizar análise espacial para identificar sobreposições entre a área do projeto e zonas legalmente protegidas ou com restrições de uso. Devem ser obrigatoriamente verificados: (I) Áreas Embargadas (Ibama e órgãos estaduais); (II) Territórios Indígenas; (III) Territórios Quilombolas; (IV) Unidades de Conservação (UCs); e (V) registros de Infrações Ambientais. A análise deve ser baseada em dados oficiais e atualizados.
Sobreposição com Concessões Minerárias	Realizar análise espacial com a base oficial do SIGMINE, mantida pela Agência Nacional de Mineração (ANM) — autarquia federal responsável por regular, fiscalizar e gerir os direitos minerários no Brasil. Utilizar os arquivos vetoriais publicados no Portal de Dados Abertos do SIGMINE (títulos/autorizações em requerimento, pesquisa, lavra etc.), registrando data de obtenção e versão do conjunto de dados.

Histórico de Desmatamento e Uso da Terra	Avaliar a ocorrência de desmatamento em áreas de vegetação nativa com base na data de corte legal de 22 de julho de 2008, conforme o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Para fundamentar a elegibilidade e estabelecer as linhas de base de emissões, remoções e estoques, é necessário realizar o mapeamento do uso e cobertura do solo na área do projeto. As avaliação deve ser baseada em evidências técnico-científicas, tais como séries temporais de imagens de satélite, registros cartográficos oficiais, dados geoespaciais públicos e documentos que comprovem o histórico de uso e cobertura da terra no período analisado.
---	---

7. LIMITES DO PROJETO

Esta seção define os limites espaciais, temporais e contábeis de carbono do projeto. A definição clara desses limites é essencial para garantir consistência na elegibilidade das terras, na definição da linha de base, na quantificação de GEE e na atribuição dos resultados de mitigação às atividades do projeto.

7.1. Limites Espaciais

7.1.1. Área do Projeto

A área do projeto abrange toda a extensão espacial de cada propriedade participante, conforme definida por polígonos georreferenciados submetidos por meio do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Adota-se uma abordagem de propriedade integral para garantir que todos os usos da terra, fontes potenciais de emissão e sumidouros de carbono sejam plenamente contabilizados no balanço de carbono do projeto. O sistema de referência de coordenadas (CRS) adotado deve ser explicitado, e quaisquer transformações ou projeções realizadas devem ser registradas e documentadas.

Antes da classificação do uso/cobertura da terra na área do projeto, as seguintes categorias de uso do solo devem ser identificadas, isoladas e excluídas do cálculo das áreas nativas e agrícolas:

- Infraestruturas construídas (ex.: vias pavimentadas, residências, galpões, currais)
- Corpos d'água permanentes (ex.: lagos, rios, açudes)
- Áreas de servidão pública (ex.: zonas legalmente designadas para servidão administrativa)

Essas áreas excluídas devem ser claramente isoladas das áreas nativas e agrícolas nos conjuntos de dados espaciais, mesmo que tenham sido originalmente incluídas nos polígonos do CAR submetidos para o projeto. A identificação e o isolamento dessas áreas podem ser feitos com base nos dados raster mais recentes e de alta resolução de uso e cobertura da terra disponíveis no momento da submissão do projeto (como Projeto MapBiomas, PRODES/DETER, mapas base da *Environmental Systems Research Institute* – ESRI, ou fontes equivalentes reconhecidas), e informações espaciais oriundas de *shapefiles* do CAR ou mapas equivalentes da propriedade. Quando houver divergência entre fontes, deverá ser adotada uma hierarquia de dados documentada (preferência para fontes oficiais/validadas), com registro das decisões. Poderão ser utilizadas reclassificações por técnicas de aprendizado de máquina (por exemplo, com imagens Sentinel), desde que todo o processo, parâmetros e produtos finais estejam integralmente documentados e versionados.

A área do projeto restante e elegível deve ser então classificada em duas categorias principais de uso da terra:

7.1.1.1. Áreas de Vegetação Nativa

Todos os ecossistemas naturais — incluindo florestas, savanas, áreas úmidas e outras formações de vegetação nativa — devem ser mapeados e classificados em categorias homogêneas com base em suas características estruturais e funcionais. Para fins de contabilização de carbono, cada tipo de vegetação nativa deve atender aos seguintes critérios:

- **Estratificação Ecológica:** As formações vegetais devem ser estratificadas de acordo com sua classificação ecológica (ex., florestas, savanas, áreas úmidas), utilizando como referência mapas oficiais e reconhecidos, como os Mapas de Vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as Camadas de Vegetação Nativa do MapBiomas ou outras fontes técnico-científicas equivalentes;
- **Representação Espacial Distinta:** Cada classe de vegetação deve ser representada como polígono individualizado no conjunto de dados geoespaciais do projeto, permitindo a identificação única de suas características e sua contabilização separada nas estimativas de gases de efeito estufa (GEE);

- **Quantificação Segregada de GEE:** As diferentes formações devem ser avaliadas separadamente na quantificação de remoções e estoques de carbono, respeitando suas especificidades ecológicas;
- **Comprovação de Elegibilidade Legal:** As áreas devem estar respaldadas por evidências técnico-científicas e cartográficas que atestem a ausência de supressão de vegetação nativa após 22 de julho de 2008, conforme definido no Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Apenas áreas que atendam a esse critério são elegíveis para contabilização de estoques de carbono. Para a elegibilidade de remoções da vegetação nativa, a supressão não pode ter ocorrido nos últimos 10 anos anteriores ao início do projeto.

7.1.1.2. Áreas Agrícolas

As áreas agrícolas incluídas no projeto devem ser mapeadas e georreferenciadas, compondo unidades de manejo coerentes em termos de uso da terra, tipo de cultivo e práticas predominantes. Essas unidades serão utilizadas na estimativa de emissões de GHG e remoções de carbono.

Classificação das áreas agrícolas:

As áreas agrícolas devem ser classificadas nas seguintes categorias:

- Culturas anuais: definidas pela presença de culturas de ciclo curto (ex.: soja, milho, feijão, algodão, entre outras), devendo ser identificadas por tipo específico de cultura;
- Culturas perenes: definidas por espécies de longa duração (ex.: café, citros, cacau e seringueira, entre outras), devendo ser classificadas por espécie e idade do plantio, visto que a dinâmica de biomassa e carbono varia conforme o estágio. Plantios em reforma devem ser indicados separadamente;
- Pastagens: áreas destinadas ao pastejo de animais, em sistemas extensivos ou intensivos. Devem ser descritas as práticas de manejo predominantes, como extensivo, rotação, reforma de pasto ou adubação.

Informações recomendadas para cada unidade de manejo:

- Geometria espacial da área (*shapefile*);
- Tipo predominante de uso (cultura ou pastagem);
- Práticas gerais de manejo (preparo de solo, adubação, irrigação, cobertura do solo);
- Histórico de uso (quando aplicável: irrigação; tipo/dose de fertilizante nitrogenado; podas e destinação da biomassa; pós-colheita/beneficiamento — p.ex., secagem/limpeza/energia; práticas de queima).

Mudanças sazonais (como rotação de culturas) não invalidam a unidade de manejo, desde que a consistência geral do uso e manejo seja mantida. Nestes casos, a justificativa deve ser apresentada.

7.1.2. Região de Referência

A Região de Referência fornece o contexto espacial e jurisdicional mais amplo para a avaliação das dinâmicas de uso da terra, pressões ambientais e riscos climáticos relevantes ao projeto. Sua função é sustentar, com base empírica e territorial, os critérios de adicionalidade e o delineamento da linha de base.

Nesta metodologia, cada Região de Referência deve refletir o contexto ecológico e administrativo da área de projeto, observando que:

- Projetos com uma única área contígua ou com múltiplas áreas relativamente próximas (por exemplo, localizadas na mesma mesorregião ou em unidade administrativa coesa) podem adotar uma única Região de Referência, desde que ela englobe todas as áreas de projeto de forma representativa.
- Projetos com áreas múltiplas e dispersas, especialmente quando localizadas em estados, biomas ou contextos distintos, devem definir Regiões de Referência separadas, uma para cada agrupamento coerente.

Cada Região de Referência deve:

- Ser uma unidade espacial contínua ou uma área coerente do ponto de vista jurisdicional, ecológico ou fundiário;
- Estar inserida no mesmo bioma, zona agroclimática ou região administrativa da(s) fazenda(s) correspondente(s);

- Ter ao menos 50 vezes a área total da(s) propriedade(s) que representa;

Uma caracterização descritiva do clima, do solo, da vegetação e da dinâmica de uso da terra deve ser elaborada para cada Região de Referência. Essa descrição apoia a seleção de fatores de emissão (ex.: distinção entre climas úmidos e secos) e fornece o contexto ambiental necessário para interpretar a distribuição da vegetação, os níveis de estoque de carbono, a dinâmica temporal e as taxas comparativas de sequestro ou emissão. Ela também reforça a transparência e a credibilidade das suposições de modelagem, das projeções de linha de base e das comparações de cenários.

A caracterização climática deve incluir, no mínimo: precipitação média anual, temperatura média anual e registro de eventos climáticos extremos (ex.: secas, enchentes e ondas de calor). Recomenda-se fortemente a inclusão da variabilidade interanual, da sazonalidade climática e/ou da classificação climática por zonas (ex.: tipos de Köppen). Em conformidade com a Atualização de 2019 das Diretrizes do IPCC de 2006 para Inventários Nacionais de GEE, o clima também deve ser classificado como úmido ou seco — uma distinção essencial para a seleção de fatores de emissão. Em zonas tropicais, considera-se clima úmido aquele com precipitação anual superior a 1.000 mm, e clima seco aquele com precipitação inferior a 1.000 mm (ver Figura 3A.5.1, Capítulo 3, Volume 4 das Diretrizes do IPCC). Outras classificações poderão ser utilizadas, desde que amparadas por documentação comprobatória e justificativa técnica.

Para a caracterização do solo — que pode se basear nos dados mais recentes e confiáveis disponíveis, dada sua relativa estabilidade temporal — devem ser incluídas, no mínimo, as seguintes variáveis: classes dominantes de solo, textura (percentual de areia, silte e argila) e pH.

A descrição ecológica e do uso da terra deve identificar os tipos predominantes de vegetação e os atributos ecológicos relevantes para a Região de Referência, incluindo o bioma em que o projeto se insere, as formações vegetais dominantes e o histórico de conversão de uso da terra. Recomenda-se analisar indicadores como: (i) a proporção atual de vegetação nativa remanescente em relação à cobertura atual do bioma; (ii) percentual de áreas protegidas em unidades de conservação; (iii) as taxas anuais de desmatamento; (iv) o histórico de queimadas. Devem ser explicitados os anos analisados, as coleções/versões utilizadas, as fontes de dados e os endereços de acesso (links), de forma a permitir reprodutibilidade.

Esses indicadores fornecem base empírica para a avaliação de vulnerabilidades ambientais e ajudam a construir a adicionalidade dos projetos. Por exemplo, regiões com cobertura

vegetal significativamente inferior à média do bioma, com alta pressão antrópica recente ou com recorrência de eventos extremos podem justificar, de forma objetiva, o risco futuro de conversão e, portanto, a elegibilidade de ações de conservação como atividades adicionais.

Todos os dados sobre clima, solo, vegetação e uso da terra podem ser obtidos a partir de bases públicas reconhecidas, como SoilGrids 2.0, Mapa de Solos do Brasil, MapBiomass, PRODES, BDQueimadas, IBGE ou fontes equivalentes validadas por instituições científicas ou governamentais. Sempre que utilizada fonte privada (por exemplo, provedor comercial), sua metodologia e validação deverão ser descritas em anexo técnico.

7.2. Limites Temporais

A data de início do projeto corresponde ao marco inicial das atividades de manejo da terra elegíveis voltadas à mitigação de gases de efeito estufa (GEE).

- **Para projetos de restauração, reflorestamento ou manejo ativo:** considera-se a data em que foram iniciadas as primeiras intervenções materiais na área (ex.: preparo do solo, plantio, cercamento, controle de espécies invasoras).
- **Para projetos exclusivamente de conservação:** a data de início é a do marco de monitoramento definido no PDD, a partir da qual se comprova, por sensoriamento remoto, a manutenção dos estoques nas áreas do projeto. Evidência mínima: (i) série de imagens datadas (p.ex., Landsat/Sentinel) sustentando a condição reportada; e (ii) declaração do proponente sobre o início e a continuidade da conservação

Para fins de validação de projetos exclusivamente de conservação e evitar *retroactive crediting* (créditos retroativos), o marco inicial não poderá ser anterior a 24 meses da primeira formalização com uma Entidade de Validação e Verificação (VVB), como a submissão do Documento de Concepção de Projeto. Exceções poderão ser aceitas apenas mediante justificativa técnica e evidência documental que demonstre a continuidade e integridade das ações de manejo desde o início reivindicado, sem interrupções temporais significativas. Exceções aprovadas deverão ser explicitamente relatadas no PDD.

O período de crédito é estabelecido em ciclos de cinco anos, sendo renovável enquanto as condições do projeto forem mantidas ou aprimoradas, e todas as partes envolvidas permanecerem em acordo. Os créditos de carbono são emitidos com base no desempenho verificado dentro de cada ciclo e estão condicionados à verificação por terceira parte realizada por uma VVB credenciada.

O monitoramento deve ocorrer anualmente e abranger:

- Alterações nos estoques de carbono e nas remoções (sequestro) — em vegetação nativa e sistemas perenes, com identificação de reversões quando houver;
- Fontes de emissão associadas às atividades agrícolas e de uso da terra;
- Mudanças no uso e na cobertura da terra (conversões, degradação e recuperação), incluindo as planejadas, com cronograma, área destinada e futuras práticas a serem adotadas.

A descrição detalhada dos relatórios de monitoramento se encontra na **Seção 15 “Plano de Monitoramento”**. Os relatórios de monitoramento devem ser submetidos à VVB e verificados dentro dos prazos de reporte estabelecidos no cronograma do projeto. Ao final de cada ciclo de crédito de cinco anos, uma nova reavaliação da linha de base deve ser realizada.

As linhas de base atualizadas devem refletir avanços metodológicos, melhorias na disponibilidade e resolução de dados (ex.: imagens de satélite, aprimoração de conjuntos de dados), e revisões nos fatores de emissão ou parâmetros de modelagem. Sempre que houver novas informações cientificamente validadas, os fatores de emissão, estoques de carbono e demais coeficientes devem ser atualizados. Todas as alterações de dados ou modelos devem ser versionadas e documentadas (data-corte, versão, fonte e parâmetros).

Criticamente, as linhas de base atualizadas devem manter ou melhorar os níveis de estoque de carbono estabelecidos no ciclo anterior. Reduções nos níveis de baseline (i.e., diminuição dos estoques projetados) não são permitidas, exceto em casos de força maior devidamente justificados (ex.: secas extremas, surtos de pragas, incêndios de origem externa) e validados de forma independente pela VVB.

A construção de cada linha de base deve se fundamentar em séries temporais representativas de uso e cobertura da terra, dinâmicas de vegetação e indicadores de risco (ex.: desmatamento, degradação, queimadas) observados na Região de Referência durante os cinco anos anteriores à data de início do respectivo ciclo. Esse vínculo temporal com a região de referência assegura que a baseline reflita condições reais e atualizadas do contexto ecológico e socioeconômico do projeto, reforçando a credibilidade das projeções e a consistência dos critérios de adicionalidade.

7.3. Avaliação de Carbono: Fontes, Sumidouros e Reservatórios

O limite contábil de carbono abrange todas as fontes, sumidouros e reservatórios de gases de efeito estufa (GEE) existentes e mensuráveis dentro da área física da propriedade participante (*farm gate boundary*), contemplando exclusivamente as atividades sob controle direto do proponente.

São contabilizadas emissões de Escopo 1 (emissões diretas de GEE provenientes de fontes próprias ou controladas) e Escopo 2 (emissões indiretas de GEE provenientes da eletricidade adquirida) resultantes de atividades realizadas no interior da propriedade. Emissões de Escopo 3 (emissões indiretas não incluídas no Escopo 2, como emissões incorporadas em insumos adquiridos ou transporte externo) são excluídas desta metodologia. Esta metodologia tem foco exclusivo no *boundary* da fazenda e não substitui inventários corporativos de compradores (que abrangem resíduos, processos industriais etc.).

Quando os resultados verificados do projeto forem utilizados por empresas compradoras, a eventual atribuição deve ocorrer no inventário corporativo do comprador como Escopo 3 — por exemplo, na Categoria 1 (Bens e Serviços Adquiridos) —, desde que haja rastreabilidade documental (cadeia de custódia) com identificação, no mínimo, do primeiro destinatário — isto é, quem recebe a primeira entrega do produto/serviço vinculado ao resultado (por exemplo, cooperativa, armazém ou centro de distribuição), com documento que permita rastrear o lote até o destinatário final da reivindicação — e regras de alocação descritas no PDD. Nessa condição, reduções associadas a menor mudança no uso da terra e/ou menor degradação em áreas de vegetação nativa e remoções biogênicas verificadas (vegetação nativa e culturas perenes) podem ser reportadas como reduções de emissões do Escopo 3 (Categoria 1) do comprador, conforme o *GHG Protocol Land Sector & Removals Guidance*, desde que atendidos os requisitos de alocação, rastreabilidade e sem dupla contagem. O uso desses resultados para metas SBTi deve seguir os critérios FLAG e/ou de engajamento de fornecedores; eles não constituem offsets para os Escopos 1 e 2, não se destinam à compensação desses escopos, não os alteram e não substituem as reduções próprias exigidas pela SBTi.

