



Programa de Certificação de Créditos de Carbono ECORA

Documento: MOEC001 – Módulo para Mensuração de Carbono em Vegetação

Etapa de Consulta Pública

Maio de 2026

Sumário

1. Acrônimos e Definições -----	5
2. Introdução -----	8
3. Estrutura do Módulo-----	9
4. Aplicabilidade-----	10
5. Frequência de Avaliação-----	11
6. Coleta de Dados Primários-----	12
7. Utilização de Dados Secundários-----	13
7.1. Fontes de Referência para Dados Secundários-----	13
7.2. Reservatório carbono orgânico do solo-----	13
8. Estratificação da Área de Projeto -----	15
9. Biomassa Lenhosa Acima e Abaixo do Solo -----	16
9.1. Coleta de Dados -----	16
9.2. Quantificação da Biomassa -----	18
10. Biomassa Não Lenhosa Acima e Abaixo do Solo -----	21
10.1. Coleta de Dados -----	21
10.2. Quantificação da Biomassa -----	21
11. Carbono Orgânico do Solo para Projetos em que a Quantificação Seja Opcional-----	24
11.1. Coleta de Dados -----	24
11.2. Quantificação do Carbono Orgânico do Solo (COS) -----	25
12. Carbono Orgânico do Solo para Projetos em que a Quantificação Seja Obrigatória-----	30
12.1. Coleta de Dados -----	30
12.2. Quantificação do carbono orgânico do solo (COS)-----	31
13. Serrapilheira -----	35
13.1. Coleta de Dados -----	35
13.2. Quantificação da Biomassa -----	35
14. Madeira Morta -----	36
14.1. Coleta de Dados -----	36
14.2. Quantificação da Biomassa -----	37
15. Produtos Madeireiros -----	39
15.1. Coleta de Dados -----	39
15.2. Quantificação da Biomassa -----	39
16. Requisitos Para a Aplicação de Equações -----	43
16.1. Carbono Orgânico do Solo -----	43
17. Incertezas -----	45
18. Evidências-----	47
19. Referências -----	49

Apêndice A: Métodos laboratoriais para a determinação do carbono orgânico do solo em amostras de solo	51
---	----

Lista de Figuras

Figura 1. Fluxograma estrutural do módulo.	9
---	---

1. Acrônimos e Definições

Termo	Definição
Bioma	Definição aplicada ao Brasil pelo IBGE que delimita um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, resultando em uma diversidade biológica própria. São considerados os Biomas continentais do território brasileiro: Bioma Amazônia, Bioma Mata Atlântica, Bioma Caatinga, Bioma Cerrado, Bioma Pantanal e Bioma Pampa.
Biomassa Lenhosa Abaixo do Solo (B_{Ac})	Compreende toda a biomassa viva pertencente às raízes da vegetação lenhosa.
Biomassa Lenhosa Acima do Solo (B_{Ab})	Compreende toda a biomassa viva advinda da vegetação acima do solo que apresenta caule com câmbio vascular, como árvores e arbustos. Trepadeiras lenhosas, bambus e taquaras, samambaias e palmeiras com caule lignificado também serão considerados, desde que apresentem seu próprio método de estimativa de biomassa.
Biomassa Não Lenhosa Abaixo do Solo (B_{NL_Ac})	Compreende toda a biomassa viva pertencente às raízes da vegetação não lenhosa acima do solo.
Biomassa Não Lenhosa Acima do Solo (B_{NL_Ab})	Compreende toda a biomassa viva da vegetação acima do solo que não apresenta estrutura de caule lignificada, incluindo herbáceas, subarbustos e trepadeiras herbáceas.
Carbono Orgânico do Solo (COS)	Corresponde ao estoque de carbono presente na matéria orgânica do solo, incluindo resíduos vegetais em decomposição, raízes finas e compostos orgânicos estáveis associados às frações minerais, representando a fração do carbono retida no solo abaixo da superfície.
Cenário de Linha de Base (LB)	Cenário de referência quantificado contra o qual se medem os efeitos de mitigação de GEE proporcionados pelo projeto, representando as emissões e/ou remoções que ocorreriam na ausência da implementação da Atividade de Projeto, servindo como parâmetro para calcular os benefícios climáticos gerados.

Termo	Definição
Data de Início de Projeto	Data em que as atividades que levaram à geração de redução de emissões ou remoções de GEE começaram a ser implementadas.
Desenvolvedor de Projeto	Pessoa física ou jurídica designada formalmente pelo Proponente de Projeto para desenvolver, monitorar e responder tecnicamente por um projeto de redução de emissões ou remoções de GEE. O Desenvolvedor de Projeto pode ser o próprio Proponente de Projeto ou uma entidade distinta, desde que haja delegação formal de responsabilidades. O Desenvolvedor de Projeto não detém direitos legais sobre o projeto ou sobre os créditos gerados, salvo quando também for o Proponente de Projeto por titularidade legal expressa.
Desmatamento	Intervenção antrópica que resulta na remoção de vegetação nativa de uma área com a conversão para outro uso do solo.
Degradação	Perdas de estoque de carbono da vegetação nativa sem conversão para outro uso do solo.
Distúrbio	Perdas de estoque de carbono causadas por eventos naturais como incêndios, tempestades, furacões, eventos de secas extremas, alagamentos, etc.
Estrato da Área de Projeto	Subdivisão da área de interesse definida para agrupar ou separar áreas em função das características que influenciam o estoque de carbono. Os estratos concentram áreas que apresentam homogeneidade em relação ao estoque de carbono ou aos fatores que o determinam, como tipo de vegetação, estágio de desenvolvimento, uso da terra ou práticas de manejo.
Incerteza	Falta de conhecimento do valor verdadeiro de uma variável que pode ser descrita por uma Função Densidade de Probabilidade (PDF), caracterizando o intervalo e a probabilidade dos valores possíveis. A incerteza depende do estado de conhecimento do analista, o que, por sua vez, depende da qualidade e quantidade dos dados aplicáveis, bem como do conhecimento dos processos subjacentes e métodos de inferência.
Madeira Morta (MM)	Componentes lenhosos mortos localizados acima do solo, incluindo árvores mortas em pé, troncos, galhos e fragmentos de madeira caída, com diâmetro igual ou superior ao limite mínimo

Termo	Definição
Madeira Comercial	adotado no inventário de biomassa lenhosa viva acima do solo. Refere-se à madeira proveniente de espécies florestais classificadas como comerciais no contexto do manejo florestal sustentável, caracterizadas por apresentarem valor econômico reconhecido, demanda de mercado e aptidão para uso industrial ou estrutural. Essas espécies são tipicamente consideradas nos inventários florestais e no planejamento da produção, sendo utilizadas para estimativas de volume explorável, definição de ciclos de corte e avaliação da viabilidade econômica do manejo.
Produtos Madeireiros (PM)	Produtos derivados da biomassa lenhosa extraída, incluindo madeira serrada, compensados, painéis, papel e outros produtos de base florestal com diferentes tempos de vida útil.
Serrapilheira (SE)	Material orgânico recém-depositado sobre o solo, composta por folhas, galhos finos, frutos, flores e outros detritos vegetais em diferentes estágios de decomposição. Esse reservatório representa a fração transitória do carbono do ecossistema, situada acima da superfície do solo e abaixo da vegetação viva.