Somente fluxos de GEE provenientes de atividades efetivamente realizadas no interior da área do projeto são incluídos. Emissões decorrentes de processos externos, mesmo que associadas a produtos ou subprodutos da propriedade, não são contabilizadas. Exemplos:

- A combustão de madeira que foi produzida dentro dos limites da propriedade, mas cuja queima ocorre em uma usina externa, não é contabilizada no inventário do projeto;
- Emissões associadas ao transporte de insumos adquiridos ou à fabricação de fertilizantes são consideradas Escopo 3 e, portanto, excluídas.

O horizonte temporal de contabilização segue as orientações definidas na **seção 8 “Cenário de Linha de Base e Período de Referência”**, adequando-se à natureza de cada fluxo ou reservatório. Toda a contabilidade deve estar em conformidade com as Diretrizes de Boas Práticas do IPCC para os setores de LULUCF e AFOLU, aplicando metodologias de Nível 1 a Nível 3 (*Tiers 1 a 3*) conforme a disponibilidade e a qualidade dos dados do projeto.

7.3.1. Requisitos de Rastreabilidade de Dados

Todos os conjuntos de dados geoespaciais, fatores de emissão, coeficientes e parâmetros utilizados devem possuir registro mínimo das seguintes informações, a serem mantidas para fins de auditoria e reprodutibilidade:

- **Nome e versão** original do conjunto de dados ou fator de emissão;
- **Fonte** (organização responsável, URL ou referência bibliográfica);
- **Data-corte** (período de referência ou data de extração);
- **Pré-processamentos aplicados** (por exemplo: mudança de projeção, recorte espacial, reclassificação de classes de uso do solo, interpolação, filtros de qualidade). Scripts, modelos e camadas intermediárias devem ser arquivados e disponibilizados à VVB sob confidencialidade.

7.3.2. Fontes e Reservatórios de GEE

As fontes de emissão e os reservatórios de carbono relevantes para esta metodologia estão listados nas **Tabelas 2 e 3**, que discriminam os gases de efeito estufa envolvidos, critérios de inclusão e observações específicas para cada caso. Embora a metodologia inclua um conjunto abrangente de fontes de emissão e reservatórios de carbono, apenas aqueles associados a usos da terra ou atividades efetivamente conduzidas dentro da área do projeto serão contabilizados.

Tabela 2 – Fontes de Emissão de GEE incluídas no limite contábil.

Fonte de Emissão	GEE	Critério de Inclusão / Observação Técnica
Uso de combustível fóssil	CO ₂	Combustão de diesel, gasolina ou outros combustíveis fósseis em tratores, colheitadeiras, bombas de irrigação e veículos de transporte operados dentro da propriedade.
Uso de eletricidade	CO ₂	Consumo de energia elétrica medida no(s) ponto(s) de conexão da propriedade à rede. Inclui energia para irrigação, processamento ou climatização.
Aplicação de fertilizantes nitrogenados	N ₂ O, CO ₂	Emissões diretas e indiretas (por volatilização e lixiviação) associadas à aplicação de fertilizantes nitrogenados. Fertilizantes à base de ureia devem incluir, adicionalmente, as emissões de CO ₂ oriundas da sua decomposição. Considera-se apenas a aplicação de insumos realizada dentro dos limites da propriedade.
Calagem	CO ₂	Emissões de CO ₂ resultantes da reação da cal (calcítica ou dolomítica) com o solo.
Manejo de resíduos de culturas	N ₂ O	Emissões de N ₂ O da decomposição de nitrogênio nos resíduos pós-colheita de culturas anuais e resíduos de manutenção de culturas perenes (ex., poda, beneficiamento de frutos).
Queima de biomassa (causas naturais ou uso de energia)	N ₂ O, CH ₄ , CO ₂	Emissões de N ₂ O e CH ₄ provenientes da queima de biomassa em estruturas agroindustriais instaladas dentro da propriedade, como caldeiras, secadores ou fornalhas. Emissões de CO ₂ resultantes de incêndios que afetem a vegetação nativa dentro da propriedade, independentemente da causa (natural ou antrópica). Emissões associadas à queima de vegetação nativa são abordadas em detalhe na seção de estimativas de estoques de carbono, dada sua relação direta com a biomassa e a dinâmica de perda vegetal. Queimas em instalações externas são excluídas desta metodologia.
Criação de animais	N ₂ O, CH ₄	Emissões de CH ₄ da fermentação entérica e do manejo de esterco, e emissões de N ₂ O do manejo de esterco, quando houver criação de animais na propriedade, por espécie e diferentes categorias especificadas nesta metodologia.

A mensuração e auditoria das emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) no âmbito desta metodologia devem ser baseadas preferencialmente em dados primários, obtidos diretamente da operação da propriedade, ou, quando necessário, em dados secundários devidamente justificados e compatíveis com o perfil produtivo e tecnológico da área do projeto. Os principais procedimentos são descritos a seguir:

- **Combustíveis fósseis:** O consumo deve ser registrado por meio de dados primários (ex.: notas fiscais de aquisição, planilhas de operação, medições diretas de

abastecimento) ou estimativas secundárias coerentes com as atividades efetivamente conduzidas. Estas estimativas podem ser baseadas em horas-máquina e taxas médias específicas por tipo de equipamento, ajustadas ao perfil operacional da propriedade e obtidas de fontes técnicas ou inventários nacionais reconhecidos.

- **Eletricidade:** As emissões devem ser estimadas com base nas leituras de medidores ou nas faturas da concessionária de energia, multiplicadas pelos fatores de emissão da rede elétrica nacional, como os disponibilizados pelo MCTI (SIRENE ou equivalente). Estas estimativas podem ser baseadas em fontes técnicas ou inventários nacionais reconhecidos e ajustadas ao perfil operacional da propriedade.
- **Fertilizantes nitrogenados:** Devem ser registrados a quantidade aplicada (em kg de N) e o tipo de fertilizante utilizado por cultura. A mensuração pode utilizar dados primários, como notas fiscais, registros agronômicos e prescrições técnicas, ou, quando não disponíveis, dados secundários coerentes com o sistema produtivo. Neste caso, admite-se o uso de estimativas baseadas em produtividade e doses médias regionais, desde que obtidas de fontes técnicas ou inventários oficiais e justificadas à Entidade de Validação e Verificação (VVB).
- **Calagem:** O registro da quantidade e tipo de corretivo aplicado (ex.: calcítico, dolomítico) deve ser feito com base em dados primários (notas fiscais, laudos agronômicos, registros de aplicação). Também são aceitas estimativas secundárias justificadas, baseadas em exigências do solo, práticas históricas da propriedade e recomendações técnicas regionais.
- **Queima de biomassa em estruturas agroindustriais:** As emissões devem ser mensuradas com base em registros operacionais do consumo de biomassa (ex.: lenha em caldeiras, volume processado por secadores ou fornalhas). Podem ser utilizados dados primários como planilhas de operação, relatórios de consumo energético e notas fiscais de biomassa adquirida. Quando necessário, é permitida a utilização de estimativas secundárias coerentes com a capacidade instalada da estrutura e as atividades efetivamente conduzidas.
- **Incêndios:** A ocorrência de incêndios deve ser comprovada por evidências documentais que identifiquem sua data, localização e área afetada. Podem ser utilizadas imagens de satélite de média ou alta resolução (antes e depois da queimada), registros oficiais como alertas do DETER e dados de focos ativos disponibilizados por plataformas como o BDQueimadas/INPE. As áreas impactadas

devem ser espacialmente cruzadas com os estoques de biomassa estimados, conforme descrito na seção de vegetação nativa, permitindo a quantificação das emissões associadas de CO₂. Recomenda-se a verificação cruzada de datas, intensidade e recorrência para estimar adequadamente os impactos sobre os estoques de carbono.

- **Criação de animais:** O inventário animal deve ser realizado por categoria (bovinos, suínos, aves, etc.), com base em dados primários como registros fiscais de compra e venda, Guias de Trânsito Animal (GTA), cadastros em órgãos oficiais, registros de vacinação obrigatória, sistemas de rastreabilidade reconhecidos, ou documentos de crédito rural. Estes registros devem refletir a composição e o porte do rebanho no período de referência.

Tabela 3 – Reservatórios de carbono a serem avaliados e monitorados.

Reservatório de Carbono	Inclusão	Critério de Inclusão / Observação Técnica
Biomassa lenhosa acima do solo	Sim	Obrigatória em todas as áreas de vegetação nativa e em áreas agrícolas elegíveis com culturas perenes. Estimada por sensoriamento remoto (camadas de biomassa) e/ou modelos espaciais próprios documentados. Em culturas perenes, estoques existentes são monitorados para consistência; apenas o incremento líquido (remoções) é elegível a crédito. Biomassa não lenhosa é excluída.
Biomassa abaixo do solo	Sim	Estimada a partir de razões raiz/parte aérea (R:S) reconhecidas (IPCC 2006/2019; fontes revisadas por pares). Priorizar valores por fisionomia/bioma; para perenes, empregar razões específicas por espécie quando disponíveis. Na ausência de valores locais, aplicar razões conservadoras e justificar a escolha.
Serapilheira e madeira morta	Não	Excluídas para simplificar a modelagem e reforçar o conservadorismo. Perdas ou ganhos associados a distúrbios aparecem indiretamente via variações na biomassa lenhosa e são tratadas nas regras de reversão/ajuste.
Carbono orgânico do solo (SOC)	Opcional	Por padrão, esta metodologia não credita SOC. Projetos que optarem por incluir SOC devem adotar metodologia verificável e compatível, apresentar plano amostral e incerteza, manter módulo separado (sem compensação com AGB/BGB) e obter anuência prévia da VVB.

Mensuração e auditoria dos reservatórios:

- **Biomassa lenhosa acima do solo (AGB):** usar, preferencialmente, camadas públicas reconhecidas e/ou modelos espaciais treinados e validados. Harmonizar resolução, projeção e datas; registrar versão e data-corte dos bancos de dados. Usar estatísticas robustas para controle de outliers.
- **Biomassa abaixo do solo (BGB):** derivar por razão parte aérea/subterrânea (R:S) coerente com tipo de vegetação e clima; citar a fonte e justificar eventuais ajustes regionais.
- **Incerteza:** quando o raster escolhido trouxer banda/metadata de erro, utilizar diretamente; quando não houver, estimar RMSE via validação cruzada do modelo espacial ou comparação independente em amostras internas à região de referência (por exemplo, *footprints* GEDI ou mapas alternativos). Aplicar os descontos por incerteza definidos na metodologia antes da contabilização final.
- **Rastreabilidade:** para cada insumo, registrar nome, versão, fonte, resolução espacial/temporal, data de aquisição, pré-processamentos, e manter todos os scripts e camadas intermediárias arquivados para auditoria pela VVB. Diferenças entre versões sucessivas devem ser documentadas com nota técnica de impacto.

8. CENÁRIO DE LINHA DE BASE E PERÍODO DE REFERÊNCIA

A linha de base fornece o contexto necessário para avaliar os benefícios de carbono gerados pelo projeto. Ela descreve as condições anteriores à data de início, tanto no interior da propriedade quanto na região de referência, e serve para:

- Reconhecer e quantificar os resultados de carbono associados a boas práticas já existentes e recém implementadas;
- Calcular as emissões de GEE da linha de base, estoques de carbono e remoções potenciais;
- Apoiar as avaliações de adicionalidade e permanência por meio de tendências observadas na região de referência.

A linha de base deve ser construída com dados, métodos e premissas disponíveis à época de sua definição, com documentação completa das fontes, versões e escolhas metodológicas, e com abordagem conservadora.

Como regra geral, o período de referência da linha de base abrange os cinco anos imediatamente anteriores à data de início do projeto. Esse intervalo pode ser ajustado conforme a natureza de cada análise, fontes de GEE ou reservatórios de carbono. Por exemplo, para avaliar vulnerabilidades climáticas regionais, pode ser necessário um período mais longo; para emissões de atividades operacionais, registros mais recentes (como consumo de fertilizantes ou tamanho do rebanho no ano anterior ao início) tendem a ser mais representativos. Quando houver ajustes do período (para mais ou para menos), o racional técnico e o impacto esperado sobre a incerteza devem ser explicitados no PDD.

O uso de séries históricas anteriores ao início permite capturar a variabilidade interanual das práticas de manejo, das condições climáticas e da acumulação de biomassa, além de confirmar a estabilidade ou identificar mudanças no uso da terra dentro da área do projeto. Esse contexto histórico fortalece a avaliação do desempenho de carbono. Novos períodos de linha de base devem ser definidos a cada cinco anos durante a vigência do projeto. Toda atualização deve manter reprodutibilidade (scripts e versões arquivados) e coerência metodológica ao longo das séries temporais.

A linha de base é composta por dois níveis analíticos:

- Linha de Base em Nível de Fazenda: Compreensão do uso da terra, das práticas de manejo, dos estoques de carbono e das emissões de GEE nas fazendas incluídas.

- Linha de Base da Região de Referência: Análise de tendências mais amplas de uso da terra, perda de vegetação e riscos à permanência dentro da região de referência definida.

Ambos os componentes são necessários para estabelecer o balanço inicial de carbono, avaliar riscos potenciais e apoiar a avaliação de adicionalidade e permanência.

8.1. Linha de base em Nível de Fazenda (Dentro da Área do Projeto)

Para cada fazenda incluída, a caracterização da linha de base deve abranger o mapeamento de uso e cobertura da terra, as emissões de GEE e as estimativas de estoques de carbono.

8.1.1. Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra da Linha de Base

O uso e a cobertura da terra devem ser mapeados anualmente para cada ano do período de referência de cinco anos, sempre que possível. Caso o uso da terra tenha permanecido estável durante esse período, o mapeamento do ano imediatamente anterior ao início do projeto é suficiente. O mapeamento deve priorizar conjuntos de dados de sensoriamento remoto de alta resolução, como MapBiomas, mosaicos Sentinel-2 ou mapas base da ESRI, e deve estar espacialmente alinhado com os limites georreferenciados oficiais da fazenda. Mapas base em cores reais (RGB) também podem auxiliar na identificação de mudanças no uso da terra ao longo do tempo. Quando forem empregadas classificações supervisionadas, deve-se relatar, no mínimo, a acurácia global e a matriz de confusão por classe, bem como os parâmetros/hiperparâmetros dos modelos usados.

É importante diferenciar entre mudança de uso da terra (por exemplo, floresta convertida em lavoura) e transições de manejo (por exemplo, renovação de plantio de café dentro da mesma categoria de uso).

Entregáveis obrigatórios incluem:

- Mapas ilustrando a evolução do uso da terra ao longo do período de linha de base;
- Um *shapefile* de polígonos detalhado representando os tipos de uso da terra para o ano imediatamente anterior ao início do projeto;
- Uma tabela resumo quantificando a área total (em hectares) para cada categoria de uso da terra.

Devem ser informados os anos analisados, coleções/versões e links de acesso aos dados utilizados, assegurando rastreabilidade e reprodutibilidade.

As categorias de uso da terra a serem mapeadas e reportadas incluem, quando aplicável: vegetação nativa (p.ex., florestas, savanas, áreas úmidas), lavouras anuais, lavouras perenes (p.ex., café, citros, cacau, seringueira, dentre outros), pastagens e terras degradadas/ociosas. Infraestrutura construída, corpos d'água e áreas de servidão ambiental devem ser igualmente mapeadas e reportadas quando presentes, porém são excluídas da quantificação de emissões e remoções (**ver Seção 7.1 “Limites espaciais”**).

Para culturas perenes, diferentes estágios de desenvolvimento devem ser mapeados individualmente, mesmo dentro da mesma espécie cultivada, para garantir a modelagem precisa das taxas de sequestro de carbono. Os proprietários devem também declarar quaisquer mudanças de uso da terra previstas para o próximo ciclo do projeto de cinco anos, incluindo renovações planejadas, expansões ou transições de uso da terra. Mudanças previstas não são creditadas até sua efetiva verificação no MRV; o objetivo é planejar cenários e salvaguardas.

8.1.2. Emissões de GEE da Linha de Base

As emissões de GEE da linha de base devem ser quantificadas conforme os limites de carbono do projeto definidos na **Seção 7.3 “Avaliação de Carbono: Fontes, Sumidouros e Reservatórios”**. Se as práticas de manejo na fazenda permaneceram relativamente estáveis durante o período de referência de cinco anos, as emissões podem ser avaliadas com base no ano mais recente anterior ao início do projeto. Quando a dinâmica das atividades da fazenda envolve mudanças significativas nas práticas de manejo ao longo dos anos e esta dinâmica permanecerá no próximo ciclo do projeto, deve-se calcular uma média ponderada ao longo do período ou justificar os ajustes apropriados. A quantificação das emissões deve estar alinhada com a **Seção 12 “Quantificação das Emissões de GEE”** desta metodologia. Fatores de emissão devem ser consistentes com as Diretrizes do IPCC e/ou fatores nacionais vigentes, com versão e data-corte registradas.

8.1.3. Estoques de Carbono e Remoções da Linha de Base

Os estoques de carbono da linha de base devem ser quantificados para todos os compartimentos de carbono relevantes dentro da área do projeto, conforme definido na **Seção 7.3 “Avaliação de Carbono: Fontes, Sumidouros e Reservatórios”**. Os estoques

de carbono devem ser estimados e reportados para vegetação nativa e lavouras perenes, mesmo quando não elegíveis à contabilização para crédito. Nas lavouras perenes, os estoques absolutos (acima e abaixo do solo) não são elegíveis em nenhuma hipótese; a contabilização restringe-se às remoções líquidas anuais, já deduzidas as emissões de manejo. Ainda assim, os estoques são insumos obrigatórios para: (i) calcular as remoções líquidas das perenes (incremento anual e efeitos de poda, com destinação da biomassa registrada); (ii) reconciliar fluxos biogênicos e verificar permanência/reversões; e (iii) compor a linha de base e o MRV anual. Na vegetação nativa, a elegibilidade dos estoques segue os critérios desta metodologia; quando não elegíveis, devem ser reportados para: (a) reconciliar fluxos biogênicos e verificar permanência/reversões; e (b) compor a linha de base e o MRV anual.

Se o uso da terra e as práticas de manejo permanecerem estáveis ao longo do período de referência (por exemplo, sem desmatamento ou degradação), as estimativas de estoques de carbono podem ser baseadas no ano mais recente anterior ao início do projeto. Se os dados de estoque de carbono do último ano não estiverem disponíveis, poderão ser utilizados dados do ano anterior disponível, desde que a substituição seja claramente explicada. Em lavouras perenes já estabelecidas antes do início, o estoque ou remoções pré-projeto não são creditado; os créditos incidem sobre o incremento líquido de biomassa/estoque observado após a data de início.

A quantificação dos estoques de carbono deve seguir os procedimentos e os conjuntos de dados descritos na **Seção 13 “Quantificação dos Estoques e Remoções de Carbono”** desta metodologia. Todos os parâmetros (por exemplo, razões R:S, modelos de biomassa, bandas de incerteza) devem ter fonte, versão e data-corte registradas.

8.2. Linha de Base da Região de Referência

Além da linha de base em nível de fazenda, os projetos devem analisar as tendências e pressões sobre o uso da terra na região de referência mais ampla definida durante o desenho do projeto. Essa linha de base jurisdicional fornece um contexto crítico para a avaliação da adicionalidade e dos riscos à permanência do projeto.

A linha de base da região de referência deve incluir uma avaliação das mudanças no uso e cobertura da terra nos cinco anos anteriores ao início do projeto, utilizando conjuntos de dados públicos reconhecidos como MapBiomas e PRODES. A análise deve quantificar as

taxas regionais de perda de vegetação nativa, eventos de degradação (por exemplo, ocorrência de incêndios) e expansão ou intensificação agrícola. Devem ser descritos, em detalhe, o encadeamento e o tratamento dos dados (por exemplo, resoluções distintas de 30 m e 10 m, máscaras de nuvens/sombra, detecção de fogo, fusão de produtos), incluindo critérios, parâmetros e limiares adotados, bem como métricas de acurácia e validação.

A linha de base regional deve atender aos seguintes propósitos:

- Apoiar a adicionalidade ao demonstrar que a manutenção ou melhoria dos estoques de carbono representa um desvio das tendências regionais;
- Contextualizar os riscos à permanência ao caracterizar pressões mais amplas sobre tipos de terra similares fora da área do projeto;
- Subsidiar a definição de parâmetros conservadores para projeções ao longo do ciclo de crédito, alinhados às salvaguardas de não-dupla contagem e de integridade para possível uso em *insetting*.

9. ADICIONALIDADE

Diferente das metodologias tradicionais que enfatizam a restauração em detrimento da conservação, esta metodologia rompe com a convenção ao reconhecer que o ato de preservar ecossistemas bem manejados é, por si só, uma ação climática de alto impacto. Ela valoriza a contínua gestão ambiental realizada por proprietários que mantêm vegetação nativa e sistemas perenes, muitas vezes sem qualquer compensação — desafiando a noção de que apenas áreas recém-restauradas são adicionais. Esta abordagem:

- Incentiva a produção sustentável ao recompensar os produtores pela preservação ambiental e ação climática;
- Reconhece os serviços ecossistêmicos prestados pelas propriedades rurais, como a conservação de áreas nativas e a adoção de boas práticas agrícolas que contribuem para a mitigação de GEE;
- Está legalmente fundamentada no SBCE (Lei nº 15.042/2024) e na PNPSA (Lei nº 14.119/2021), que apoiam explicitamente atividades que conservam e aumentam os estoques de carbono na biomassa e no solo;
- Alinha-se com prioridades nacionais que promovem investimentos de baixo carbono, a conservação de estoques naturais de carbono e a integração dos pagamentos por serviços ambientais por meio de mercados públicos ou voluntários.

Ao priorizar ecossistemas existentes, esta metodologia oferece uma definição mais equitativa e ecologicamente fundamentada de adicionalidade, deslocando o foco de “novas árvores plantadas” para o valor climático e de biodiversidade completo da degradação evitada e da estabilidade sustentada. Proprietários que já conservam a vegetação nativa ou mantêm sistemas perenes — muitas vezes enfrentando barreiras econômicas, regulatórias e sociais — tornam-se elegíveis para apoio por meio do financiamento climático baseado em carbono.

Nesse sentido, a adicionalidade dos projetos sob esta metodologia deve ser demonstrada por meio de comparações estruturadas com regiões de referência e o bioma representado na área do projeto, considerando aspectos espaciais, temporais, climáticos e socioeconômicos. **Cada projeto deve cumprir pelo menos dois dos critérios listados a seguir**, os quais devem ser comprovados por meio de evidências consistentes — espaciais, operacionais, climáticas ou socioeconômicas — e são aplicáveis a todas as áreas incluídas no projeto, sejam elas de vegetação nativa, cultivos perenes ou ambos:

- **Vulnerabilidade Regional a Pressões Antrópicas:** Demonstrar que a área do projeto está inserida em um contexto territorial sujeito a pressões antrópicas relevantes, como desmatamento, degradação florestal, recorrência de incêndios ou avanço da fronteira agrícola. A análise deve evidenciar, com dados públicos (por exemplo, MapBiomas, PRODES, BDQueimadas/INPE), que a região de referência apresenta taxas recentes de desmatamento, degradação e/ou fogo superiores às de regiões adjacentes e/ou ao respectivo bioma, indicando pressão acima da média.
- **Vulnerabilidade climática:** Demonstrar que a área do projeto está exposta a pressões climáticas crescentes, como secas, ondas de calor, redução de chuvas ou aumento de anomalias climáticas. Podem ser utilizados, de forma não exaustiva, sinais como detecção de anomalias de temperatura/precipitação, prolongamento da estação seca, aumento de dias consecutivos sem chuva que afetem a vegetação, ocorrência de secas multianuais, projeções robustas de aumento de temperatura e/ou redução de precipitação (por exemplo, estudos baseados em CMIP6) e registros de eventos El Niño/La Niña associados a estresses mais severos na região.
- **Déficit Florestal Regional:** Demonstrar que o projeto contribui para reduzir um déficit conhecido de vegetação nativa ou cobertura florestal na região. Embora o Brasil mantenha cobertura nativa superior a 60% do território, a distribuição é altamente heterogênea: há regiões com baixa cobertura remanescente e alta fragmentação. Evidências que mostrem manutenção de remanescentes em áreas com cobertura

inferior à média do bioma ou regiões adjacentes reforçam a adicionalidade da conservação prolongada.

- **Vulnerabilidade Social:** Demonstrar que os proprietários enfrentam desafios sociais ou econômicos elevados, como acesso limitado a financiamento, infraestrutura ou incentivos públicos. Podem ser utilizados indicadores reconhecidos (por exemplo, IBGE/IDHM, índices municipais de vulnerabilidade, elegibilidade a programas como PRONAF), além de referências internacionais (por exemplo, indicadores FAO/ONU de segurança alimentar e meios de vida rurais) e diagnósticos locais auditáveis. As evidências também podem incluir perfis socioeconômicos indicando agricultura familiar, dependência das atividades agrícolas como principal fonte de renda da família, ou entrevistas locais que corroborem a vulnerabilidade.
- **Conservação prolongada sem compensação e com custos relevantes:** Demonstrar manutenção contínua da vegetação nativa com custos recorrentes de gestão e proteção (por exemplo, cercamentos, aceiros, brigadas, vigilância, manutenção de infraestrutura) e ausência de mecanismos de remuneração equivalentes, evidenciando que o apoio financeiro via carbono é determinante para sustentar o desempenho climático futuro.
- **Benefícios Coexistentes para Ecossistemas e Paisagens:** Demonstrar que as atividades do projeto geram ganhos ambientais adicionais (cobenefícios) em relação a usos predominantes da terra na região, incluindo manutenção ou melhoria da biodiversidade, aumento da estabilidade térmica e microclimática, conservação e melhoria da disponibilidade hídrica, proteção e restauração do solo e fortalecimento de serviços ecossistêmicos essenciais. Sempre que aplicável, devem ser analisados fatores como presença em *hotspots* de biodiversidade, integração ou fortalecimento de corredores ecológicos e conectividade de habitats. Considerar análises de paisagem (por exemplo, conectividade funcional, proximidade e ligação com áreas protegidas), aceitando dados primários e secundários devidamente documentados. Fornecer evidências específicas do local e referências bibliográficas para sustentar as conclusões.

Para cada critério selecionado, o PDD deve apresentar as fontes, séries de dados, versões e métodos utilizados, com versionamento e rastreabilidade. A adicionalidade deve ser

revalidada a cada ciclo de crédito (5 anos) ou sempre que houver mudança material de contexto.

Ao exigir que os projetos demonstrem múltiplas linhas de evidência para a adicionalidade, esta metodologia reconhece os desafios reais enfrentados pelos proprietários e recompensa aqueles que contribuem significativamente para a mitigação climática e a resiliência dos ecossistemas.

10. EMISSÕES POR VAZAMENTO (LEAKAGE)

Nesse contexto, “vazamento” refere-se a aumentos não intencionais nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) fora da área de implementação do projeto, comprometendo o benefício climático líquido do projeto. Em projetos convencionais de A/R e REDD+ que se concentram exclusivamente na remoção de carbono, o vazamento frequentemente ocorre quando os proprietários, após receberem créditos por atividades de reflorestamento ou conservação, transferem suas práticas agrícolas ou de extração seletiva para áreas adjacentes de floresta nativa. Para lidar com esses riscos, padrões internacionais geralmente exigem a quantificação do vazamento por meio de componentes como deslocamento de atividades, produção renunciada e efeitos induzidos pelo mercado.

Esta metodologia não quantifica as emissões por vazamento porque o desenho do projeto minimiza estruturalmente o risco de vazamento. Essa abordagem está alinhada com a Ferramenta 15 do CDM para A/R, que afirma:

- *“O deslocamento de uma atividade agrícola, por si só, não resulta em emissões por fuga. A fuga ocorre apenas quando esse deslocamento leva a um aumento nas emissões de GEE em relação às emissões dentro dos limites do projeto.”*
- *“Efeitos secundários, como mudanças na demanda, oferta ou preço de bens, são considerados insignificantes e, portanto, contabilizados como zero.”*

A metodologia assegura fuga negligenciável por meio dos seguintes mecanismos de salvaguarda:

I) Limite Abrangente da Propriedade Rural: o limite do projeto abrange toda a propriedade rural, incluindo todas as áreas agrícolas (anuais e perenes), pastagens, ecossistemas naturais e infraestrutura construída — ao invés de isolar fragmentos de vegetação nativa. Ao contabilizar todos os usos da terra dentro de uma única fazenda, o risco de deslocamento de atividades é amplamente mitigado, pois qualquer mudança no uso da terra permanece interna e é totalmente rastreada;

II) Filtro de Elegibilidade: para prevenir vazamento indireto, fragmentos de vegetação nativa que tenham sofrido conversão de uso da terra por desmatamento após 22 de julho de 2008, conforme o Art. 68 da Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal), são excluídos da geração de créditos relativos ao estoque de carbono. Esse filtro evita a remuneração de áreas cuja conversão possa ter provocado deslocamento indireto de emissões;

III) Contabilidade Abrangente de GEE: todas as fontes de emissão — incluindo mudanças no uso da terra, atividades agrícolas e áreas manejadas — são monitoradas, relatadas e consideradas no balanço de carbono. Essa contabilidade de escopo total previne o vazamento ao assegurar que nenhuma mudança de emissões fique sem registro;

IV) Incentivos Alinhados: os agricultores são incentivados não apenas pela remoção de carbono (por exemplo, por meio de projetos de reflorestamento), mas também pela conservação da vegetação nativa, incluindo florestas maduras onde as taxas de sequestro de carbono podem ser mais baixas. Essa abordagem reduz a pressão para converter terras adicionais de vegetação.

11. RISCO E PERMANÊNCIA

Permanência em projetos de créditos de carbono de Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU) refere-se ao armazenamento de longo prazo de carbono na vegetação e, quando aplicável, nos solos e em demais sumidouros de carbono, com salvaguardas implementadas para monitorar, mitigar e contabilizar possíveis reversões ao longo de um horizonte de tempo definido. Trata-se de um princípio fundamental para garantir que as ações de mitigação climática proporcionem impactos duradouros. Tradicionalmente, muitas metodologias definem permanência como a exigência de que o carbono permaneça armazenado por 30, 50 ou até 100 anos, sob a suposição de que a estabilidade a longo prazo garante a integridade ambiental.

No entanto, essas suposições podem não ser viáveis nem tecnicamente justificáveis de forma robusta frente às condições reais enfrentadas por proprietários de terras, desenvolvedores de projetos e ecossistemas. Em regiões expostas a incêndios florestais, secas, pragas, mudanças políticas e econômicas, ou alterações na posse da terra e nas leis ambientais, não é realista garantir o armazenamento de carbono por várias décadas. Mesmo áreas bem manejadas podem ser perdidas involuntariamente devido a distúrbios naturais ou convertidas legalmente em razão de transições de propriedade e mudanças regulatórias. Esperar permanência ao longo de gerações — como 100 anos, o que pode

abranger três ou mais mudanças de proprietário — é incompatível com a realidade operacional da maioria dos contextos agrícolas.

Em vez de projetar a permanência para futuros incertos e distantes, esta metodologia adota uma abordagem pragmática. Ela foca na entrega de benefícios climáticos reais, mensuráveis e verificáveis dentro de ciclos de crédito claramente definidos de 5 anos, com verificação anual independente (MRV). Após cada ciclo, o balanço de carbono é totalmente reavaliado com dados atualizados, e apenas os benefícios líquidos anuais verificados — após a aplicação dos descontos por incerteza e conforme as regras de buffer técnico descritas nesta seção — são creditados. Esse modelo permite atualizações frequentes das linhas de base e do uso da terra, a incorporação oportuna de métodos de monitoramento aprimorados e ajustes na emissão de créditos com base no desempenho real.

Ao priorizar a integridade de curto prazo com uma visão de longo prazo, essa abordagem apoia a prioridade global urgente de reduzir o desmatamento e a degradação florestal, especialmente em regiões tropicais e de alta pressão. Também ajuda a mudar a percepção predominante entre proprietários e partes interessadas — muitos dos quais ainda veem florestas em pé e vegetação nativa como passivos, associados a encargos tributários, obrigações legais e oportunidades de renda perdidas. Ao oferecer compensações críveis de curto prazo com base em resultados de carbono monitorados, a metodologia redefine a conservação como uma oportunidade econômica, e não um custo. Esse modelo se alinha de forma mais eficaz com a arquitetura climática global em evolução, adotando a flexibilidade necessária para incorporar avanços futuros em sensoriamento remoto, modelagem de carbono e políticas de gestão da terra. Reconhece que as ferramentas e condições irão evoluir — e que a permanência deve ser baseada no que pode ser medido, monitorado e aplicado hoje.

11.1. Avaliação dos Riscos de Permanência

Embora esta metodologia redefina a permanência por meio de uma ótica prática e de curto prazo, todos os projetos são obrigados a realizar avaliações anuais e a gerenciar rigorosamente os riscos de permanência ao longo de todo o período de crédito de 5 anos. Os seguintes riscos principais são considerados:

- **Distúrbios Naturais:**

Eventos climáticos como incêndios florestais, secas, enchentes e outras condições extremas podem impactar diretamente os estoques de carbono. Embora nem todos os

riscos possam ser eliminados, os projetos são incentivados a adotar estratégias de mitigação, incluindo aceiros, serviços de alertas de fogo em tempo quase real e uso de caminhões-pipa para controle imediato de focos de incêndio, especialmente em períodos críticos.

- **Desmatamento ou Reversão do Uso da Terra:**

Se uma área creditada com estoques ou remoções de carbono for desmatada, degradada ou convertida de qualquer outra forma durante o ciclo de crédito, o carbono creditado dessa área será totalmente revertido e deduzido do volume total de créditos emitidos no período. Perdas ocorridas antes do encerramento do ano de monitoramento são refletidas no próprio balanço anual; perdas identificadas após a verificação anual serão deduzidas no ciclo subsequente, sem acionar o buffer.

- **Instabilidade de Políticas e Posse da Terra:**

Mudanças na governança, na posse da terra ou na aplicação de regulamentações podem afetar a capacidade de um projeto de manter o carbono creditado. Créditos são emitidos apenas quando os projetos demonstram controle legal claro e capacidade de monitoramento verificável. Se essas condições forem interrompidas, a emissão de créditos será suspensa até que a conformidade possa ser restabelecida.

11.2. Mecanismos para Garantir a Permanência

Para assegurar a credibilidade ambiental de todos os créditos emitidos, a metodologia inclui um conjunto robusto de mecanismos destinados a salvaguardar a permanência do carbono:

- **Contribuição Fixa para Reserva de Buffer:**

Uma fração fixa de 5% de todos os créditos de carbono verificados é alocada para uma reserva de buffer não negociável. Essa reserva atua como um mecanismo de proteção, fornecendo uma salvaguarda estratégica para mitigar possíveis perdas e preservar a integridade do sistema de créditos de carbono. Ela mantém um estoque estável que pode ser utilizado em casos de reversões provocadas por fatores naturais ou de manejo. A taxa do buffer é fixa para todos os projetos, garantindo consistência, transparência e previsibilidade.