2. Introdução

O potencial de geração de créditos de carbono de um projeto está diretamente relacionado ao estoque de carbono dos reservatórios contemplados no projeto. Nesse contexto, a quantificação dos estoques de carbono constitui uma etapa essencial para a consistência dos projetos de crédito de carbono AFOLU. O MOEC001 – Módulo para Mensuração de Carbono em Vegetação tem como objetivo estabelecer diretrizes para a quantificação dos estoques de carbono dos principais reservatórios aplicáveis a projetos de Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo (AFOLU), incluindo: Biomassa Lenhosa Acima e Abaixo do Solo, Biomassa Não Lenhosa Acima e Abaixo do Solo, Carbono Orgânico do Solo, Serrapilheira, Madeira Morta e Produtos Madeireiros.

A aplicação do MOEC001 – Módulo para Mensuração de Carbono em Vegetação orienta os Desenvolvedores de Projetos na identificação dos métodos de coleta de dados para cada reservatório de carbono, na priorização das fontes de dados secundários e no fornecimento das equações aplicáveis, de modo a permitir a determinação do estoque médio de carbono a ser utilizado no cálculo da metodologia aplicada.

Este documento é composto por dezoito Seções, a saber: (1) *Acrônimos e Definições*, que apresenta os termos técnicos, conceitos e siglas utilizados ao longo do documento; (2) *Introdução*, que apresenta a contextualização do MOEC001 – Módulo para Mensuração de Carbono em Vegetação e seu objetivo; (3) *Estrutura do Módulo*, que descreve de forma sintética a estrutura do Módulo; (4) *Aplicabilidade*, que define o escopo de utilização do módulo; (5) *Frequência de Avaliação*, que define os momentos de mensuração dos estoques de carbono; (6) *Coleta de Dados Primários*, que apresenta as orientações para obtenção de dados em campo; (7) *Utilização de Dados Secundários*, que estabelece as diretrizes para utilização de dados oriundos de literatura; (8) *Estratificação da Área de Projeto*, que especifica os procedimentos para estratificar a Área de Projeto; (9) *Biomassa Lenhosa Acima do Solo*, que detalha os procedimentos para coleta de dados e quantificação do estoque médio de carbono para esses reservatórios; (10) *Biomassa Não Lenhosa Acima e Abaixo do Solo*, que apresenta os procedimentos para coleta de dados e quantificação do estoque médio de carbono para esses reservatórios; (11) *Carbono Orgânico do Solo para Projetos em que a Quantificação seja Opcional*, que dispõe sobre os procedimentos aplicáveis a esses casos; (12) *Carbono Orgânico do Solo para Projetos em que a Quantificação Seja Obrigatória*, que estabelece os procedimentos para esses projetos; (13) *Serrapilheira*, que aborda a quantificação do estoque médio de carbono desse reservatório; (14) *Madeira Morta*, que trata dos procedimentos para a quantificação do estoque médio de carbono nesse reservatório; (15) *Produtos Madeireiros*, que descreve os procedimentos para a quantificação do estoque médio de carbono nesse reservatório; (16) *Requisitos Para a Aplicação de Equações*, que define os requisitos para utilização de equações oriundas da literatura; (17) *Incertezas*, que apresenta os fatores que devem ser considerados para estimar as incertezas associadas aos reservatórios de carbono; e (18) *Evidências*, que indica as evidências mínimas que devem ser apresentadas ao OVV. Além disso, o Apêndice A apresenta os procedimentos laboratoriais para determinação do carbono orgânico do solo em amostras de solo.

3. Estrutura do Módulo

O MOEC001 – Módulo para Mensuração de Carbono em Vegetação estabelece as diretrizes que os Desenvolvedores de Projeto devem seguir para o estabelecimento inicial e a mensuração periódica dos estoques de carbono, incluindo a definição da frequência de mensuração no Cenário de Linha de Base, quando aplicável. O documento também descreve os procedimentos para coleta de dados e amostragem e orienta sobre o uso de fontes de dados secundários.

Adicionalmente, o módulo dispõe sobre a quantificação da biomassa nos diferentes reservatórios de carbono e tipologias vegetais, incluindo a aplicação de equações e fatores de conversão compatíveis com o tipo de vegetação e reservatório de carbono. O documento apresenta os fatores recomendados para consideração no cálculo da incerteza associada aos estoques de carbono e as evidências mínimas que o Desenvolvedor de Projeto deve incluir no Documento de Descrição do Projeto (DDP). O resultado da aplicação do MOEC001 – Módulo para Mensuração de Carbono em Vegetação é o valor de estoque de carbono médio por estrato da Área de Projeto que o Desenvolvedor de Projeto deve aplicar na metodologia utilizada.

O Fluxograma apresentado na Figura 1, sintetiza o encadeamento lógico das principais diretrizes abordadas neste módulo, bem como os reservatórios de carbono contemplados, com objetivo de facilitar a compreensão do processo de mensuração dos estoques de carbono a ser aplicado na metodologia em questão.

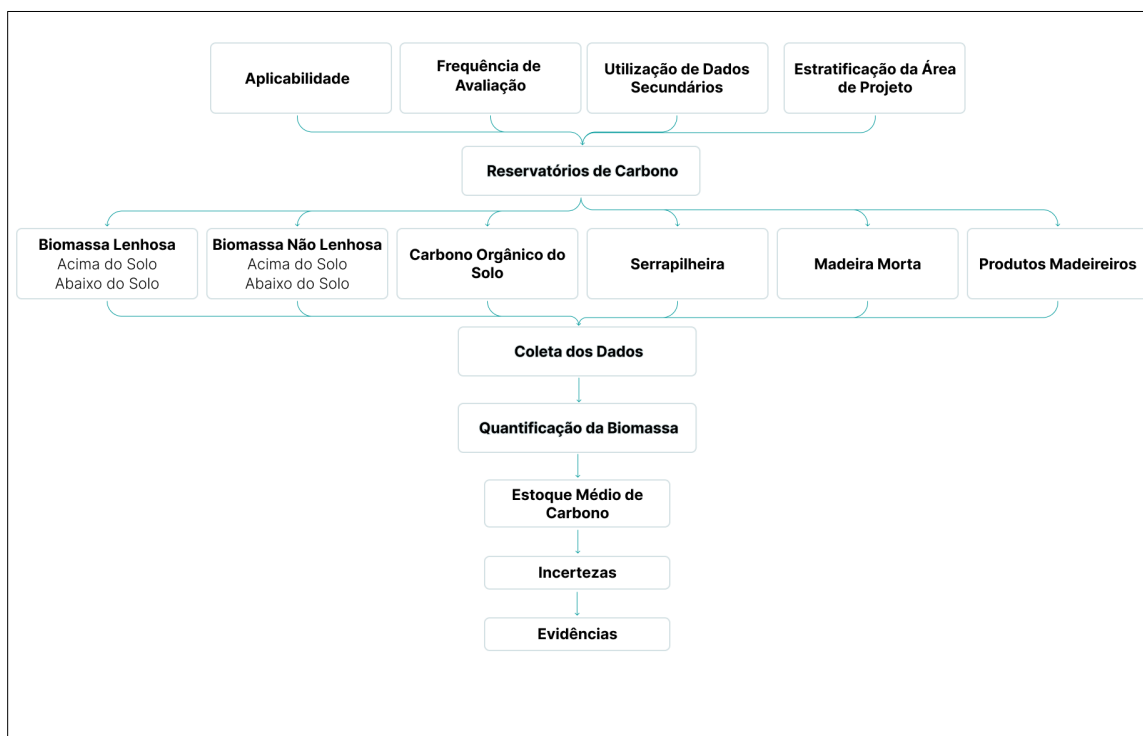


Figura 1. Fluxograma estrutural do módulo.

4. Aplicabilidade

Este módulo deve ser aplicado para a quantificação dos estoques de carbono de projetos do setor AFOLU. Métodos alternativos ou complementares de mensuração e modelagem podem ser utilizados pelo Desenvolvedor de Projeto, desde que acompanhados de justificativa técnica e evidências que comprovem sua aplicabilidade local e não gere redução da precisão quando comparado aos métodos propostos neste módulo.

Métodos alternativos ou complementares estão sujeitos à análise e aprovação pelo Programa de Certificação de Créditos de Carbono ECORA e pelos Organismos de Validação e Verificação (OVV), de forma a averiguar conformidade com os requisitos metodológicos aplicáveis.

5. Frequência de Avaliação

A primeira mensuração dos estoques de carbono deve ser realizada dentro do período de cinco anos que antecede a Data de Início de Projeto. Essas mensurações devem ser atualizadas em intervalos de até cinco anos durante o Período de Créditos do projeto. Caso a metodologia aplicada apresentar regras específicas sobre a primeira mensuração e a periodicidade de atualizações diferentes do disposto neste documento, o Desenvolvedor de Projeto deve seguir as especificações da metodologia.

6. Coleta de Dados Primários

O Desenvolvedor do Projeto deve selecionar a metodologia de campo para a coleta de dados primários conforme o reservatório de interesse e as especificações aplicáveis a cada reservatório. Para definir o procedimento de coleta de dados, deve adotar a seguinte hierarquia de fontes de referência:

- a. Manual de campo do inventário nacional. Na ausência desse manual ou quando não houver informações para o reservatório ou técnica de coleta de interesse, o Desenvolvedor de Projeto deve avançar para o item b desta hierarquia.
- b. Metodologias descritas em artigos científicos indexados nas plataformas SciELO, Web of Science e Scopus.

Independente do procedimento de coleta adotado, o Desenvolvedor de Projetos deve atender, além dos requisitos estabelecidos nas seções específicas de cada reservatório, aos seguintes critérios:

- a. Para a média global da Área de Projeto, o erro amostral para cada reservatório de carbono deve ser $\leq 20\%$ com intervalo de confiança de no mínimo 90%. Caso o erro amostral encontrado esteja acima de 20%, o Desenvolvedor de Projeto deve adotar ajustes no delineamento amostral ou nos procedimentos de coleta e análise de dados para atender ao requisito estatístico estabelecido.
- b. Para os reservatórios considerados como opcionais na metodologia aplicada, o valor do erro amostral pode ser superior ao limite de 20% desde que essa condição seja justificada no DDP, não ultrapassando o valor de 30%.

O Desenvolvedor de Projeto deve apresentar como evidência no DDP, a(s) metodologia(s) de procedimento de coleta dos dados primários adotada(s).

7. Utilização de Dados Secundários

A utilização de dados secundários, como dados de biomassa, fatores de conversão e parâmetros utilizados para a quantificação de biomassa nos reservatórios contemplados neste módulo é permitida, desde que siga as instruções apresentadas no item 7.1. A utilização de dados secundários nas fases de validação e/ou verificação é permitida quando prevista na metodologia aplicada.

7.1. Fontes de Referência para Dados Secundários

O Desenvolvedor de Projeto pode utilizar dados de biomassa provenientes da literatura científica, desde que esteja em conformidade com as etapas do processo de certificação em que o uso de dados secundários é permitido, conforme estabelecido em cada metodologia. O Desenvolvedor de Projeto deve seguir a seguinte hierarquia de fontes de referência:

- a. Dados regionais obtidos de artigos científicos indexados nas plataformas *SciELO*, *Web of Science* e *Scopus*. O dado deve ser proveniente de estudo que apresente erro amostral igual ou inferior a 20% e com intervalo de confiança de no mínimo 90%. Quando o valor do dado regional for menos conservador ao disponível no inventário nacional oficialmente consolidado pelo país onde o projeto está localizado (por exemplo, valor de estoque médio de carbono no reservatório de biomassa lenhosa acima do solo no Cenário de Linha de Base do dado regional superior ao dado do inventário nacional), o Desenvolvedor de Projeto deve utilizar o dado do inventário nacional;
- b. Dados do inventário nacional oficialmente consolidado no país. Para projetos no Brasil o Desenvolvedor de Projeto deve utilizar a versão mais recente do Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa;
- c. Dados do *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, do IPCC.

Todas as fontes de dados utilizadas devem ser referenciadas, incluindo autor, ano, publicação ou base de dados.

O Desenvolvedor de Projeto deve avaliar a aplicabilidade do dado fornecido pelo inventário nacional à sua Área de Projeto. Nos reservatórios em que o inventário nacional não apresentar o dado, o Desenvolvedor de Projeto deve seguir o disposto sobre dados regionais e sempre priorizar o conservadorismo. Quando a Área de Projeto for estratificada, o Desenvolvedor de Projeto deve apresentar dados que sejam compatíveis a nível de fitofisionomia (ou formação propriamente dita, de acordo com definição do IBGE) para cada estrato. Além disso, o dado deve ser referente ao mesmo bioma em que o estrato estiver localizado.

As plataformas indexadoras *SciELO*, *Web of Science* e *Scopus* foram adotadas como referência para a seleção de artigos científicos, pois realizam processos formais de avaliação conduzidos por comitês científicos e/ou equipes editoriais, com base em critérios técnicos e editoriais, incluindo, mas sem se limitar a revisão por pares, qualidade dos artigos do periódico e contribuição para a área temática.