- **Aplicação do Período de Crédito:**

Os benefícios de carbono são avaliados em períodos operacionais definidos de 5 anos, com o sequestro total de carbono estimada para o ciclo completo. No entanto, os créditos não são emitidos de uma só vez: Eles são gerados anualmente, e a emissão de cada ano representa uma parte proporcional do total estimado de carbono para aquele ciclo de 5 anos. Crucialmente, esses créditos anuais só são emitidos após a submissão e verificação bem-sucedida do relatório de monitoramento anual por um Organismo de Validação e Verificação (VVB). Essa estrutura assegura que os créditos reflitam desempenho real e verificado, evita superavaliação e mantém um vínculo direto entre a emissão de créditos e o monitoramento contínuo do projeto. A emissão ocorre exclusivamente em regime *ex-post*, após o encerramento do ano de monitoramento e a verificação independente.

- **Regras de Reemissão e Renovação:**

Ao final de cada período de 5 anos, os projetos podem solicitar um novo ciclo de crédito. Para isso, devem passar por uma reavaliação completa da linha de base, atualizar as estimativas de estoque de carbono e contabilizar quaisquer mudanças no uso da terra, nas emissões ou nas condições ecológicas. Essa abordagem valoriza o desempenho contínuo, em vez de uma permanência especulativa.

- **Cláusula de Ajuste por Perda:**

No caso de perda de carbono durante o ciclo de crédito — devido a incêndio, extração não autorizada sem substituição, mudança de uso da terra em áreas nativas — os créditos correspondentes à área afetada são descontados. Isso impede a emissão de créditos para carbono que não esteja armazenado de forma duradoura ou que tenha sido liberado prematuramente.

Em conjunto, esses mecanismos apoiam um modelo de permanência não pré-fixada, mas contínua e aplicável, que garante que apenas os resultados de carbono verificados, monitorados e mantidos sejam recompensados. Ao mesmo tempo, a reserva fixa de buffer e a estrutura de reavaliação protegem a integridade do sistema diante de incertezas futuras — permitindo que os projetos se adaptem, evoluam e entreguem valor climático sob condições reais.

12. QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE

Esta seção descreve os métodos para estimar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes de várias fontes potenciais dentro de propriedades rurais. A metodologia é baseada em elementos das Diretrizes do IPCC (2006; 2019 *Refinement*) para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. Quando necessário, equações e tabelas foram adaptadas para a realidade em nível de fazenda (já que as diretrizes originais frequentemente se aplicam a inventários nacionais) ou complementadas com referências de outras fontes, como a Divisão de Estatísticas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAOSTAT), para aprimorar a confiabilidade e precisão da quantificação de GEE em uma estrutura simples e passo a passo.

O limite desta metodologia é definido como o “portão da fazenda” (*farm gate*), abrangendo as emissões do Escopo 1 e Escopo 2. Emissões incorporadas (Escopo 3, tais como produção de fertilizantes e pesticidas, produção de ração e processamento de produtos fora da fazenda) são excluídas. Conforme o *GHG Protocol Land Sector & Removals Guidance*, os resultados verificados podem ser utilizados pelos compradores em seus inventários corporativos como Escopo 3, Categoria 1 (bens adquiridos), sem alterar os limites do projeto.

A metodologia considera as seguintes fontes primárias de emissões de GEE provenientes das atividades agrícolas:

- Uso de energia;
- Uso de combustíveis fósseis;
- Culturas anuais;
- Culturas perenes;
- Queima de biomassa;
- Criação de animais

Embora o Volume 4 do IPCC (Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra – AFOLU) forneça equações padronizadas e fatores de emissão para o cálculo das emissões, os projetos podem adotar metodologias alternativas ou integrar medições diretas em campo quando apropriado. Nesses casos, os projetos devem fornecer documentação completa detalhando as fontes e métodos usados, incluindo uma explicação detalhada dos procedimentos para as medições diretas de campo, garantindo transparência, replicabilidade e consistência com as práticas internacionais aceitas de contabilização de carbono.

Para garantir cálculos precisos das emissões de GEE e apoiar o processo de certificação, os produtores rurais devem fornecer evidências verificáveis de dados operacionais chave, como número de animais criados nas propriedades, quantidades de insumos agrícolas usados, e consumo de energia e combustíveis. Essa exigência assegura transparência do processo, rastreabilidade das informações e conformidade com os padrões aplicáveis dos mercados de carbono. Quando necessário, os proprietários podem ser solicitados a apresentar documentação ou registros que comprovem essas variáveis.

Para assegurar compatibilidade com *insetting* conforme o *GHG Protocol* e o SBTi FLAG, os resultados desta seção devem ser apresentados como emissões brutas de Escopo 1 e Escopo 2, reportadas separadamente dos módulos de Remoções e Estoques. Essa separação é mandatória para uso corporativo (inventários e metas FLAG), preservando a rastreabilidade por fonte e por unidade de manejo.

As emissões devem ser reportadas de forma desagregada por gás (CO₂, CH₄, N₂O) e por fonte de emissão. O reporte deve apresentar tanto os valores em massa do gás (t de CO₂, CH₄, N₂O) quanto em CO₂e com base nos potenciais de aquecimento global (GWP100) do AR6 do IPCC, explicitados na **Seção 5.3 “Métricas de GEE e Conversões”**.

Recomenda-se, além do balanço absoluto, publicar uma tabela de intensidades por hectare produtivo (tCO₂e/ha·ano), desagregada por fonte de emissão. Essa normalização facilita a comparação de desempenho entre fazendas e ao longo do tempo, permitindo identificar outliers e tendências. Também apoia processos de *due diligence* ao fornecer métricas padronizadas e verificáveis que aumentam a transparência e a comparabilidade entre ativos, contribuem para a precificação por investidores e compradores, e permitem o uso dos resultados em metas FLAG.

12.1. Emissões pelo uso de energia

O principal gás de efeito estufa (GEE) associado ao uso de energia é o dióxido de carbono (CO₂). As emissões oriundas do consumo de energia elétrica podem ser calculadas com a seguinte fórmula:

$$E_{energia} = EC \times EF_{energia}$$

Onde:

$E_{energia}$ = Emissões totais equivalentes de CO₂ provenientes do consumo de energia (toneladas de CO₂eq);

EC = Energia consumida no período de um ano (em MWh);

EF_{energia} = Fator de emissão para a energia consumida (toneladas de CO₂eq por MWh).

A energia consumida nas propriedades rurais brasileiras provém principalmente da rede elétrica nacional. O fator de emissão anual da matriz elétrica brasileira deve ser consultado no Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE)¹, administrado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), com indicação explícita da versão e data de corte do fator utilizado.

Nos casos em que forem utilizados geradores movidos a combustíveis fósseis, suas emissões devem ser calculadas com base nas equações e fatores de emissão apresentados na próxima seção: "*Emissões provenientes do uso de combustíveis fósseis*". Já as emissões de fontes alternativas de energia, como solar ou eólica, são consideradas negligenciáveis e, portanto, não entram no cálculo das emissões.

12.2. Emissões pelo uso de combustíveis fósseis

O CO₂ é o principal gás de efeito estufa (GEE) emitido pela combustão de combustíveis fósseis em atividades agrícolas, como operação de máquinas para manutenção da propriedade, manejo de culturas e transporte de produtos. As emissões podem ser calculadas pela fórmula:

$$E_{combustíveis} = \sum FC_k \times EF_k$$

Onde:

E_{combustíveis} = emissões totais de CO₂ equivalente pelo uso de combustíveis fósseis (kg CO₂eq);

FC_k = consumo de combustível do tipo k no período de um ano (litros);

EF_k = fator de emissão para o combustível tipo k (kg CO₂/litro).

¹ O SIRENE disponibiliza fatores anuais de emissão de CO₂ para o consumo de energia elétrica, considerando a matriz energética nacional como um todo, expressos em toneladas de CO₂ equivalente por MWh. Para converter valores de consumo de energia em kWh (como normalmente aparecem nas faturas de energia) para MWh, basta dividir o valor por 1.000.

Os fatores de emissão podem ser obtidos de fontes como as Diretrizes do IPCC (2006; 2019 *Refinement*), bases oficiais nacionais (MCTI/SIRENE), relatórios internacionais como o *Department for Environment, Food & Rural Affairs* – DEFRA (2021, Reino Unido), bem como artigos científicos revisados por pares, desde que a versão e a data de corte sejam registradas.

12.3. Aplicações de fertilizantes nitrogenados

O N_2O é o principal GEE emitido pela maioria dos tipos de fertilizantes nitrogenados. Para fertilizantes à base de ureia, também ocorre emissão de CO_2 (tratada separadamente abaixo). O primeiro passo no cálculo é definir todos os fertilizantes usados na fazenda. Os cálculos devem ser feitos para culturas anuais, culturas perenes e aplicações em pastagens (quando houver). Quando houver mais de uma cultura (por exemplo, soja e milho), as emissões devem ser calculadas de forma independente para cada cultura.

Fertilizantes fosfatados e potássicos que não contêm nitrogênio são excluídos dos cálculos de emissão de N_2O . No entanto, se um fertilizante composto contiver qualquer componente de nitrogênio, ele deve ser incluído na avaliação de emissões. Esta metodologia não considera as emissões incorporadas da produção de fertilizantes (Escopo 3, fora do limite “portão da fazenda”).

Recomenda-se fornecer uma tabela listando todos os fertilizantes utilizados, com composição química, quantidade total aplicada e teor de nitrogênio (N).

As emissões de N_2O incluem componentes **diretos** e **indiretos**. As emissões diretas correspondem à conversão do nitrogênio nos solos, enquanto as emissões indiretas resultam da lixiviação, do escoamento superficial, da volatilização e da subsequente redeposição. Os cálculos requerem a determinação do total de nitrogênio aplicado aos solos a partir de todos os fertilizantes sintéticos e compostos orgânicos.

12.3.1. Nitrogênio Total Aplicado

Uma vez que todos os fertilizantes que contêm nitrogênio tenham sido identificados, o próximo passo é calcular a quantidade total de nitrogênio (N) aplicada ao solo. Isso pode ser feito utilizando a seguinte fórmula:

$$TN_{\text{fertilizantes}} = \sum_f TF_f \times NC_f$$

Onde:

$TN_{\text{fertilizantes}}$ = Nitrogênio total aplicado ao solo a partir de todos os fertilizantes (toneladas de N);

TF_f = Massa do tipo de fertilizante f aplicado (toneladas de produto);

NC_f = Teor de nitrogênio do tipo de fertilizante f (toneladas de N por tonelada de produto).

O teor de N (NC) pode ser obtido de fichas técnicas, rótulos oficiais ou bulas de fertilizantes, garantindo rastreabilidade da fonte e data.

12.3.2. Emissões Diretas de N_2O

A partir do total de nitrogênio aplicado ao solo, as emissões diretas de N_2O são calculadas utilizando:

$$E_{N_2O \text{ direta}} = \sum_f (TN_f \times EF_f) \times \left(\frac{44}{28}\right)$$

Onde:

$E_{N_2O \text{ direta}}$ = Emissões diretas de N_2O (toneladas de N_2O);

TN_f = Nitrogênio total aplicado do tipo de fertilizante f (toneladas de N);

EF_f = Fator de emissão para emissões diretas, específico para aplicação de nitrogênio em solos manejados (toneladas de N_2O-N por tonelada de N aplicada);

$44/28$ = Razão de peso molecular para converter N_2O-N em N_2O .

Os fatores de emissão para emissões diretas de N_2O podem ser obtidos no IPCC (2019), Tabela 11.1. Para condições climáticas úmidas, recomenda-se $EF = 0,016$ para fertilizantes sintéticos e $EF = 0,006$ para compostos orgânicos.

12.3.3. Emissões Indiretas de N_2O : Lixiviação

As emissões indiretas de N_2O resultantes da lixiviação de nitrogênio são calculadas de acordo com a Equação 11.10 das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4:

$$E_{N_2O \text{ Lixiv}} = \sum_f (TN_f \times F_{Lixiv} \times EF_{Lixiv}) \times \left(\frac{44}{28}\right)$$

Onde:

$E_{N_2O \text{ Lixiv}}$ = Emissões totais indiretas de N_2O por lixiviação (toneladas de N_2O);

TN_f = Nitrogênio total aplicado do tipo de fertilizante f (toneladas de N);

F_{Lixiv} = Fator de lixiviação para fertilizantes (adimensional);

EF_{Lixiv} = Fator de emissão para lixiviação/escoamento (toneladas de N_2O-N / toneladas de N);

44/28 = Razão de peso molecular para converter N_2O-N em N_2O .

Os fatores de emissão para emissões indiretas de N_2O por lixiviação podem ser obtidos no IPCC (2019), Tabela 11.3. Para condições climáticas úmidas, recomenda-se $F_{Lixiv} = 0,24$ e $EF_{Lixiv} = 0,011$.

12.3.4. Emissões Indiretas de N_2O : Volatilização

As emissões indiretas de N_2O resultantes da volatilização e redeposição de nitrogênio são calculadas pela Equação 11.11 do IPCC (2019), Volume 4:

$$E_{N_2O \text{ vol}} = \sum_f (TN_f \times F_{vol,f} \times EF_{vol,f}) \times \left(\frac{44}{28}\right)$$

Onde:

$E_{N_2O \text{ vol}}$ = Emissões totais indiretas de N_2O por volatilização (toneladas de N_2O);

TN_f = Nitrogênio total aplicado do tipo de fertilizante f (toneladas de N);

F_{vol} = Fator de volatilização para o tipo de fertilizante f (adimensional);

EF_{vol} = Fator de emissão para volatilização/redeposição (toneladas de N_2O-N por tonelada de N);

44/28 = Razão de peso molecular para converter N_2O-N em N_2O .

Os fatores de emissão e as frações de volatilização podem ser obtidos no IPCC (2019), Tabela 11.3. Para condições climáticas úmidas, recomenda-se $F_{vol} = 0,11$ para fertilizantes sintéticos e 0,21 para compostos orgânicos; $EF_{vol} = 0,014$.

12.3.5. Emissões Adicionais de CO₂ de Fertilizantes de Ureia

Ao contrário de outros fertilizantes à base de nitrogênio, a ureia libera não apenas N₂O, mas também CO₂, devido ao seu conteúdo de carbono. O carbono na ureia é liberado como CO₂ durante o processo de hidrólise no solo. As emissões de CO₂ da aplicação de ureia são calculadas usando a Equação 11.13 do IPCC (2006), Volume 4, com base na quantidade total de ureia aplicada e seu fator de emissão associado. A fórmula usada é:

$$E_{CO_2 \text{ ureia}} = \sum (T_{ureia} \times EF_{ureia}) \times \left(\frac{44}{12}\right)$$

Onde:

$E_{CO_2 \text{ ureia}}$ = Emissões totais de CO₂ de fertilizantes de ureia (toneladas de CO₂);

T_{ureia} = Total de ureia aplicada (toneladas de ureia);

EF_{ureia} = Fator de emissão para emissões de CO₂ da ureia (toneladas de CO₂-C por tonelada de ureia);

44/12 = Razão de peso molecular para converter CO₂-C em CO₂.

De acordo com o IPCC (2006), o fator de emissão recomendado (EF_{ureia}) é 0,20 toneladas de CO₂-C por tonelada de ureia aplicada.

12.4. Calagem

O CO₂ é o principal gás de efeito estufa liberado quando o calcário calcítico (CaCO₃) é aplicado para neutralizar a acidez do solo. O CO₂ origina-se do componente carbonato (CO₃²⁻) do calcário, que reage no ambiente do solo.

O cálculo dessas emissões requer a determinação da quantidade total de CaCO₃ aplicada, que é derivada do conteúdo de cálcio (Ca) no material de calagem.

12.4.1. Total de CaCO₃ aplicado

A quantidade total de calcário calcítico aplicada ao solo é calculada como:

$$T_{CaCO_3} = \sum_f TF_f \times CaC_f \times \left(\frac{100}{40}\right)$$

Onde:

T_{CaCO_3} = quantidade total de calcário calcítico aplicado (toneladas de CaCO₃);

TF_f = massa de fertilizante ou corretivo tipo f contendo cálcio (toneladas do produto);

CaC_f = conteúdo de cálcio daquele produto (toneladas de Ca por tonelada do produto);

100/40 = razão de peso molecular para converter cálcio (Ca) em CaCO₃.

A fonte de dados sobre o conteúdo de cálcio (CaC_f) deve ser registrada, incluindo versão e data de corte da informação consultada (ex.: ficha técnica, rótulo oficial).

12.4.2. Emissões totais de CO₂

As emissões de CO₂ provenientes da calagem são calculadas utilizando a Equação 11.12 do IPCC (2006), Vol. 4:

$$E_{calagem} = T_{CaCO_3} \times EF_{calagem} \times \left(\frac{44}{12}\right)$$

Onde:

$E_{calagem}$ = emissões totais de CO₂ provenientes da calagem (toneladas de CO₂);

T_{CaCO_3} = total de calcário calcítico aplicado (toneladas de CaCO₃);

$EF_{calagem}$ = fator de emissão para emissões de CO₂ provenientes do calcário calcítico (toneladas de CO₂-C por tonelada de CaCO₃);

44/12 = razão de peso molecular para converter CO₂-C em CO₂.