7.2. Reservatório Carbono Orgânico do Solo

Para o reservatório de carbono orgânico do solo, o Desenvolvedor de Projeto pode utilizar dados provenientes de Publicações de Instituições de Pesquisas, consolidadas no país e da literatura científica, desde que esteja em conformidade com as etapas do processo de certificação em que o uso de dados secundários é permitido, conforme estabelecido em cada metodologia. O desenvolvedor de Projeto deve seguir a seguinte hierarquia de fontes de referência:

- a. Dados provenientes de fontes oficiais e reconhecidas, incluindo plataformas e instituições como MapBiomas, IBGE, EMBRAPA e *SoilGrids*, desde que sejam adotadas suas versões mais atualizadas e metodologicamente consistentes com o escopo do projeto;
- b. Dados regionais obtidos de artigos científicos indexados nas plataformas SciELO, *Web of Science* e Scopus. O dado deve ser proveniente de estudo que apresente erro amostral igual ou inferior a 20%. Os dados secundários aplicáveis ao carbono orgânico do solo devem conter, informações de densidade do solo e teor de carbono orgânico do solo, compatíveis com a profundidade de interesse estabelecida no projeto. O Desenvolvedor de Projeto deve apresentar as metodologias empregadas pelas fontes secundárias selecionadas, mencionadas acima, baseadas em publicações científicas revisadas por pares.

8. Estratificação da Área de Projeto

Quando a Área de Projeto apresentar heterogeneidade em relação a quantidade de biomassa, o Desenvolvedor de Projeto deve estratificar a área em estratos homogêneos, cada qual com características próprias e espacialmente delimitadas. A estratificação deve ser realizada, considerando, sem se limitar, aos seguintes critérios:

- a. Estoques de carbono (quando a média de uma determinada área apresentar uma variação igual ou superior a $\pm 20\%$ em relação à média global da Área de Projeto, essa área deverá ser classificada como um novo estrato);
- b. Tipo de vegetação ou fitofisionomia, considerando as características intrínsecas de cada fitofisionomia;
- c. Detecção de degradação e distúrbios.

Cada estrato deve ter a definição e delimitação justificadas tecnicamente no DDP, contendo a finalidade da estratificação, dados utilizados e critérios de decisão. A delimitação de cada estrato deve ser apresentada em mapa georreferenciado. A delimitação da estratificação pode ser definida por meio de:

- a. Estoques de carbono:
 - i. Aerolevantamentos com sensores pertinentes (Ex: LiDAR e RGB) para estimativa de biomassa e diferenciação dos estratos; ou
 - ii. Dados secundários seguindo a Seção 7.
- b. Tipos de vegetação nativa:
 - i. Dados secundários, com a classificação dos diferentes tipos de vegetação (Ex: IBGE e MapBiomass); ou
 - ii. Interpretação de aerofotografias ou imagens de satélite de alta resolução para delimitação de estratos homogêneos.
- c. Detecção de degradação e distúrbios:
 - i. Dados geoespaciais ou interpretação de aerofotografias ou imagens de satélite de alta resolução para delimitação de distúrbios como fogo, deslizamentos, alagamentos, ou qualquer distúrbio e/ou degradação que comprometa o estoque de carbono;
 - ii. Documentação oficial ou tecnicamente válida que comprove degradação planejada decorrente de plano de manejo florestal, incluindo, quando aplicável, autorizações, planos aprovados, mapas operacionais ou outros documentos equivalentes que permitam sua delimitação espacial.

9. Biomassa Lenhosa Acima e Abaixo do Solo

Esta seção estabelece as diretrizes para a quantificação dos estoques de carbono nos reservatórios de Biomassa Lenhosa Acima do Solo e Biomassa Lenhosa Abaixo do Solo, conforme definição na Seção 1.

9.1. Coleta de Dados

O Desenvolvedor de Projeto pode utilizar dados primários, secundários ou a integração de dados primários com técnicas de sensoriamento remoto. Para cada tipo de dado adotado, os procedimentos de coleta, tratamento e utilização de dados devem ser devidamente descritos no DDP.

Os dados coletados em campo devem contemplar as variáveis apropriadas para a quantificação da Biomassa Lenhosa Acima e Abaixo do Solo, para cada tipo de indivíduo lenhoso, a exemplo das métricas abaixo, sem se limitar a:

- a. Diâmetro à altura de 1,3 m do solo (DAP, cm) quando a mensuração for realizada em floresta ou Diâmetro à altura 30 cm do solo (DAS, cm) quando a mensuração for realizada em savana;
 - i. O Desenvolvedor de Projeto deve apresentar a justificativa da escolha da variável utilizada (DAP ou DAS), baseada naquela que melhor representa os indivíduos lenhosos a serem incluídos na mensuração;
 - ii. O diâmetro mínimo considerado deve estar alinhado à metodologia de campo adotada e a equação utilizada para estimar a biomassa deve ser compatível com os diâmetros observados no inventário. Esses valores devem ser mantidos ao longo de todo o Período de Crédito;
 - iii. Em caso de árvores ou arbustos com múltiplas ramificações, o Desenvolvedor de Projeto deve definir um diâmetro mínimo no qual todos os troncos com valores iguais ou maiores deverão ser incluídos;
 - iv. Esta variável é obrigatória para todos os inventários
- b. Altura total do indivíduo (Ht, m) ou altura do fuste (Hf, m);
- c. Densidade da madeira (ρ): serão aceitos valores ao nível de espécies, gênero ou de comunidade vegetal, quando aplicável. Os dados de densidade da madeira podem ser referenciados por literatura científica, caso não estejam disponíveis nas referências citadas na Seção 7 deste módulo;
- d. A escolha das variáveis deve ser justificada no DDP demonstrando sua aplicação para a quantificação da Biomassa Lenhosa Acima e Abaixo do Solo.

A escolha do método de amostragem deve contribuir para a representatividade estatística e considerar:

- a. Quando houver heterogeneidade a área deve ser estratificada, representada pela possibilidade de diferença no estoque de carbono entre as áreas consideradas. O Desenvolvedor de Projeto deve seguir o disposto na Seção 8;
- b. A amostragem poderá ser aleatória ou sistemática, o procedimento deve seguir protocolos técnicos reconhecidos, de modo a contribuir para a representatividade estatística das unidades amostrais.
- c. O georreferenciamento das unidades amostrais deve ser realizado com receptores GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), com acurácia posicional horizontal $\leq$ cinco metros;
- d. As unidades amostrais devem ser representadas por parcelas fixas ou variáveis, com formato a ser definido pelo Desenvolvedor de Projeto e justificado no DDP;
- e. As unidades amostrais devem apresentar um tamanho mínimo adequado para amostragem da vegetação do estrato, justificada no DDP;

- f. Alterações nas parcelas de campo durante o Período de Crédito devem ser justificadas nos Relatórios de Verificação e avaliadas pelo OVV;
- g. O procedimento de georreferenciamento deve ser devidamente documentado no DDP pelo Desenvolvedor de Projeto.

Utilização de sensores remotos para quantificação da Biomassa Lenhosa Acima do Solo

Para os dados de sensoriamento remoto a quantificação ou extrapolação da Biomassa Lenhosa Acima do Solo pode ser realizada por meio do auxílio de varredura a laser aerotransportada (ALS - *Airbone Laser Scanning*) em toda a Área de Projeto, ou por varredura em subparcelas representativas da Área de Projeto.

Para obter a biomassa lenhosa acima do solo utilizando ALS, o Desenvolvedor de Projetos deve realizar, no mínimo:

- a. Inventário de vegetação em campo;
- b. Varredura das áreas com LiDAR aéreo obtido por drones, helicópteros ou aviões:
 - i. O sobrevoo de LiDAR deve ocorrer de modo a corresponder ao mesmo estágio de desenvolvimento da vegetação representado pelo inventário;
 - ii. É obrigatória a sobreposição das parcelas em campo com os sobrevoos do LiDAR.
- c. Processamento dos dados e transformação das nuvens em variáveis estruturais;
- d. Desenvolvimento de modelos preditivos que relacionem as variáveis do LiDAR com as medições dos dados de biomassa obtidos pelo inventário em campo;
- e. O modelo preditivo deve ser utilizado para extrapolação do cálculo de biomassa lenhosa acima do solo (BAC) para toda a Área de Projeto.

Em relação a obtenção dos dados obtidos por aerolevanteamento:

- a. A aquisição de dados ALS deve conter uma densidade de pontos médias, suficiente para gerar um modelo digital de elevação (MDE) com resolução de um metro ou superior sobre a área observada:
 - i. O desenvolvedor de projeto deverá contribuir para a acurácia vertical do MDE seguindo métodos presentes em padrões e diretrizes consolidados nacional e internacionalmente (Ex. ASPRS (2014), NSSDA e USGS *Lidar Base Specification*);
 - ii. Recomenda-se que o Desenvolvedor de Projeto consulte estudos prévios em ecossistemas semelhantes ou realizem uma amostragem piloto para adotar as melhores práticas.
- b. O ângulo de varredura deve ser menor ou igual a 12 graus, com a recomendação de que menores ângulos sejam utilizados em vegetações onde o dossel se apresenta fechado, ou seja, onde a abertura do dossel permite pouca penetração do laser nos estratos inferiores.

Nesses casos serão possíveis dois tipos de amostragem:

- a. Cobertura total (mais recomendada): a sobreposição ao longo da linha de voo e entre as linhas de voo deve ser superior a 50%;
- b. Amostragem por subparcelas: é exigida uma cobertura mínima de 30% da Área de Projeto, e um desenho de amostragem sistemático simples para as linhas de voo.

Referente às parcelas em campo relacionadas aos dados obtidos por aerolevanteamento:

- a. Devem ser alocadas por estrato;
- b. Devem ter os seus 4 vértices georreferenciados. Em caso de parcelas circulares, o Desenvolvedor de Projeto deve se certificar de que as parcelas sejam georreferenciadas de modo a serem consideradas em sua totalidade na nuvem de pontos LiDAR. O georreferenciamento deve ser realizado com receptores GNSS, com acurácia posicional horizontal $\leq$ cinco metros;

- c. Devem ser fixas e distribuídas de modo a representar a vegetação da área ou do estrato;
- d. Não devem ser menores que os tamanho do pixel do mapa da biomassa acima do solo;
- e. A variáveis coletadas devem seguir as orientações descritas no item 9.3 “Coleta de dados”.

Sobre o processamento da nuvem de pontos LiDAR, o Desenvolvedor de Projeto deve considerar:

- a. O limite de altura mínima considerado na nuvem de pontos LiDAR deve ser definido e justificado tecnicamente com base em:
 - i. Dados de campo que comprovem a compatibilidade entre o limite e a estrutura da vegetação amostrada ou
 - ii. Referências científicas revisadas por pares, conduzidas em ecossistemas com características estruturais semelhantes.

Para a modelagem estatística dos dados obtidos por LiDAR, deve ser considerado:

- a. O Desenvolvedor de Projeto deve justificar a escolha do modelo, desde que fundamentado em abordagens reconhecidas em estudos científicos revisados por pares ou aplicados por instituições governamentais ou protocolos nacionais;
- b. O modelo deve apresentar, minimamente:
 - i. Coeficiente de determinação (R^2) $\geq 0,8$;
 - ii. Erro quadrático médio da predição (RMSE relativo) $\leq 10\%$;
 - iii. Caso os parâmetros estatísticos não atinjam os valores mínimos específicos, o Desenvolvedor de Projeto pode adotar novos valores de R^2 e RMSE, desde que não ultrapassem os limiares de 0,7 e 20% respectivamente.
- c. Parâmetros utilizados nas equações, o erro-padrão da estimativa (Syx) e a análise gráfica dos resíduos.

Em relação ao mapeamento de Biomassa Acima do solo obtidos com auxílio do LiDAR:

- a. O Desenvolvedor de Projeto deve gerar um mapa contínuo da biomassa lenhosa acima do solo (BAc) cobrindo o estrato correspondente ou toda a Área de Projeto, na ausência de estratificação, por meio da aplicação do modelo preditivo selecionado.
- b. O mapeamento deve ser realizado em uma grade regular, com tamanho de pixel definido, consistente com:
 - i. As dimensões e o arranjo das parcelas de campo: o tamanho do pixel deve ser minimamente correspondente ao tamanho das parcelas utilizadas em campo.

9.2. Quantificação da Biomassa

Biomassa Lenhosa Acima do solo

Quando a quantificação da biomassa lenhosa acima do solo ocorrer utilizando dados primários ou secundários, o Desenvolvedor de Projeto deve:

- a. Determinar a biomassa lenhosa média acima do solo, conforme Equação 1:

$$B_{Ac,e} = \frac{1}{n} \sum_{pa=1}^n B_{Ac,pa,e} \quad (1)$$

Onde:

$B_{AC,e}$ = Biomassa lenhosa média acima do solo no estrato “e” ($t\ ha^{-1}$);

$B_{AC,pa}$ = Biomassa lenhosa acima do solo por parcela amostrada no estrato “e” ($t\ ha^{-1}$);

pa = Parcela amostrada, variando de 1 até “n”;

n = Número total de parcelas consideradas na amostragem;

e = estrato 1, 2, 3 n

- b. Converter a biomassa lenhosa total em estoque total de carbono equivalente, conforme Equação 2:

$$C_{BAC,e} = (B_{AC,e} * FC) * \frac{44}{12} \quad (2)$$

Onde:

$C_{BAC,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado em biomassa lenhosa acima do solo no estrato “e” ($tCO_2e\ ha^{-1}$);

$B_{AC,e}$ = Biomassa lenhosa média acima do solo no estrato “e” ($t\ ha^{-1}$);

FC = Fator de conversão de matéria seca em carbono [$tC\ (t\ m.s.)^{-1}$]. Para projetos no Brasil utilizar dados da Comunicação Nacional. Para projetos fora do Brasil, utilizar dados do IPCC;

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [$tCO_2\ (tC)^{-1}$];

e = estrato 1, 2, 3 n.