O fator de emissão do calcário calcítico ($EF_{calagem}$) é de 0,12 toneladas de CO₂-C por tonelada de CaCO₃ aplicada, conforme definido no IPCC (2006), Volume 4.

12.5. Manejo de Resíduos de Culturas

As emissões de GEE provenientes do manejo de resíduos de cultura referem-se às emissões associadas à decomposição do material vegetal remanescente no campo após a colheita ou manutenção da cultura. Os resíduos são classificados como segue:

- Resíduos da parte aérea, como caules, folhas, vagens e palhas;
- Resíduos da parte subterrânea, incluindo sistemas radiculares e estruturas associadas.

Quando os resíduos são mantidos no campo (ex., deixados na superfície, incorporados ao solo ou utilizados como cobertura morta) eles contribuem com insumos de nitrogênio que podem resultar em emissões diretas e indiretas de N_2O . Essas emissões dependem do tipo de cultura, da quantidade de biomassa e do teor de nitrogênio.

Conforme descrito nas Diretrizes do IPCC de 2006 e 2019, as emissões de CO_2 provenientes da decomposição de resíduos são excluídas da quantificação, pois derivam de carbono atmosférico assimilado recentemente e são consideradas parte do ciclo biogênico.

Esta metodologia estima as emissões de GEE dos resíduos utilizando parâmetros e fórmulas padrão do IPCC (2019), Volume 4, Capítulo 11 (Equações 11.6 e 11.7). Quando disponíveis e verificáveis, podem ser utilizados dados de campo diretos ou métodos alternativos de estimativa validados (ex.: modelos de inclinação-intercepto).

Resíduos que são queimados ou removidos do sistema não são cobertos por esta seção. Esses casos requerem fatores de emissão específicos e devem ser tratados por uma metodologia separada. É importante observar que a queima de resíduos agrícolas não é uma prática comum no Brasil, especialmente em sistemas de produção mecanizados e voltados à conservação.

12.5.1.1. Passo 1: Coletar parâmetros específicos por cultura

Para cada cultura anual cultivada, colete os seguintes dados. Valores padrão (exceto para *Yield fresh_T*, que varia significativamente entre as fazendas) estão disponíveis na Tabela 11.1a do IPCC (2019). Os dados de *Yield fresh_T* devem ser fornecidos pelo proponente do projeto.

- ***Yield fresh_T***: produtividade fresca da cultura T (kg de peso fresco por ha)

- **DRYT:** teor de matéria seca da cultura T (kg de matéria seca por kg de peso fresco)
- **RAGT:** razão de matéria seca de resíduos da parte aérea por produção colhida da cultura T (adimensional)
- **RST:** razão de biomassa da parte subterrânea por biomassa da parte aérea da cultura T (adimensional)
- **NAGT:** teor de nitrogênio dos resíduos da parte aérea da cultura T (kg N por kg de matéria seca)
- **NBGT:** teor de nitrogênio dos resíduos da parte subterrânea da cultura T (kg N por kg de matéria seca)

12.5.1.2. Passo 2: Calcular biomassa dos resíduos

Utilizando as variáveis do Passo 1, estime a biomassa total dos resíduos da parte aérea e da parte subterrânea para cada cultura utilizando as seguintes fórmulas:

$$Crop_T = Yield\ Fresh_T \times DRY_T$$

$$AG_{DM,T} = Crop_T \times RAG_T$$

$$AGR_T = AG_{DM,T} \times Area_T$$

$$BGR_T = (Crop_T + AG_{DM,T}) \times RS_T \times Area_T$$

Onde:

$Crop_T$ = produção colhida de matéria seca para a cultura T (kg de matéria seca por ha)

$AG_{DM,T}$ = matéria seca dos resíduos da parte aérea para a cultura T (kg de matéria seca por ha)

$AGR_{(T)}$ = quantidade anual de resíduos da parte aérea para a cultura T (kg de matéria seca por ano)

$BGR_{(T)}$ = quantidade anual de resíduos da parte subterrânea para a cultura T (kg de matéria seca por ano)

$Area_T$ = área total anual colhida da cultura T (ha por ano)

12.5.1.3. Passo 3: Estimar o nitrogênio total nos resíduos

Utilizando as variáveis dos Passos 1 e 2, estime a quantidade de nitrogênio (N) nos resíduos a partir da soma do conteúdo da parte aérea e da parte subterrânea:

$$NR_T = AGR_T \times N_{AG(T)} + BGR_T \times N_{BG(T)}$$

Onde:

NR_T = nitrogênio total nos resíduos para a cultura T (kg N por ano)

AGR_T = quantidade anual de resíduos da parte aérea para a cultura T (kg de matéria seca por ano)

BGR_T = quantidade anual de resíduos da parte subterrânea para a cultura T (kg de matéria seca por ano)

12.5.1.4. Passo 4: Calcular as emissões de N₂O provenientes do nitrogênio dos resíduos

Estime as emissões totais diretas e indiretas de N₂O utilizando as seguintes equações baseadas no IPCC:

$$L_{residue, N_2O-soil} = \left((NR_T \times EF_1) + (NR_T \times EF_5 \times Frac_{LEACH-(H)}) \right) \times \frac{44}{28}$$

Onde:

EF_1 = fator de emissão direta de N₂O a partir dos resíduos (adimensional)

EF_5 = fator de emissão indireta de N₂O devido à lixiviação/escoamento (adimensional)

$Frac_{LEACH-(H)}$ = fração de nitrogênio perdida por lixiviação (adimensional)

44/28 = fator de conversão de peso molecular de N₂O–N para N₂O

Os fatores de emissão são retirados do IPCC (2019), Tabelas 11.1 e 11.3. Para condições de clima úmido, o fator de emissão direta de N₂O (EF_1) é 0,006, e o fator de emissão indireta por lixiviação e escoamento (EF_5) é 0,011. A fração de lixiviação ($Frac_{LEACH-(H)}$) é fixada em 0,24.

12.6. Queima de Biomassa

Esta seção refere-se à combustão de material orgânico resultante de atividades agrícolas e industriais realizadas dentro da fazenda, incluindo a queima de resíduos de culturas agrícolas, uso de produtos de madeira em caldeiras e o funcionamento de secadores para processamento de sementes, bem como outras aplicações relacionadas à produção de bioenergia.

A queima de biomassa decorrente de incêndios em vegetação nativa não é tratada nesta seção, mas sim no capítulo específico de “Quantificação dos estoques e remoções de carbono”, uma vez que envolve cálculos diretamente vinculados aos estoques de carbono, incluindo o processamento de imagens de satélite e o uso de índices de vegetação.

As emissões de gases de efeito estufa provenientes dessa queima consistem principalmente em metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Embora o dióxido de carbono (CO_2) também seja liberado, ele é convencionalmente excluído dos cálculos por representar carbono biogênico recentemente removido da atmosfera via fotossíntese, conforme estabelecido pelas Diretrizes do IPCC (2006; 2019 *Refinement*).

Cabe ressaltar que, quando não ocorre a queima e a madeira de espécies perenes é exportada da fazenda para uso externo (por exemplo, em indústrias de papel e celulose ou geração energética fora do limite do projeto), tais emissões não são contabilizadas nesta metodologia, por estarem fora da fronteira definida como “portão da fazenda”.

As emissões totais são estimadas por meio das seguintes equações:

$$E_{\text{queima}, \text{CH}_4} = TB_{\text{queima}} \times EF_{\text{queima}, \text{CH}_4}$$

$$E_{\text{queima}, \text{N}_2\text{O}} = TB_{\text{queimaburn}} \times EF_{\text{queima}, \text{N}_2\text{O}}$$

Onde:

$E_{\text{queima}, \text{CH}_4}$ = Emissões totais de CH_4 (toneladas de CH_4)

$E_{\text{queima}, \text{N}_2\text{O}}$ = Emissões totais de N_2O (toneladas de N_2O)

TB_{queima} = Biomassa total queimada (toneladas de biomassa)

$EF_{\text{queima}, \text{CH}_4}$ = Fator de emissão de CH_4 da queima de biomassa

$EF_{\text{queima}, \text{N}_2\text{O}}$ = Fator de emissão de N_2O da queima de biomassa

Os fatores de emissão aplicáveis podem ser obtidos no IPCC (2019), Tabela 2.5. Para condições de clima úmido, recomenda-se $EF_{\text{queima}} \text{CH}_4 = 0,0027 \text{ kg CH}_4/\text{kg biomassa queimada}$ e $EF_{\text{queima}} \text{N}_2\text{O} = 0,00007 \text{ kg N}_2\text{O}/\text{kg biomassa queimada}$.

12.7. Emissões da Criação de animais

Esta metodologia considera as seguintes fontes de emissões de GEE provenientes da criação de animais:

- Fermentação entérica;
- Manejo de esterco;
- Aplicação de fertilizantes em pastagens

Os principais gases de efeito estufa associados à criação de animais são o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). As emissões de CO_2 não são estimadas, uma vez que as emissões líquidas anuais de CO_2 provenientes da criação de animais são consideradas desprezíveis conforme as Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4.

CH_4 é emitido pela fermentação entérica e, em menor escala, pelo manejo de esterco. O N_2O é emitido pelo manejo do esterco por meio de emissões diretas (processos de nitrificação e desnitrificação) e emissões indiretas (volatilização e lixiviação). Sempre que pastagens forem adubadas (uso de calcário e fertilizantes), essas emissões devem ser estimadas.

Todas as emissões devem ser inicialmente relatadas em seus respectivos gases (toneladas de CH_4 ou N_2O), e então convertidas para CO_2 equivalentes utilizando os Potenciais de Aquecimento Global (GWP, ver seção 5.3 “Métricas de GEE e Conversões”).

12.7.1. Etapa 1: Descrição das populações de animais

Um inventário com a caracterização da população animal é essencial para garantir uma estimativa precisa das emissões de GEE provenientes da criação de animais. Os fatores de emissão variam de acordo com a espécie, categoria, sistema de produção, regime alimentar e práticas de manejo do esterco. Portanto, todas as informações relevantes podem ser coletadas no nível da fazenda para aplicar corretamente fatores *Tier 1* ou *Tier 2*, conforme as Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4.

Espécies e subcategorias

Todos os animais devem ser classificados por espécie e categoria produtiva, em conformidade com as Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4, Tabela 10.1, ou com dados da FAOSTAT (base estatística global da FAO para agricultura e criação de animais). Para propriedades brasileiras, as categorias mais comuns incluem: bovinos (corte e leite), búfalos, aves (frango de corte, galinhas poedeiras, perus e patos), suínos (mercado e reprodutores), equinos (cavalos, jumentos e mulas), ovinos e caprinos.

Embora não seja obrigatório, recomenda-se fornecer detalhes adicionais sempre que disponíveis: estrutura do rebanho (sexo, idade e peso médio) e sistemas de produtividade (classificação em alta ou baixa produtividade). Esses detalhes permitem aplicação mais acurada dos fatores específicos para cada animal e alinham a metodologia com a Tabela 10.1 do IPCC. Os fatores de emissão por espécie, categoria, sexo e idade (por exemplo, animais jovens ou maduros) podem ser obtidos nas tabelas suplementares do Volume 4 do IPCC (2019), que acompanham o material de apoio oficial.

População média anual

A população média anual é definida como o número médio de animais de cada espécie e categoria presente na fazenda durante um período de 12 meses. O método de estimativa depende de a população ser:

- **Populações estáticas:** para animais que permanecem na fazenda durante todo o ano (por exemplo, vacas leiteiras, suínos reprodutores, galinhas poedeiras), a população anual é simplesmente o número de animais registrado no inventário do rebanho.
- **Populações com ciclo produtivo curto (engorda/terminação):** para animais criados para carne, a população muda frequentemente porque os animais normalmente são criados por apenas parte do ano antes de serem vendidos ou abatidos. Para considerar isso, a população média anual deve refletir o número médio de animais presentes na fazenda em qualquer momento.

A seguinte equação é recomendada (de acordo com a Equação 10.1 das Diretrizes do IPCC 2019, Volume 4) para estimar a população média anual para animais de crescimento:

$$N_T = Dias_{vivo} \times \frac{NAPA_T}{365}$$

Onde:

NT = população média anual da espécie/categoria animal T

Dias_{vivo} = número médio de dias que um animal permanece na fazenda

NAPA_T = número total de animais produzidos anualmente

Por exemplo, uma fazenda que cria frangos de corte por cerca de 40 dias antes do abate. Se essa fazenda produz 80.000 frangos anualmente, a população média anual seria de 8.767 frangos de corte.

Peso Vivo

Para cada categoria de animal, pode ser informado o peso vivo médio (kg). Isso é essencial para estimar a excreção de nitrogênio e as emissões de metano. Quando disponível, recomenda-se utilizar dados reais da fazenda; caso contrário, podem ser adotados valores de referência da Tabela 10.5 das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4, ou FAOSTAT.

Sistema alimentar

As condições de alimentação influenciam as emissões de fermentação entérica, especialmente para ruminantes. Conforme a Tabela 10.5 das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4, definem-se duas situações principais:

- **Alojamento confinado (confinamento/estabulação; granjas/galpões):** animais são mantidos em baias ou estábulos com pouco gasto de energia para obter alimento (ex.: suínos, aves, vacas leiteiras em confinamento).
- **Pasto/Área de Pastejo:** animais pastam e gastam energia forrageando.

Para aves e suínos, o padrão considerado é o alojamento confinado. Classificações adicionais podem ser usadas quando necessário, consultando as tabelas mais recentes do IPCC.

Sistema de manejo de esterco (MMS)

O sistema de manejo de esterco determina os fatores de emissão de CH₄ e N₂O para cada categoria de animal, de acordo com o armazenamento, tratamento e deposição. Isso deve ser especificado no nível da fazenda, com classificação baseada na Tabela 10.18 das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4. Sistemas comuns incluem:

- **Pasto/Área de pastejo/curral:** esterco excretado diretamente no campo, sem manejo.
- **Distribuição diária:** esterco removido diariamente e aplicado em áreas agrícolas ou pastagens.
- **Lagoas, poços, compostagem, piquetes secos e outros:** aplicáveis a operações com animais confinados.

A proporção de animais em cada sistema de manejo deve ser informada para correta alocação das emissões nos processos de armazenamento e tratamento.

12.7.2. Etapa 2: Emissões de CH₄ da fermentação entérica

A fermentação entérica é um processo digestivo natural que ocorre nos sistemas de ruminantes (como bovinos, ovinos e caprinos) e, em menor escala, em não-ruminantes. Esse processo resulta na emissão de metano (CH₄), com fatores de emissão geralmente expressos em kg CH₄/cabeça/ano.

As emissões de CH₄ provenientes da fermentação entérica são calculadas de acordo com a Equação 10.19 das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4:

$$CH_{4,enterico} = \sum (EF_T \times N_T)$$

Onde:

CH_{4,enterico} = emissões de metano da fermentação entérica para a categoria T (kg CH₄/ano);

EF_T = fator de emissão para a categoria animal T (kg CH₄/cabeça/ano);

N_T = população média anual da categoria animal T.

Na ausência de dados específicos de fazenda (Tier 2), podem ser utilizados os valores Tier 1 do IPCC (2019, Volume 4, Suplemento), que fornecem fatores médios regionais. Para a América Latina, por exemplo, os valores médios de referência para bovinos não leiteiros constam do arquivo suplementar “*Tables10.A.2–3_non-Dairy_Cattle.xlsx*”, com fatores expressos em kg CH₄/cabeça/ano.

Quando disponíveis, dados regionais ou da própria fazenda (consumo alimentar, peso vivo e produtividade do rebanho) devem prevalecer, permitindo estimativas Tier 2 mais representativas.

12.7.3. Etapa 3: Emissões de CH₄ do manejo de esterco

O metano (CH₄) é produzido quando o esterco se decompõe em condições anaeróbias, ou seja, sem a presença de oxigênio. Esse processo ocorre principalmente em sistemas de confinamento, como em fazendas leiteiras, confinamentos de bovinos de corte, suinocultura e avicultura, especialmente quando o esterco é armazenado ou tratado em estado líquido (lagoas, tanques, poços ou biodigestores). Por outro lado, o esterco manejado como sólido (empilhado, compostado) ou depositado diretamente em pastagens tende a se decompor sob condições aeróbias, resultando em menores emissões de CH₄.

As emissões de CH₄ provenientes do manejo de esterco são calculadas de acordo com a Equação 10.23 das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4:

$$CH_{4,esterco} = \sum (EF_T \times N_T)$$

Onde:

CH_{4, esterco} = emissões de metano do manejo de esterco para a categoria animal T (kg CH₄/ano);

EF_T = fator de emissão específico do manejo de esterco para a categoria animal T (kg CH₄/cabeça/ano);

N_T = população média anual da categoria animal T.

A seleção do fator de emissão deve considerar o sistema de manejo de esterco (MMS) utilizado em cada categoria, conforme a Tabela 10.17 das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4. Na ausência de dados de campo, podem ser aplicados os valores Tier 1 regionais

disponibilizados pelo IPCC (2019, Volume 4, Suplemento), que fornecem médias para América Latina e demais regiões.

12.7.4. Etapa 4: Emissões de N₂O do manejo de esterco

O óxido nitroso (N₂O) proveniente do manejo de esterco resulta de emissões diretas e indiretas. Nos sistemas baseados em pasto — predominantes no Brasil, onde mais de 90% do gado é manejado dessa forma (Anualpec, 2022) — a deposição direta no solo é a principal fonte de N₂O. Já em sistemas confinados (por exemplo, suinocultura ou bovinos em confinamento), o esterco é coletado e tratado, modificando os fluxos de CH₄ e N₂O.