Caso o Desenvolvedor de Projeto disponha de dados próprios mensurados para o fator de conversão de matéria seca em carbono, esses dados podem ser utilizados. A metodologia empregada para a coleta, processamento e análise dos dados deverá ser devidamente documentada, apresentada ao Organismo de Validação e Verificação (OVV) e submetida à sua validação.

Quando a quantificação da biomassa lenhosa acima do solo ocorrer utilizando dados de sensoriamento remoto, o Desenvolvedor de Projeto deve:

- a. Calcular a biomassa lenhosa média acima do solo, conforme Equação 3:

$$B_{AC,e} = \frac{\sum_i (B_{AC,pixel,i,e} * A_{pixel,i,e})}{\sum_i A_{pixel,i,e}} \quad (3)$$

Onde:

$B_{AC,e}$ = Biomassa lenhosa média acima do solo no estrato “e” ($t\ m.s.\ ha^{-1}$);

$B_{AC,pixel,i,e}$ = Biomassa lenhosa acima do solo da parte aérea no pixel “i” no estrato “e” ($t\ m.s.\ ha^{-1}$);

$A_{pixel,e}$ = Área do pixel no estrato “e” (ha);

e = estrato 1, 2, 3 n;

i = pixel considerado;

- b. Converter o valor da biomassa lenhosa média acima do solo em estoque médio de carbono equivalente, conforme Equação 4:

$$C_{BAC,e} = (B_{Ac,e} * FC) * \frac{44}{12} \quad (4)$$

Onde:

$C_{BAC,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado em biomassa lenhosa acima do solo no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

$B_{Ac,e}$ = Biomassa lenhosa média acima do solo no estrato “e” (t m.s. ha⁻¹);

FC = Fator de conversão de matéria seca em carbono [tC (t m.s.)⁻¹] Para projetos no Brasil utilizar dados da Comunicação Nacional. Para projetos fora do Brasil, utilizar dados do IPCC;

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [tCO₂ (tC)⁻¹];

e = estrato 1, 2, 3 n.

Caso a Área de Projeto apresentar bambus, trepadeiras, samambaias e palmeiras, o Desenvolvedor de Projetos pode incluí-las ao projeto desde que utilize equações de estimativa de biomassa específicas para essas espécies, conforme as orientações apresentadas na Seção 16.

Biomassa Lenhosa Abaixo do Solo

O Desenvolvedor de Projeto deve utilizar relações entre a biomassa acima e abaixo do solo provenientes de fontes oficialmente reconhecidas e validadas no país (seguir orientações da Seção 7 deste documento).

O estoque total de carbono equivalente deve ser calculado conforme Equação 5:

$$C_{BAB,e} = R * C_{BAC,e} \quad (5)$$

Onde:

$C_{BAB,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado em biomassa lenhosa abaixo do solo no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

$C_{BAC,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado em biomassa lenhosa acima do solo no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

R = Relação raiz parte aérea;

e = estrato 1, 2, 3 n.

10. Biomassa Não Lenhosa Acima e Abaixo do Solo

Este reservatório abrange os componentes de Biomassa Não Lenhosa Acima do Solo e Biomassa Não Lenhosa Abaixo do Solo, conforme definição na Seção 1.

10.1. Coleta de Dados

O Desenvolvedor de Projeto pode optar por dados primários, secundários ou a integração entre dados primários com técnicas de sensoriamento remoto. Para cada tipo de dado utilizado, o Desenvolvedor de Projeto deve seguir as disposições e requisitos definidos neste módulo e na metodologia aplicável.

Para cada tipo de dado adotado, os procedimentos de coleta, tratamento e utilização de dados devem ser devidamente documentados no DDP. A coleta da biomassa não lenhosa pode ser realizada por meio de amostragem direta ou indireta, sendo recomendada a amostragem direta. A amostragem indireta consiste na estimativa da biomassa a partir da mensuração de variáveis correlacionadas, com aplicação de equações ou fatores de conversão previamente estabelecidos na metodologia de campo adotada. Caso seja adotado o método indireto, o Desenvolvedor de Projeto deve apresentar como evidência a metodologia de coleta e os fatores de conversão utilizados. Em ambos os casos, é recomendado seguir protocolos técnicos reconhecidos pelo governo do país em que o projeto está localizado, por instituições de pesquisas nacionais ou internacionais ou por publicações científicas revisadas por pares.

Nos casos em que forem usados dados de sensoriamento remoto, a quantificação e/ou extrapolação da biomassa não lenhosa acima do solo pode ser realizada por meio do auxílio de varredura a *laser* aerotransportada (ALS). As orientações para a realização dos sobrevoos e para a quantificação e extrapolação dos dados seguem aquelas presentes no Item 9.1.

O Desenvolvedor de Projeto pode usar o mesmo sobrevoo LiDAR para quantificar biomassa lenhosa e não lenhosa, desde que adote metodologias consistentes e alinhadas aos requisitos deste módulo para ambos os tipos de biomassa.

10.2. Quantificação da Biomassa

Biomassa Não Lenhosa Acima do Solo

Quando a quantificação da biomassa não lenhosa acima do solo for realizada utilizando dados primários ou secundários, o Desenvolvedor de Projeto deve:

- a. Calcular a biomassa total não lenhosa acima do solo, conforme Equação 6:

$$B_{NL,Ac,e} = \frac{1}{n} \sum_{pa=1}^n B_{NL,Ac,pa,e} \quad (6)$$

Onde:

$B_{NL,Ac,e}$ = Biomassa não lenhosa média acima do solo no estrato “e” (t m.s. ha⁻¹);

$B_{NL,Ac,pa,e}$ = Biomassa não lenhosa acima do solo por parcela amostrada no estrato “e” (t m.s ha⁻¹);

pa = Parcela amostrada, variando de 1 até “n”;

n = Número total de parcelas consideradas na amostragem;

e = estrato 1, 2, 3 n.

- b. Converter a biomassa não lenhosa média acima do solo em estoque médio de carbono equivalente, conforme Equação 7:

$$C_{BNL,Ac,e} = (B_{NL,Ac,e} * FC) * \frac{44}{12} \quad (7)$$

Onde:

$C_{BNL,Ac,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado em biomassa não lenhosa acima do solo no estrato “e” ($tCO_2e \text{ ha}^{-1}$);

$B_{NL,Ac,e}$ = Biomassa não lenhosa total acima do solo no estrato “e” ($t \text{ m.s. ha}^{-1}$);

FC = Fator de conversão de matéria seca em carbono [$tC \text{ (t m.s.)}^{-1}$] Para projetos no Brasil utilizar dados da Comunicação Nacional. Para projetos fora do Brasil, utilizar dados do IPCC;

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [$tCO_2 \text{ (tC)}^{-1}$];

e = estrato 1, 2, 3 n.