Adaptação das fórmulas

As equações originais do IPCC foram concebidas para inventários nacionais. Aqui, são aplicadas em forma simplificada, adequada ao nível da fazenda. Parâmetros como $T_{days}/365$ foram fixados em 365 dias (pastoreio contínuo), $AWMS$ foi assumido como 1,0 em sistemas de pastagem integral, e $Ncdg(S)$ (nitrogênio de codigestados externos em biodigestores) foi considerado zero.

A excreção anual de nitrogênio por cabeça (N_{ex} , kg N/ano) pode ser obtida nas Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4, Tabela 11.1, para cada categoria animal. Quando disponível, também pode ser calculada a partir de peso vivo e sólidos voláteis (VS), conforme Tabela 10.13a. O parâmetro $AWMS$ foi assumido como 1,0 em sistemas de pastagem integral, mas deve ser ajustado conforme o MMS declarado para sistemas confinados. Embora esta metodologia busque refletir a realidade predominante no país, podem ser utilizadas fórmulas mais específicas (*Tier 2*) sempre que houver dados de campo robustos, desde que toda a documentação seja apresentada e provenha de fontes reconhecidas.

Emissões Diretas de N₂O do Manejo de Esterco

As emissões diretas são calculadas como (adaptação da Equação 10.25 das Diretrizes do IPCC 2019, Volume 4):

$$E_{N_2O \text{ direta}} = \left(\sum_T N_T \times Nex_T \times EF_3 \right) \times \frac{44}{28}$$

Onde:

$E_{N_2O\ directa}$ = emissões diretas de N_2O (kg N_2O /ano);

N_T = número de animais na categoria T;

N_{exT} = excreção média anual de N por animal da categoria T (kg N/cabeça/ano);

EF_3 = fator de emissão direto (kg N_2O-N /kg N excretado);

44/28 = conversão das emissões de $N_2O - N$ para emissões de N_2O

Para condições de clima úmido, o IPCC (2019) recomenda $EF_3 = 0,006$ para sistemas de pastagem.

Emissões Indiretas de N_2O – Via Volatilização

Primeiro calcula-se o nitrogênio volatilizado (adaptação da Equação 10.26 das Diretrizes do IPCC 2019, Volume 4):

$$N_{vol} = \sum_T N_T \times Nex_T \times Frac_{GasMS(T)}$$

Esse valor é convertido em emissões de N_2O (adaptado da Equação 10.29):

$$E_{N_2O\ vol} = N_{vol} \times EF_4 \times \frac{44}{28}$$

Onde:

N_{vol} = nitrogênio volatilizado (kg N/ano);

N_T = número de animais da categoria T;

N_{exT} = excreção média anual de N por animal da categoria T (kg N/cabeça/ano);

$Frac_{GasMS(T)}$ = fração de nitrogênio volatilizado para os animal da categoria T (adimensional);

EF_4 = fator de emissão para N_2O a partir de N volatilizado (kg N_2O-N /kg N volatilizado);

44/28 = fator de conversão de N_2O-N para N_2O .

Valores padrão de $Frac_{GasMS}$ e EF_4 podem ser obtidos na Tabela 10.22 (Cap. 10) e Tabela 11.3 (Cap. 11) das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4.

Emissões Indiretas de N_2O – Via Lixiviação

Primeiro calcula-se o nitrogênio lixiviado (adaptação da Equação 10.27 das Diretrizes do IPCC 2019, Volume 4):

$$N_{lix} = \sum_T N_T \times Nex_T \times Frac_{lixMS(T)}$$

Esse valor é convertido em emissões de N_2O (adaptado da Equação 10.29):

$$E_{N_2O\ lix} = N_{lix} \times EF_5 \times \frac{44}{28}$$

Onde:

N_{lix} = nitrogênio perdido por lixiviação e escoamento (kg N/ano);

N_T = número de animais da categoria T;

Nex_T = excreção média anual de N por animal da categoria T (kg N/cabeça/ano);

$Frac_{lixMS(T)}$ = fração de nitrogênio lixiviado para os animal da categoria T (adimensional);

EF_5 = fator de emissão para N_2O a partir do nitrogênio lixiviado (kg N_2O-N /kg N lixiviado);

$44/28$ = fator de conversão de N_2O-N para N_2O .

Valores padrão de $Frac_{LeachMS}$ e EF_5 podem ser obtidos Tabela 10.22 (Cap. 10) e Tabela 11.3 (Cap. 11) das Diretrizes do IPCC (2019), Volume 4.

Conversão final para CO_2e

Após a obtenção dos valores em N_2O (diretos, volatilização e lixiviação), aplica-se o Potencial de Aquecimento Global (GWP) para expressar os resultados em toneladas de CO_2 equivalente (t CO_2e).

12.7.5. Aplicação de fertilizantes em pastagens

Quando pastagens recebem fertilização com produtos à base de nitrogênio, as emissões de GEE associadas são contabilizadas como parte do total de emissões da atividade de criação de animais, uma vez que a fertilização está diretamente vinculada ao manejo do solo para suporte da produção animal. Essas emissões têm a mesma origem biológica das aplicações em culturas agrícolas, envolvendo principalmente fluxos diretos e indiretos de N₂O decorrentes da atividade microbiana no solo.

Nesses casos, as emissões podem ser quantificadas de acordo com os procedimentos e equações já descritos nesta metodologia, em especial nas **Seções 12.3 “Aplicações de fertilizantes nitrogenados” e 12.4 “Calagem”**. Isso inclui a identificação de todos os fertilizantes utilizados, o cálculo da quantidade total de nitrogênio aplicado e a estimativa das emissões diretas e indiretas de N₂O, bem como eventuais emissões adicionais de CO₂ provenientes da calagem, utilizando fatores de emissão fornecidos pelas Diretrizes do IPCC (2006; 2019 *Refinement*).

13. QUANTIFICAÇÃO DOS ESTOQUES E REMOÇÕES DE CARBONO

Esta seção apresenta as diretrizes gerais para estimar os estoques e remoções de carbono na área do projeto, contemplando dois principais compartimentos:

- **Vegetação nativa (por exemplo, florestas, savanas, ecossistemas naturais):** a estimativa dos estoques iniciais e das remoções adicionais é obrigatória, utilizando preferencialmente conjuntos de dados reconhecidos e modelos derivados de sensoriamento remoto.
- **Culturas perenes de longa duração** (por exemplo, café, citros, cacau, seringueira dentre outras): a estimativa deve ser realizada quando presentes na área do projeto. Apenas as remoções líquidas (acúmulo de biomassa ao longo do tempo) são passíveis de crédito, podendo ser estimadas por modelagem raster ou por equações alométricas específicas.

A metodologia segue as Diretrizes do IPCC (2006, atualização 2019) e as melhores práticas internacionais de certificação de carbono, priorizando abordagens escaláveis e baseadas em sensoriamento remoto para assegurar robustez científica, transparência e verificabilidade. Dados de parcelas permanentes/temporárias podem ser utilizados como fonte complementar, desde que amostragem, metadados e rastreabilidade estejam documentados para auditoria. Para cada dado/modelo utilizado, é obrigatório registrar: nome, fonte, versão, data-corte, CRS, resolução, método de reamostragem e scripts versionados.

13.1. Vegetação Nativa

A quantificação dos estoques de biomassa acima do solo (AGB) em vegetação nativa deve basear-se preferencialmente em produtos derivados de sensoriamento remoto que combinem observações ópticas, LiDAR, radar e calibração com dados de campo. Esses produtos oferecem escalabilidade, comparabilidade entre biomas e potencial para monitoramento contínuo ao longo do ciclo do projeto.

13.1.1. Etapa 1: Conjunto de Dados Raster Globais/Nacionais

Conjuntos de dados adequados incluem, mas não se limitam a: os mapas de biomassa e altura do dossel do *Global Forest Watch*, as camadas de biomassa L4A do NASA GEDI (*Global Ecosystem Dynamics Investigation*), o produto de biomassa ESA CCI (*European Space Agency*) e mapas de biomassa baseados em inventários florestais nacionais, quando disponíveis.

Os conjuntos de dados preferenciais devem ter resolução espacial de 30 metros ou melhor e devem cobrir totalmente todas as áreas de vegetação nativa dentro do limite do projeto. Nos casos em que não houver conjuntos de dados de alta resolução (<30 m) disponíveis para parte da área do projeto, conjuntos de dados com resolução de até 100 metros podem ser utilizados para garantir cobertura espacial completa. Esses conjuntos de dados oferecem vantagens cruciais:

- Cobertura espacial e temporal: Sua alta resolução e atualizações regulares permitem a detecção de mudanças estruturais sutis e possibilitam o monitoramento de longo prazo.
- Estandarização: Métodos de produção harmonizados garantem consistência entre biomas, projetos e regiões, facilitando o alinhamento nacional e a comparabilidade internacional.
- Transparência e eficiência: Fontes de acesso aberto e revisadas por pares aumentam a credibilidade metodológica, reduzem vieses e agilizam a verificação por terceiros.

Para garantir a consistência espacial e a comparabilidade entre os conjuntos de dados, os proponentes de projeto devem realizar um pré-processamento geoespacial rigoroso, incluindo o alinhamento de todas as camadas raster, reprojeção para um sistema de referência de coordenadas comum (CRS), e reamostragem quando necessário. Ao integrar conjuntos de dados com diferentes resoluções espaciais, os métodos de reamostragem devem ser totalmente descritos.

A partir dos rasters selecionados, o proponente do projeto deve desenvolver um modelo espacial para estimar a biomassa acima do solo (AGB) em toda a extensão da vegetação nativa. Esse modelo deve integrar conjuntos de dados de referência reconhecidos de AGB com variáveis derivadas de sensoriamento remoto para gerar um raster contínuo de biomassa em alta resolução. Esses modelos — descritos **na Seção 13.1.2 “Etapa 2: Geração de Camadas de Biomassa Acima do Solo (AGB) em Alta Resolução para**

Cobertura Completa” — devem combinar entradas como bandas espectrais, índices de vegetação e elevação. O processo de modelagem deve ser totalmente documentado, e todos os resultados do modelo devem incluir métricas de precisão para garantir transparência, reprodutibilidade e verificação por terceiros.

13.1.2. Etapa 2: Geração de Camadas de Biomassa Acima do Solo (AGB) em Alta Resolução para Cobertura Completa

Para garantir cobertura espacial total e monitoramento contínuo, modelos espaciais devem ser desenvolvidos para preencher quaisquer lacunas não cobertas por conjuntos de dados de alta resolução e para gerar estimativas de biomassa em toda a extensão da vegetação nativa. Esses modelos devem não apenas apoiar a estimativa da linha de base, mas também possibilitar o cálculo de remoções anuais de carbono e perdas de biomassa acima do solo (AGB) decorrentes de fogo, degradação ou mudança de uso do solo ao longo do ciclo do projeto.

Essa capacidade de modelagem é especialmente crítica nos casos em que os conjuntos de dados de referência originais não são mais atualizados ou sofrem atrasos na publicação — condições que poderiam comprometer a continuidade do monitoramento do projeto e a emissão oportuna de créditos. Assim, os modelos espaciais devem basear-se em variáveis de entrada consistentemente disponíveis e dinamicamente temporais, capazes de capturar flutuações de curto prazo na estrutura e condição da biomassa.

O processo de modelagem deve basear-se em variáveis de entrada que apresentem correlação comprovada com a estrutura florestal e a densidade de carbono. Essas variáveis podem incluir, mas não se limitam a:

- Bandas espectrais e índices de vegetação (ex.: NDVI, EVI, NBR) provenientes de imagens Sentinel-2;
- Retro espalhamento de radar e índices estruturais (ex.: VV, VH, RVI) provenientes do Sentinel-1;
- Variáveis topográficas como elevação, declividade e orientação obtidas de Modelos Digitais de Elevação (DEM), como o SRTM e o ALOS.

Essas variáveis devem ser utilizadas para treinar um modelo preditivo com técnicas estatisticamente robustas, como regressão linear múltipla, Random Forest ou outros algoritmos de aprendizado de máquina. O modelo deve ser calibrado com base em valores alinhados por pixel provenientes dos rasters de referência de AGB selecionados, garantindo

consistência com estimativas reconhecidas de biomassa. Os requisitos mínimos do modelo incluem:

- Geração de um raster contínuo de AGB em toneladas por hectare (toneladas AGB/ha);
- Resolução espacial de 30 metros ou melhor;
- Utilização de métodos adequados de treinamento e validação (ex.: validação cruzada, conjunto de validação separado);
- Apresentação de métricas de acurácia do modelo, incluindo:
 - Coeficiente de determinação (R^2);
 - Erro Médio Absoluto (MAE);
 - Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE).

A documentação do projeto deve incluir:

- Fontes de dados e datas de aquisição;
- Lista completa das variáveis de entrada;
- Todas as etapas de pré-processamento;
- Algoritmo de modelagem e configurações dos parâmetros;
- Métodos de validação e respectivos resultados.

O modelo resultante deve fornecer cobertura contínua e consistente de AGB para toda a vegetação nativa dentro do limite do projeto e seguir os princípios contábeis conservadores definidos nesta metodologia. Todos os dados de entrada, camadas intermediárias, modelos treinados e conjuntos de dados de validação devem ser preservados e disponibilizados ao Organismo de Validação e Verificação (VVB) para fins de auditoria e verificação.

Uma vez que o modelo espacial ou conjunto de dados forneça um raster completo de biomassa acima do solo (AGB) para todas as áreas de vegetação nativa, a AGB total deve ser calculada. Para minimizar a influência de valores extremos — comuns em distribuições de biomassa — o valor de pixel mediano deve ser usado em vez da média. A AGB total é então calculada como:

$$AGB_{total,i} = AGB_{median,i} \times Area_i$$

Onde:

$AGB_{total,i}$ = Biomassa aérea total para o tipo de vegetação i (toneladas de AGB)

$AGB_{median,i}$ = Valor mediano de pixel do raster de AGB para o tipo de vegetação i (toneladas de AGB por hectare)

$Area_i$ = Área total do tipo de vegetação i (hectares)

13.1.3. Etapa 3: Biomassa Subterrânea (BGB) e Biomassa Total (TB)

Após a estimativa da biomassa acima do solo (AGB), deve-se calcular a biomassa subterrânea (BGB), outro componente essencial no ciclo de carbono do ecossistema (Warren et al. 2015). A biomassa subterrânea inclui a biomassa vegetal localizada no subsolo, composta principalmente por sistemas radiculares (raízes grossas e finas). A medição da BGB é desafiadora devido à inacessibilidade física (requer escavação ou perfuração) e à complexidade das estruturas radiculares (as raízes variam amplamente em tamanho, tipo e estrutura) (Mokany et al. 2006). Como resultado, a BGB é geralmente estimada usando uma razão padrão raiz/parte aérea (R:S) que varia entre 0,20 e 0,25 (IPCC, 2006, 2019).

No entanto, estudos indicam que as razões R:S variam amplamente entre diferentes regiões e tipos de vegetação (Spawn et al. 2020). Padrões globais sugerem que a alocação de biomassa para as raízes é maior em ambientes limitados por água e nutrientes, como savanas, com algumas razões R:S excedendo 1 (significando que a BGB supera a AGB) (Mokany et al. 2006, Zhou et al. 2022). Os proponentes podem usar razões alternativas provenientes de fontes revisadas por pares (por exemplo, Mokany et al., 2006; Spawn et al., 2020) adequadas ao contexto regional. O cálculo é feito da seguinte forma:

$$BGB_{total,i} = AGB_{total,i} \times RS_i$$

Onde:

$BGB_{total,i}$ = Biomassa total subterrânea para o tipo de vegetação i (toneladas de BGB)

$AGB_{total,i}$ = Biomassa total acima do solo para o tipo de vegetação i (toneladas de AGB)

RS_i = Razão raiz/parte aérea do tipo de vegetação i (adimensional)

A soma da biomassa acima e abaixo do solo representa a biomassa vegetativa total:

$$TB_{total,i} = AGB_{total,i} + BGB_{total,i}$$

13.1.4. Etapa 4: Fração de Carbono e Estoque Total de Carbono

Para estimar a quantidade de carbono armazenado na biomassa total, aplica-se uma fração de carbono (CF) — representando a proporção de carbono contida na biomassa seca da vegetação. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) fornece um valor padrão amplamente aceito de 0,47, significando que se assume que 47% da biomassa seca é carbono (IPCC, 2006, Vol. 4, Tabela 4.3; inalterado na Atualização de 2019). Este valor é baseado em extensa pesquisa e serve como padrão confiável na ausência de dados mais específicos.

Para maior precisão, os proponentes podem usar frações de carbono específicas por espécie ou por região, derivadas da literatura científica revisada por pares. Nesses casos, a fonte dos dados deve ser claramente citada para garantir transparência e credibilidade.

$$TC_{total,i} = TB_{total,i} \times CF_i$$

Onde:

$TC_{total,i}$ = Estoque total de carbono para o tipo de vegetação i (toneladas de carbono)

$TB_{total,i}$ = Biomassa total para o tipo de vegetação i (toneladas de biomassa)

CF_i = Fração de carbono para o tipo de vegetação i (toneladas de carbono por tonelada de biomassa, adimensional).

13.1.5. Etapa 5: Estimativas de remoções de carbono

Para estimar as remoções de carbono das áreas de vegetação nativa, o foco está na quantificação dos ganhos líquidos de biomassa ao longo do tempo. A remoção anual de carbono deve ser estimada usando conjuntos de dados espaciais ou modelos consistentes, capazes de acompanhar mudanças de biomassa durante um período de linha de base definido. Embora um período mínimo de cinco anos seja exigido, séries temporais mais longas são incentivadas para melhorar a robustez.