Quando a quantificação da biomassa não lenhosa acima do solo ocorrer utilizando dados de sensoriamento, o Desenvolvedor de Projeto deve:

- a. Calcular a biomassa média, conforme Equação 8:

$$B_{NL,Ac,e} = \frac{\sum_{i=1} B_{NL,Ac,pixel,i,e} * A_{pixel,i,e}}{\sum_{i=1} A_{pixel,i,e}} \quad (8)$$

Onde:

$B_{NL,Ac,e}$ = Biomassa não lenhosa média acima do solo no estrato “e” ($t \text{ m.s. ha}^{-1}$);

$B_{NL,Ac,pixel,i,e}$ = Biomassa não lenhosa acima do solo da parte aérea no pixel “i” no estrato “e” ($t \text{ ha}^{-1}$);

$A_{pixel,i,e}$ = Área do pixel “i” no estrato “e” (ha);

i = pixel considerado.

- b. Converter o valor da biomassa não lenhosa média acima do solo em estoque médio de carbono equivalente, conforme Equação 9:

$$C_{BNL,Ac,e} = (B_{NL,Ac,e} * FC) * \frac{44}{12} \quad (9)$$

Onde:

$C_{BNL,Ac,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado em biomassa não lenhosa acima do solo no estrato “e” ($tCO_2e \text{ ha}^{-1}$);

$B_{NL,Ac,e}$ = Biomassa não lenhosa média acima do solo no estrato “e” ($t \text{ m.s. ha}^{-1}$);

FC = Fator de conversão de matéria seca em carbono [$tC \text{ (t m.s.)}^{-1}$] Para projetos no Brasil utilizar dados da Comunicação Nacional. Para projetos fora do Brasil, utilizar dados do IPCC;

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [tCO₂ (tC)⁻¹];

e = estrato 1, 2, 3 n.

Biomassa Não Lenhosa Abaixo do Solo

O Desenvolvedor de Projeto deve utilizar relações entre a biomassa não lenhosa acima e abaixo do solo provenientes de fontes reconhecidas e validadas no país (conforme orientações na Seção 7).

Para converter o valor da biomassa não lenhosa abaixo do solo em estoque total de carbono equivalente, deve ser utilizada a Equação 10:

$$C_{BNL,Ab,e} = C_{BNL,Ac,e} * R \quad (10)$$

Onde:

$C_{BNL,Ab,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado em biomassa não lenhosa abaixo do solo no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

$C_{BNL,Ac,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado em biomassa não lenhosa acima do solo no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

R = Relação raiz parte aérea.

11. Carbono Orgânico do Solo para Projetos em que a Quantificação Seja Opcional

Este reservatório abrange o componente de Carbono Orgânico do Solo, conforme definição na Seção 1 e apresenta os requisitos aplicáveis a projetos nos quais a mensuração neste reservatório seja opcional, devendo ser consultada a seção de Abrangência de Projeto da metodologia da atividade de projeto para verificar se este reservatório é opcional ou mandatório.

11.1. Coleta de Dados

O Desenvolvedor de Projeto pode utilizar dados primários ou secundários (conforme diretrizes nas Seções 6 e 7). Para cada tipo de dado utilizado, o Desenvolvedor de Projeto deve seguir as disposições e requisitos definidos neste módulo e na metodologia aplicável.

O Desenvolvedor de Projeto deve adotar métodos de amostragem de carbono orgânico do solo consagrados na literatura científica. Os procedimentos de amostragem, preparação e análise devem estar alinhados a protocolos reconhecidos internacionalmente e adequados às condições edafoclimáticas e ao objetivo do projeto.

Para cada tipo de dado adotado, os procedimentos de coleta, tratamento e utilização de dados devem ser devidamente documentados no DDP.

Para a coleta de dados primários a delimitação dos estratos deve ser realizada quando a Área de Projeto apresentar heterogeneidade, e devem ser considerados, sem se limitar, aos seguintes dados:

- a. Relevo;
- b. Tipologia de vegetação;
- c. Uso do solo;
- d. Mapa de potencialidade de carbono da Área de Projeto, recomendável;

A definição do plano de amostragem deve considerar que cada ponto amostrado deve ser georreferenciado por meio de coordenadas geográficas, com acurácia posicional horizontal $\leq$ cinco metros. Essa tolerância não implica a necessidade de reposicionamento centimétrico exato do ponto de coleta, mas indica que as amostragens subsequentes devem ocorrer no mesmo ponto amostral, admitindo-se um raio de incerteza de até aproximadamente 5 metros, de modo a evitar a coleta em locais distintos a cada verificação, salvo mediante justificativa técnica. Adicionalmente, a representatividade deve considerar um desenho amostral que contemple a adequada cobertura de estratos pequenos (priorizando, quando aplicável, o número de parcelas por estrato em vez de uma distância mínima fixa) e a devida documentação dos procedimentos de georreferenciamento e reposicionamento das parcelas.

Profundidade de amostragem para carbono orgânico do solo:

- a. Deve priorizar os horizontes superficiais, onde há maior concentração de raízes e aporte de matéria orgânica;
- b. A profundidade varia conforme o tipo de solo e do ecossistema. O Desenvolvedor de Projeto deve realizar a amostragem, no mínimo, nas camadas de 0–10 cm, 10–20 cm e 20–30 cm. Adicionalmente, o Desenvolvedor de Projeto pode realizar medições em camadas mais profundas. Para projetos no Brasil considerar o SIBCS e para projetos fora do Brasil considerar o *Soil Taxonomy* e FAO;

- c. Nos inventários, a profundidade escolhida deve ser padronizada e mantida constante ao longo de todo o período de crédito do projeto.

Coleta de amostra de solo para análise de carbono orgânico do solo (COS):

- a. Localização dos pontos de coleta:
 - i. As amostras deverão ser coletadas a uma distância máxima de cinco metros do ponto onde foi realizada a coleta da densidade aparente, de forma que ambas as coletas representem o mesmo microambiente e as mesmas condições edáficas;
 - ii. As amostras devem ser coletadas nas mesmas profundidades utilizadas para a densidade aparente, sendo obrigatória a amostragem nas camadas de 0–10 cm, 10–20 cm e 20–30 cm, e opcional a coleta em camadas mais profundas.
- b. Tipo e quantidade de amostras:
 - i. Para cada profundidade, devem ser obtidas amostras deformadas, compostas por subamostras coletadas em cinco repetições dentro da mesma parcela.
- c. Preparo da amostra composta:
 - i. As subamostras devem ser homogeneizadas em um recipiente, resultando em uma amostra composta representativa da profundidade e da parcela amostrada.

Coleta de amostra de solo para análise de densidade aparente do solo (DS):

- a. As amostras devem ser coletadas utilizando anéis volumétricos de aço inoxidável;
- b. Os pontos amostrais deverão incluir todas as profundidades definidas no plano de amostragem de carbono orgânico do solo.