Uma abordagem possível envolve a geração de uma série temporal de rasters anuais de biomassa acima do solo (AGB) para os cinco anos anteriores à data de início do projeto. Esses rasters devem ser derivados do mesmo modelo espacial usado para estimativa de AGB (ver **Seção 13.1.2 Etapa 2**) e atualizados com insumos consistentes de sensoriamento remoto — como imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 — garantindo continuidade metodológica

ao longo dos anos. Esta abordagem permite a detecção direta de mudanças anuais em AGB e apoia uma contabilidade de carbono transparente e dinâmica.

As mudanças anuais em AGB são então convertidas em remoções de carbono aplicando os procedimentos padronizados descritos nas Etapas 3 e 4 (**Seções 13.1.3 e 13.1.4**), incluindo a estimativa da biomassa subterrânea (BGB) via razão raiz/parte aérea e aplicação da fração de carbono apropriada. O resultado final é um valor anualizado de remoção de carbono, expresso em toneladas de carbono por hectare por ano (t C/ha/ano).

Alternativamente, alguns conjuntos de dados globais — como *ESA CCI Biomass*, *GFW* ou *NASA GEDI L4A* — podem incluir estimativas modeladas de mudanças líquidas em AGB ao longo do tempo. Quando tais conjuntos de dados são usados para inferir remoções anuais, as seguintes condições devem ser atendidas:

- As suposições subjacentes e a estrutura do modelo devem ser claramente descritas
- A resolução temporal e a frequência de atualização devem estar alinhadas com o período de linha de base do projeto
- A resolução e a extensão espacial devem ser compatíveis com os limites do projeto
- Quaisquer limitações, algoritmos de suavização ou lacunas nos dados devem ser documentados

Independentemente do método selecionado, as estimativas de remoção de carbono devem ser respaldadas por documentação técnica completa e relatórios transparentes. Os seguintes materiais devem ser apresentados como parte do pacote de verificação:

- Descrição dos conjuntos de dados de entrada e cobertura temporal
- Explicação do algoritmo de modelagem ou produto de dados usado para estimativa anual de AGB
- Protocolo de cálculo para derivar as remoções anuais (incluindo etapas de BGB e fração de carbono)
- Tabela resumindo os valores anuais de AGB, BGB e estoque de carbono para cada um dos cinco anos
- Série temporal final de valores anuais de remoção (t C/ha/ano) para cada área homogênea de vegetação

13.1.6. Etapa 6: Deduções por Incerteza Baseadas em Modelo

As deduções por incerteza se aplicam ao estoque total de carbono (TC) final, após a estimativa completa da Biomassa Acima do Solo (AGB), Biomassa Subterrânea (BGB) e conversões com fração de carbono, bem como para remoções de carbono (sequestro). Isso garante que o estoque de carbono quantificado reflita não apenas o rigor metodológico, mas também a confiabilidade do modelo espacial subjacente.

Para esse fim, deve-se usar o Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE) derivado do modelo final de AGB. O RMSE quantifica a magnitude média dos erros de predição na estimativa de biomassa e é preferido ao Erro Quadrático Médio (MSE) por ser interpretável nas mesmas unidades da AGB (toneladas por hectare). Para padronizar as deduções entre projetos, calcula-se uma Razão de Incerteza Relativa (RUR) utilizando a fórmula a seguir:

$$RUR_{TC,i} = \frac{RMSE_{AGB,i}}{AGB_{median,i}}$$

Onde:

$RUR_{TC,i}$ = Razão de incerteza relativa aplicada ao estoque total de carbono para o tipo de vegetação i (adimensional)

$RMSE_{AGB,i}$ = Erro Quadrático Médio da Raiz do modelo de AGB para o tipo de vegetação i (toneladas de AGB por hectare)

$AGB_{median,i}$ = Valor mediano dos pixels do raster de AGB para o tipo de vegetação i (toneladas de AGB por hectare)

Valores mais altos de RUR indicam estimativas menos confiáveis. Com base na RUR, devem ser aplicadas as seguintes faixas de dedução ao estoque total de carbono (TC) antes da emissão de créditos: usar os limiares de incerteza com base na RUR (Tabela 2) para atribuir a faixa de dedução apropriada aos estoques de biomassa total (TC).

Tabela 2. Níveis de Dedução para Estoques Totais de Carbono e Remoções com base na Razão de Incerteza Relativa (RUR)

RUR Média (por área homogênea)	Interpretação	Dedução Aplicada ao TC
≤ 0,25	Baixa incerteza	Dedução de 5%
> 0,25–0,50	Incerteza moderada	Dedução de 10%
> 0,50–1,00	Alta incerteza	Dedução de 15%
> 1,00	Incerteza muito alta	Dedução de 20%

Abordagens alternativas—como simulações de Monte Carlo, propagação bayesiana de incerteza ou intervalos de predição de conjunto—também podem ser utilizadas no lugar da RUR, desde que totalmente documentadas, incluindo premissas, algoritmos, fontes de dados e estimativas finais de incerteza.

Recomenda-se também que os proponentes comparem os estoques ou remoções de carbono estimados com conjuntos de dados secundários em nível nacional, como o Inventário Nacional de Emissões de GEE do Brasil ou as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), conforme reportado à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Além disso, os proponentes podem apresentar o desempenho de seus modelos quando aplicados a conjuntos de dados secundários ou literatura científica (por exemplo, inventários regionais, estimativas de AGB revisadas por pares). Embora opcional, esta etapa fornece credibilidade adicional à quantificação da biomassa e reforça a base para deduções conservadoras, porém justas.

A seguinte documentação deve ser submetida para verificação por terceira parte:

- Valor final de RMSE utilizado no cálculo da RUR
- Valores medianos de AGB por área de vegetação homogênea
- Valores finais de RUR e os níveis de dedução aplicados
- Rastreabilidade clara até o raster de AGB, incluindo resolução, versão e insumos do modelo.

13.1.7. Etapa 7: Quantificação de Perdas de Carbono por Áreas Naturais Queimadas

Além da contabilização de estoques e remoções de carbono, esta metodologia fornece uma abordagem padronizada para quantificar perdas de carbono decorrentes de eventos naturais de fogo que impactam áreas de vegetação nativa. Essas perdas devem ser calculadas sempre que eventos de fogo forem detectados durante o período de crédito, pois representam reversões nos estoques de biomassa acima do solo (AGB) previamente quantificados e nos estoques de carbono associados.

Detecção de Áreas Queimadas

As áreas queimadas devem ser detectadas utilizando dados de sensoriamento remoto com resolução espacial e temporal suficiente para capturar perdas súbitas de vegetação. Recomenda-se que os proponentes utilizem imagens do Sentinel-2 e índices focados em fogo, tais como:

- Índice Normalizado de Queimadas (NBR), delta NBR (dNBR) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)
- Índice de Área Queimada (BAI)
- Detecções de fogo ativo da NASA FIRMS
- Camadas de Fogo do MapBiomas e dados do INPE Queimadas, quando disponíveis.

Esses conjuntos de dados e índices devem ser utilizados para delinear a extensão e o momento dos focos queimados dentro das áreas de vegetação nativa do projeto. Os incêndios detectados devem ser classificados por data, localização e tipo de vegetação afetada.

Quantificação das Perdas de Biomassa

Para estimar a perda de carbono resultante de eventos de fogo, a metodologia exige a comparação entre os níveis de biomassa antes e depois do incêndio na área afetada, utilizando o modelo de AGB do projeto. Especificamente:

- AGBantes deve corresponder ao raster de AGB mais recente disponível antes do evento de fogo.

- AGBdepois deve ser derivado de imagens atualizadas pós-fogo, utilizando a mesma abordagem de modelagem do Passo 2.

$$AGB_{loss,i} = AGB_{before,i} - AGB_{after,i}$$

Onde:

$AGB_{loss,i}$ = Perda de biomassa acima do solo para o tipo de vegetação i (toneladas de AGB)

$AGB_{before,i}$ = Biomassa acima do solo antes do incêndio ou evento de distúrbio para o tipo de vegetação i (toneladas de AGB)

$AGB_{after,i}$ = Biomassa acima do solo após o incêndio ou evento de distúrbio para o tipo de vegetação i (toneladas de AGB)

Essa perda de biomassa deve então ser convertida em perda total de carbono seguindo os mesmos procedimentos descritos nos Passos 3 e 4 (**Seções 13.1.3 e 13.1.4**). Especificamente, a perda de AGB é usada para estimar a biomassa abaixo do solo (BGB), utilizando uma razão raiz:parte aérea (RS), e a biomassa total perdida (AGB + BGB) é multiplicada pela fração de carbono (CF) para obter a perda total de carbono (TC_{perda}), expressa em toneladas de carbono (t C).

13.2. Remoções de Carbono em Culturas Perenes

Esta seção descreve a metodologia para quantificar as remoções de carbono de culturas perenes de longa duração, como café, citros, cacau, seringueiras, entre outros. Em contraste com a vegetação nativa, apenas as remoções líquidas de carbono — ou seja, o aumento na biomassa ocorrido durante o período de crédito — são elegíveis para geração de créditos em sistemas perenes. Os estoques de carbono existentes no início do projeto não são considerados creditáveis segundo esta metodologia.

A quantificação das remoções de carbono em culturas perenes pode seguir uma de duas abordagens principais:

- **Modelagem Espacial via Sensoriamento Remoto:** Usa previsões baseadas em raster derivadas de imagens de satélite, índices de vegetação e modelos de aprendizado de máquina para estimar mudanças anuais na biomassa na paisagem.
- **Equações Alométricas Específicas por Espécie:** Usa modelos matemáticos revisados por pares que estimam o acúmulo de biomassa com base em características da planta, como idade e densidade de plantio.

Independentemente do caminho escolhido, o método deve:

- Ser específico para a cultura e baseado em fontes cientificamente validadas;
- Garantir cobertura espacial completa das áreas de cultivo perene relevantes dentro dos limites do projeto;
- Suportar a geração de estimativas anuais de remoção de carbono por um período mínimo de cinco anos (período de monitoramento da linha de base);
- Ser totalmente documentado e reprodutível para fins de validação e verificação.

Os passos a seguir descrevem os procedimentos para implementação de cada abordagem, incluindo requisitos de dados, estrutura do modelo, conversões de biomassa para carbono e deduções de incerteza.

13.2.1. Abordagem 1: Modelagem Espacial de Biomassa para Culturas Perenes

Algumas culturas perenes — especialmente aquelas com cultivo disseminado e heterogeneidade estrutural, como café, citros e seringueiras — podem estar parcialmente representadas em conjuntos de dados regionais ou globais de biomassa. Estes incluem os produtos de biomassa L4A do NASA GEDI e o conjunto de dados de biomassa ESA CCI. Quando aplicável, tais conjuntos de dados podem servir como camada de referência inicial para Biomassa Acima do Solo (AGB), desde que:

- Os dados sejam filtrados para incluir apenas áreas mapeadas como plantações de culturas perenes, utilizando classificações de uso da terra validadas;
- O conjunto de dados forneça consistência espacial e temporal suficiente para sustentar a estimativa de remoções anuais de carbono.

Se não existir um conjunto de dados adequado ou a cobertura for incompleta, um modelo espacial dedicado deve ser desenvolvido para estimar a AGB especificamente para culturas perenes. O processo de modelagem deve seguir a mesma estrutura usada para vegetação nativa (ver Seção 13.1.2), com a importante distinção de que o modelo deve ser treinado apenas em pixels sabidamente representando tipos de culturas perenes.

O modelo deve ser treinado utilizando variáveis de entrada com relação comprovada à biomassa das culturas perenes. Essas tipicamente incluem:

- Bandas espectrais e índices de vegetação de imagens Sentinel-2, conforme indicado para vegetação nativa;

- Retroespalhamento de radar e indicadores de estrutura da vegetação do Sentinel-1, conforme indicado para vegetação nativa;
- Variáveis topográficas derivadas de Modelos Digitais de Elevação (DEM).

O modelo final deve gerar um raster contínuo de AGB com unidades expressas em toneladas de AGB por hectare (t AGB/ha). Esse raster deve fornecer cobertura espacial completa das áreas de plantio perene dentro dos limites do projeto e deve permitir a geração de camadas de séries temporais anuais.

Uma vez geradas as estimativas anuais de AGB, o projeto deve proceder à conversão para estoque total de carbono seguindo os mesmos procedimentos estabelecidos para vegetação nativa. Isso inclui a estimativa da biomassa abaixo do solo utilizando razões raiz:parte aérea específicas por espécie, o cálculo da biomassa total como a soma dos componentes acima e abaixo do solo, e a aplicação de uma fração de carbono para converter a biomassa total em estoque de carbono. Devem ser aplicados valores específicos por espécie.

O modelo espacial de biomassa deve ser validado utilizando métodos estatisticamente robustos equivalentes aos exigidos para vegetação nativa. Isso inclui técnicas de validação cruzada e a apresentação da acurácia do modelo usando RMSE. Razões de Incerteza Relativa (RUR) devem ser calculadas e utilizadas para atribuição de níveis de dedução de incerteza. Todas as deduções de incerteza devem seguir a mesma estrutura e limites definidos para vegetação nativa no Passo 6 (**Seção 13.1.6**). A documentação completa das entradas do modelo, métricas de validação e níveis de dedução deve ser incluída na submissão do projeto.

Todos os dados de entrada, scripts de modelagem, rasters intermediários e documentação devem ser preservados e submetidos para verificação por terceira parte. O modelo também deve ser replicável e transparente, com total rastreabilidade das variáveis de entrada e suposições.

13.2.2. Abordagem 2: Equações Alométricas Específicas por Espécie

Como alternativa à modelagem espacial, as remoções de carbono de culturas perenes podem ser quantificadas utilizando equações alométricas específicas por espécie. Essas equações estimam a biomassa acima do solo (AGB) com base nas características de crescimento da cultura e são particularmente adequadas para sistemas de plantio

manejaos em que as espécies, o espaçamento e os padrões de desenvolvimento das árvores são relativamente uniformes.

A maioria dos modelos alométricos para sistemas perenes expressa a AGB como uma função da idade da planta e da densidade de árvores — duas variáveis que normalmente podem ser obtidas de registros de plantio, séries temporais de imagens ou análises de sensoriamento remoto. Alguns modelos também podem incorporar altura da planta, diâmetro do caule ou dimensões da copa, dependendo do tipo de cultura e da disponibilidade dos dados. Essas equações frequentemente seguem uma forma de lei potencial ou exponencial, refletindo a curva de crescimento natural de culturas de longa duração, em que a biomassa se acumula rapidamente nos estágios iniciais e gradualmente se estabiliza à medida que as árvores atingem a maturidade.

Para aplicar a abordagem alométrica, os seguintes passos devem ser seguidos:

- Selecionar uma equação apropriada da literatura científica revisada por pares ou de diretrizes técnicas confiáveis. A equação deve ser calibrada para a espécie cultivada específica e para as condições regionais (ex: clima, sistema de manejo). A metodologia descrita no *Quantification Methodology and Accounting Framework for Carbon Sequestration in Perennial Cropping Systems* (Cool Farm Alliance & Quantis, 2022) é recomendada, pois fornece equações validadas para culturas comuns como café, citros e cacau;
- Determinar a idade da plantação e a densidade de árvores para cada talhão ou unidade de manejo. Esses dados podem ser extraídos de registros da fazenda, detectados por séries temporais de índices de vegetação via satélite, ou interpretados visualmente a partir de imagens de alta resolução. Se outras variáveis estruturais (ex: altura, diâmetro da copa) forem exigidas pela equação, devem ser obtidas com o mesmo rigor metodológico;
- Estimar a AGB por planta utilizando a equação selecionada e calcular a AGB total por hectare multiplicando pela densidade de árvores e pela área correspondente de cada unidade homogênea de cultivo.

Uma vez calculada a AGB, o procedimento segue os mesmos passos definidos para a vegetação nativa:

- Estimar a biomassa abaixo do solo (BGB) utilizando uma razão raiz:parte aérea (RS) específica por espécie;
- Combinar AGB e BGB para calcular a biomassa total (TB);

- Aplicar uma fração de carbono (CF) específica por espécie para converter a biomassa total em estoque de carbono.

Este método é particularmente vantajoso para culturas perenes como café, citros, cacau e seringueira, onde as taxas de crescimento e o desenvolvimento da biomassa são bem estudados e as práticas de manejo são consistentes. Ele permite estimativas precisas de remoções anuais de carbono, uma vez que apenas o acúmulo líquido de biomassa além da linha de base inicial é elegível para geração de crédito.

Os proponentes do projeto devem garantir transparência fornecendo:

- A fonte completa e a forma matemática da equação alométrica utilizada;
- Estatísticas de validação do estudo original (ex: R^2 , RMSE, número de observações);
- Idade da plantação, densidade de árvores e outros dados de entrada utilizados no cálculo;
- Quaisquer ajustes feitos para adaptar a equação à área ou condições do projeto.

Os proponentes devem quantificar a incerteza associada à equação alométrica selecionada para estimar a biomassa acima do solo (AGB). Isso é essencial para garantir que as remoções de carbono sejam contabilizadas de forma conservadora e reflitam a confiabilidade do modelo subjacente. A incerteza deve ser derivada de uma ou mais das seguintes fontes:

- Erro Padrão da Estimativa (SEE) ou Erro Quadrático Médio (RMSE) relatado na publicação científica original ou referência técnica;
- Intervalos de confiança em torno dos valores previstos de AGB, especialmente ao longo da faixa de idades ou tamanhos das plantas;
- Incerteza nas variáveis de entrada, particularmente idade da planta e densidade de árvores, quando essas são estimadas por sensoriamento remoto ou registros históricos em vez de medição direta em campo.

Se a publicação original não fornecer RMSE ou métricas similares, o proponente deve tentar reconstruí-las com base nos dados disponíveis. Isso pode incluir:

- Derivar o RMSE utilizando os valores de R^2 relatados e o desvio padrão residual, ou
- Calcular percentuais de erro relativo para idades comuns de plantação usando dados de validação apresentados na fonte.

Se nenhuma dessas abordagens for viável devido à falta de dados ou documentação, a metodologia exige que uma dedução padrão de incerteza de 20% seja aplicada às remoções de carbono estimadas. Isso reflete um nível de alta incerteza e está alinhado com o princípio da precaução.

Todos os materiais de apoio, cálculos e suposições devem ser documentados de forma transparente e submetidos como parte do apêndice do projeto.

14. CÁLCULO DOS CRÉDITOS ANUAIS E RESERVA DE RISCO

Esta seção estabelece como converter as estimativas finais de estoques, remoções e emissões em créditos anuais negociáveis. **Todos os valores abaixo devem estar previamente ajustados pelas deduções de incerteza** definidas nesta metodologia e já convertidos em tCO₂e. A equação do balanço líquido anual da propriedade é definida por:

$$Créditos_{ano} = \left(\frac{Estoque_{inicial}}{20} + Remocoes_{ano} - Emissoes_{ano} \right) \times (1 - Buffer_{risco})$$

Os parâmetros da equação são descritos abaixo:

Créditos ano:

Total de créditos de carbono (tCO₂e) para o ano respectivo, resultantes do balanço líquido entre emissões, remoções e estoques estimados.

Estoque de carbono da vegetação nativa:

O componente de estoque corresponde ao carbono total elegível na vegetação nativa existente no início do projeto, aprovado quanto à elegibilidade. Esse estoque é convertido em um fluxo de vinte parcelas anuais iguais, calculadas como tCO₂e/20. A liberação anual está condicionada à demonstração de manutenção do estoque no período de cada reporte, por MRV anual. A adoção de vinte anos cumpre funções essenciais: (i) distribui o reconhecimento do serviço ao longo de um horizonte compatível com ciclos operacionais agroflorestais e de culturas perenes, (ii) evita concentração inicial de emissão e reduz

exposição a revisões ex-post, ancorando a emissão ao desempenho verificado anualmente, (iii) melhora a previsibilidade financeira para pequenos e médios produtores ao transformar um estoque único em fluxo plurianual auditável, (iv) diminui a dependência de horizontes especulativos muito longos, substituindo-os por comprovação periódica de manutenção do carbono efetivamente estocado. Estoques iniciais de culturas perenes não são creditáveis.

Remoções anuais:

Envolvem o sequestro de carbono das áreas de vegetação nativa e das culturas perenes. Por serem métricas anuais, somam-se integralmente ao total de créditos do ano e devem ser reportadas separadamente (nativas e perenes).

Emissões anuais:

Somatório de todas as emissões de GEE resultantes das atividades produtivas no interior da fazenda (Escopos 1 e 2 do projeto), incluindo CH₄ e N₂O de queimadas em vegetação nativa quando ocorrerem; o CO₂ biogênico associado à perda de estoques é tratado no componente de “estoque elegível” (para evitar dupla contagem).

Buffer de risco:

O resultado anual positivo antes do buffer é a parcela do estoque do ano (descrita acima) mais as remoções anuais menos as emissões. Quando esse resultado for negativo, não há emissão de créditos no ano; o tratamento de reversões segue o capítulo específico desta metodologia (**Seção 11.2**). Do resultado anual positivo, aplica-se uma reserva (buffer) de risco de 5% em conta não negociável. O remanescente constitui o total de créditos emitidos no ano de referência, conforme a equação acima.

Todos os cálculos devem ser integralmente reprodutíveis por verificador independente, a partir de insumos primários (rasters, modelos, séries de validação e registros operacionais), com memória anual explicitando: (i) parcela do estoque liberada, (ii) remoções consideradas, (iii) emissões subtraídas, (iv) valor destinado ao buffer de risco e (v) referências de versão/data-corte/CRS/reamostragem e versionamento de scripts.

15. PLANO DE MONITORAMENTO

O Plano de Monitoramento define os procedimentos, responsabilidades, ferramentas e mecanismos de garantia de qualidade necessários para verificar a dinâmica dos estoques e remoções de carbono, emissões de GEE e riscos de não permanência ao longo do período de crédito do projeto. Ele assegura a integridade ambiental dos créditos emitidos sob esta metodologia e respalda o cumprimento dos requisitos de MRV segundo padrões nacionais e internacionais.

Um Plano de Monitoramento completo — incluindo todos os métodos utilizados e os resultados correspondentes — deve ser submetido anualmente como parte do Relatório de Monitoramento do Projeto (PMR). Esse relatório serve como base para a verificação pela VVB e para a emissão de créditos, devendo refletir os dados mais recentes disponíveis, as condições atualizadas de uso/cobertura da terra e quaisquer reversões ou distúrbios identificados. O plano e os resultados devem registrar, para cada insumo/modelo, fonte, versão, data de corte, sistema de referência de coordenadas (CRS), resolução, método de amostragem e scripts versionados.

15.1. Escopo do Monitoramento, Métodos e Frequência

O monitoramento será conduzido em toda a área contábil do projeto, conforme definida na **Seção 7 “Limites do Projeto”** desta metodologia. Para cada um dos componentes listados abaixo, o plano de monitoramento deve especificar claramente o método utilizado e a frequência aplicável. Todos os métodos devem ser consistentes com os procedimentos de quantificação, deduções por incerteza e condições de crédito estabelecidos por esta metodologia.

- **Classificação de uso e cobertura da terra (LULC)**

Deve basear-se em análise espacial utilizando imagens de satélite ópticas ou de radar, ou produtos geoespaciais equivalentes. O plano deve descrever o método de classificação, resolução espacial, período coberto e abordagem para avaliação de acurácia.

- **Detecção de distúrbios no uso da terra (ex.: fogo, desmatamento, degradação)**

O monitoramento deve incluir detecção de perda abrupta de vegetação ou mudanças estruturais por meio de imagens multitemporais ou ferramentas equivalentes. O

plano deve definir como os eventos de distúrbio são identificados, mapeados e utilizados para atualizar a área elegível para geração de créditos.

- **Quantificação das emissões de GEE oriundas de atividades agrícolas**

Deve utilizar dados de atividade coletados em nível de propriedade (ex.: uso de combustível, aplicação de fertilizantes, criação de animais) e aplicar fatores de emissão padronizados alinhados às Diretrizes do IPCC. Todas as premissas devem ser claramente declaradas.

- **Estimativa de biomassa aérea (AGB), biomassa subterrânea (BGB), biomassa total e carbono em vegetação nativa e culturas perenes**

Deve basear-se em modelos espaciais derivados de sensoriamento remoto ou estruturas de estimativa estratificada. O plano deve documentar as variáveis de entrada, estrutura do modelo, cobertura espacial e métricas de incerteza associadas.

- **Cálculo das emissões e remoções líquidas de GEE:**

Deve combinar estimativas espaciais de estoque de carbono com as emissões das atividades agrícolas para produzir o balanço líquido de carbono. O método deve incluir todas as deduções exigidas (ex.: reversões, buffer de risco, incertezas) e ser documentado de forma transparente.

- **Avaliação de riscos de não permanência e reversões**

Deve incluir rastreamento espacial sistemático de riscos como fogo ou mudança de uso da terra. O plano deve definir como esses eventos acionam ajustes nas áreas creditadas ou deduções nas remoções líquidas.

- **Avaliação da incerteza baseada em modelo**

Todos os modelos de biomassa devem incluir análise de incerteza utilizando os procedimentos padronizados descritos na **Seção 12 “Quantificação de Estoques e Remoções de Carbono”** desta metodologia. O plano deve descrever como os níveis de dedução são determinados e aplicados para reduzir o risco de supercrédito.

- **Rastreabilidade e cadeia de custódia (insetting, quando aplicável):**

Descrever como o monitoramento suporta a reconciliação volumétrica e temporal entre resultados climáticos e fluxos físicos (identificação do primeiro destinatário, documentação de lote/nota, janela de reporte).

15.2. Responsabilidades e Estrutura da Equipe

O Plano de Monitoramento deve identificar claramente todos os indivíduos ou equipes responsáveis por cada componente do processo de monitoramento. Para cada função envolvida — como análise de sensoriamento remoto, estimativa de biomassa ou gestão de dados — as responsabilidades devem ser descritas de forma explícita. Todos os dados de monitoramento devem ser arquivados eletronicamente por pelo menos cinco anos após o término do último período de crédito do projeto.

15.3. Desvios Metodológicos

Em casos excepcionais, podem ocorrer desvios em relação aos procedimentos prescritos nesta metodologia. Esses desvios devem ser formalmente documentados, justificados e verificados, assegurando que a integridade ambiental, o conservadorismo e a transparência do projeto sejam preservadas.

Para serem considerados válidos, os desvios devem ser claramente descritos e justificados no Relatório de Monitoramento. A justificativa deve demonstrar que:

- **O conservadorismo é mantido:** O desvio não pode resultar em subestimação de emissões de GEE ou superestimação de estoques ou remoções de carbono.
- **O escopo é apropriado:** Desvios se restringem a elementos metodológicos ou, em caráter excepcional e devidamente justificado, a outros aspectos essenciais, sempre condicionados à manutenção do conservadorismo, da rastreabilidade e à aprovação formal pela VVB.
- **A transparência é garantida:** Todas as premissas, fontes de dados e impactos esperados do desvio devem ser rastreáveis e claramente relatados.

Exemplos de desvios aceitáveis incluem, mas não se limitam a:

- Uso de conjuntos de dados espaciais de maior resolução, desde que haja documentação de calibração cruzada com a fonte original;
- Atualizações em parâmetros de modelagem ou premissas com base em literatura científica revisada por pares, com justificativa de maior acurácia ou conservadorismo;
- Aplicação de razões raiz/parte aérea atualizadas, específicas para condições locais ou tipos de cultura, desde que cientificamente validadas.

Apenas desvios que atendam a esses critérios e recebam aprovação formal da VVB podem ser aplicados na emissão de créditos.

15.4. Produtos da Metodologia: Estrutura de Relatórios

Esta metodologia adota um sistema padronizado de relatórios ao longo do ciclo de vida do projeto. Todos os relatórios devem ser submetidos em formato digital (PDF), acompanhados de apêndices estruturados contendo *shapefiles*, mapas raster, tabelas de dados e toda a documentação necessária para validar e verificar os créditos de carbono.

Tipo de Relatório	Descrição	Frequência	Condições
Documento de Concepção do Projeto (PDD)	Define a elegibilidade do projeto, limites, linha de base, demonstração de adicionalidade, plano de monitoramento e regras de quantificação aplicáveis	Uma vez, no início do projeto	Pode ser consolidado com o primeiro PMR em um PVMR
Relatório de Monitoramento do Projeto (PMR)	Apresenta os resultados do monitoramento, cálculos de carbono líquido, métodos de quantificação e estimativas de créditos	Anualmente	Obrigatório para emissão de créditos. Inclui dados de atividade, estoques e remoções de carbono e emissões de GEE
Relatório de Validação e Verificação (VVR)	Avaliação independente elaborada pela VVB para verificar as informações do PDD ou PMR	Anualmente (para PMR) / Uma vez (para PDD)	Deve ser submetido após cada relatório de monitoramento ou validação inicial
Relatório Consolidado de Validação e Monitoramento (PVMR)*	Relatório opcional combinando PDD e PMR quando ambos forem preparados juntos na primeira submissão	Uma única vez, no registro do projeto	Aplicável apenas se o projeto tiver completado o primeiro ciclo de monitoramento antes do registro

Nota: Submissões iniciais podem consolidar o PDD e o PMR em um PVMR, desde que critérios de elegibilidade e dados verificados de monitoramento estejam prontos no momento do registro.

15.4.1. Estrutura do Documento de Concepção do Projeto (PDD)

O PDD é submetido para a validação formal do projeto. Deve demonstrar que as propriedades participantes, os proprietários de terras, os atores envolvidos — e o projeto como um todo — atendem às condições de aplicabilidade e aos requisitos estabelecidos nesta metodologia. O documento deve fornecer uma visão completa e transparente do

desenho do projeto, sua elegibilidade e os benefícios climáticos esperados, permitindo à VVB avaliar a credibilidade dos limites, da linha de base, da adicionalidade, da abordagem de monitoramento e da gestão de riscos de longo prazo.

Seções mínimas obrigatórias:

Seção	Descrição
Resumo Executivo	Breve descrição do projeto, objetivos e serviços ambientais visados
Proponente do Projeto	Organização responsável pela implementação
Entidades Envolvidas	Parceiros de financiamento, suporte técnico ou operacional
Partes Interessadas	Identificação de atores impactados e interessados
Critérios de Elegibilidade	Justificativa conforme regulamentos e metodologia
Limites do Projeto	Delimitação da Área do Projeto, Região de Referência, Áreas de Vegetação Nativa e outras zonas aplicáveis
Cenário de Linha de Base	Descrição histórica do uso da terra, estoques de carbono, remoções e emissões de GEE
Demonstração de Adicionalidade	Demonstração baseada na ferramenta da metodologia, com suporte espacial, operacional, climático ou socioeconômico e alinhamento com SBCE e PNPSA
Plano de Monitoramento	Estratégia de monitoramento, incluindo métodos, ferramentas, manejo de incerteza e indicadores a serem rastreados
Apêndices	Documentos de suporte, tabelas, mapas raster, shapefiles e dados utilizados para análise e solicitação de créditos

15.4.2. Estrutura do Relatório de Monitoramento do Projeto (PMR)

O PMR apresenta os resultados verificados de cada ciclo de monitoramento e constitui a base para emissão de créditos de carbono. Deve comprovar que as atividades de monitoramento foram executadas conforme o planejado e que quaisquer mudanças, reversões ou deduções foram devidamente contabilizadas.

O PMR deve ser submetido anualmente, no máximo seis meses após o encerramento de cada ano de crédito, quando o balanço de carbono do período anterior estiver estabelecido.

Seções mínimas obrigatórias:

Seção	Descrição
Resumo Executivo	Benefícios climáticos verificados, resultados do monitoramento e desempenho de crédito no período
Período e Atividades de Monitoramento	Datas e escopo, descrição de atividades realizadas, mudanças de uso da terra e ajustes operacionais
Estoques e Remoções de Carbono	Resultados quantitativos de biomassa aérea e subterrânea), incluindo deduções e estimativas de incerteza
Emissões de GEE	Emissões de atividades agrícolas (ex.: combustíveis, fertilizantes, criação de animais), calculadas conforme métodos da metodologia
Cálculo de Carbono Líquido	Balanço final de emissões e remoções, com aplicação de fatores de dedução, níveis de incerteza e buffers de não-permanência
Buffer e Reversões	Documentação de perdas por fogo, desmatamento ou degradação, com deduções ou reversão de créditos correspondentes
Evidências de Verificação	Imagens, dados locais, artigos científicos, avaliações de incerteza
Evidência Geoespacial e Documental	Imagens de satélite, análises espaciais, relatórios de acurácia e fontes bibliográficas utilizadas

16. REFERÊNCIAS

Alencar, A. A., Brando, P. M., Asner, G. P., & Putz, F. E. (2015). Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. *Ecological Applications*, 25(6), 1493–1505. <https://doi.org/10.1890/14-1528.1>

Angelsen, A., Martius, C., De Sy, V., Duchelle, A. E., Larson, A. M., & Pham, T. T. (Eds.). (2018). *Transforming REDD+: Lessons and new directions*. Bogor, Indonesia: CIFOR.

Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., & Houghton, R. A. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360), 230–234. <https://doi.org/10.1126/science.aam5962>

Crouzeilles, R., Ferreira, M. S., Chazdon, R. L., et al. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances*, 3(11), e1701345. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701345>

Ecosystem Marketplace – Forest Trends. (2022). *The Art of Integrity: State of the Voluntary Carbon Markets 2022 (Q3 Update)*. Washington, DC: Forest Trends.

FAO, & UNEP. (2020). *The State of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>

Gillenwater, M. (2012). *What is Additionality? Part 1: A long-standing problem*. GHG Management Institute Discussion Paper No. 001.

Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., et al. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>

Houghton, R. A., & Nassikas, A. A. (2017). Global and regional fluxes of carbon from land use and land cover change 1850–2015. *Global Biogeochemical Cycles*, 31(3), 456–472. <https://doi.org/10.1002/2016GB005546>

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report (Chapter 7: Agriculture, Forestry and Other Land Uses—AFOLU)*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.009>

Moomaw, W. R., Masino, S. A., & Faison, E. K. (2019). Intact forests in the United States: Proforestation mitigates climate change and serves the greatest good. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2, 27. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00027>

Poorter, L., et al. (2021). Multidimensional tropical forest recovery. *Science*, 374(6573), eabh3629. <https://doi.org/10.1126/science.abh3629>

SEEG (Observatório do Clima). (2024). *Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil – 12ª edição (dados 2023)*. São Paulo: SEEG/OC.

Strassburg, B. B. N., Iribarrem, A., Beyer, H. L., et al. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586(7831), 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>

UNFCCC. (2001). Decision 17/CP.7: Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol (FCCC/CP/2001/13/Add.2). United Nations Framework Convention on Climate Change.