Fragmentos rochosos grossos (> dois mm) devem ser peneirados e quantificados separadamente.

11.2. Quantificação do Carbono Orgânico do Solo (COS)

Quantificação utilizando dados secundários (aplicável apenas na fase *ex ante*)

Os estoques de carbono orgânico do solo após a conversão de uso do solo devem ser estimados considerando o valor médio de longo prazo correspondente ao nível de estabilização do solo. Esta mesma abordagem pode ser utilizada em estimativas preliminares *ex ante* do potencial de geração de UCEs.

Diretrizes e bases metodológicas:

- a. A estimativa dos estoques médios de carbono após conversão de uso do solo deve seguir as diretrizes do IPCC;
- b. O cálculo é baseado no estoque de carbono orgânico do solo existente no tempo inicial ($t = 0$);
- c. Esse valor deve ser ajustado por fatores de mudança que reflitam a condição do solo sob o novo uso do solo.

Fatores de mudança de uso do solo:

- a. Correspondem à relação entre o estoque de carbono no uso do solo convertido e o estoque de referência;
- b. Refletem a variação esperada no conteúdo de carbono orgânico em decorrência da conversão do uso do solo.

Dinâmica temporal das alterações no estoque de carbono:

- a. As alterações no estoque de carbono do solo decorrentes da mudança de uso do solo são assumidas como graduais, ocorrendo ao longo de 20 anos;

- b. Após esse período, considera-se que o sistema atinge um novo equilíbrio, representando o estoque médio de longo prazo.

A estimativa do estoque médio de carbono orgânico do solo após conversão de uso do solo é realizada segundo a Equação 11:

$$C_{COS, inicial, e} = C_{COS, REF, e} * FLU_e * FMG_e * FI_e \quad (11)$$

Onde:

$C_{COS, inicial, e}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo após conversão do uso do solo no estrato “e” (t C ha⁻¹);

$C_{COS, REF, e}$ = Estoque de referência de carbono orgânico do solo para condições anteriores à implantação da Atividade de Projeto, estratificado por região climática e tipo de solo, aplicável ao estrato “e” da Área de Projeto (t C ha⁻¹);

FLU_e (Fator de uso do solo) = Fator que representa a alteração no estoque em função do novo uso do solo no estrato “e”, conforme parâmetros do IPCC (adimensional);

FMG_e (Fator de manejo) = Fator que ajusta o estoque em função do nível de manejo da terra sob as novas condições de uso no estrato “e”, conforme parâmetros do IPCC (adimensional);

FI_e (Fator de entrada de carbono) = Fator que ajusta o estoque em função do nível de adição de carbono no solo sob as novas condições de uso no estrato “e”, conforme parâmetros do IPCC (adimensional);

e = estrato 1, 2, 3 n.

O Desenvolvedor de Projeto deve avaliar a área total afetada por perturbação do solo decorrente das atividades de implantação do projeto para cada estrato. Caso essa área, desconsiderando a perturbação já existente no Cenário de Linha de Base (quando aplicável), ultrapasse 10% da área total do estrato, a perda de carbono associada deverá ser contabilizada conforme a Equação 12:

$$C_{COS, prd, e} = C_{COS, inicial, e} * 0,1 \quad (12)$$

Onde:

$C_{COS, prd, e}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo perdido pela perturbação do solo atribuível à Atividade de Projeto no estrato “e” (t C ha⁻¹);

$C_{COS, inicial, e}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo no início da Atividade de Projeto no estrato “e” (t C ha⁻¹);

0,1 = Corresponde à proporção de 10% de perda de carbono orgânico do solo, conforme limite previamente estabelecido no texto, representando a proporção estimada de carbono orgânico do solo perdida nos primeiros cinco anos após o ano de preparação do local;

e = estrato 1, 2, 3 n.

A variação do estoque de carbono orgânico do solo no Cenário com Atividade de Projeto, até que seja alcançado o estado estacionário do teor de carbono orgânico do solo, é estimada utilizando as Equações 13, 14 e 15:

$$dC_{COS,e,t} = 0 \text{ para } t < t_{pert,e} \quad (13)$$

$$dC_{COS,e,t} = \frac{C_{COS, inicial,e}}{1 \text{ ano}} \text{ para } t = t_{pert,e} \quad (14)$$

$$dC_{COS,e,t} = \frac{C_{COS, REF,e} - (C_{COS, inicial,e} - C_{COS, prd,e})}{20 \text{ anos}} \text{ para } t < t < t_{pert,e} + 20 \quad (15)$$

Onde:

$dC_{COS,e,t}$ = Variação dos estoques de carbono orgânico do solo da Área de Projeto no estrato “e” no ano “t” (t C ha⁻¹ ano⁻¹);

$C_{COS, inicial,e}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo no início da Atividade de Projeto no estrato “e” (t C ha⁻¹);

$C_{COS, prd,e}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo perdido pela perturbação do solo atribuível à Atividade com Atividade de Projeto no estrato “e” (t C ha⁻¹);

$t_{pert,e}$ = Ano em que ocorre a primeira perturbação do solo da Área de Projeto no estrato “e”;

20 = Corresponde à mudança de uso do solo, sendo assumida como uma alteração gradual ao longo de um período de 20 anos;

e = estrato 1, 2, 3 n;

t = Tempo em anos decorridos desde a Data de Início de Projeto.

Em função das incertezas e das limitações intrínsecas à precisão das estimativas baseadas em fatores adotados neste módulo, a variação do estoque de carbono orgânico do solo não deve exceder 0,8 t C ha⁻¹ ano⁻¹, conforme a Equação 16:

$$\text{Se } dC_{COS,e,t} > 0,8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \text{ então } dC_{COS,e,t} = 0,8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \quad (16)$$

Onde:

$dC_{COS,e,t}$ = Taxa de variação dos estoques de carbono orgânico do solo da Área de Projeto no estrato “e” no ano “t” (t C ha⁻¹ ano⁻¹);

e = estrato 1, 2, 3 n;

t = Tempo em anos decorridos desde a Data de Início de Projeto.

A variação do estoque de carbono orgânico do solo para todos os estratos das Áreas de Projeto, no ano t, é calculada conforme a Equação 17:

$$\Delta C_{COS,e,t} = \sum_e A_e * dC_{COS,e,t} * 1 \text{ ano} * \frac{44}{12} \quad (17)$$

Onde:

$\Delta C_{COS,e,t}$ = Variação nos estoques de carbono armazenado em carbono orgânico do solo em Área de Projeto que atendem às condições de aplicabilidade deste módulo, no estrato “e” no ano “t” (t CO₂e ha⁻¹ ano⁻¹);

$dC_{COS,e,t}$ = Taxa de variação dos estoques de carbono orgânico do solo da Área de Projeto no estrato “e” no ano “t” (t C ha⁻¹ ano⁻¹);

A_e = Área do estrato “e” na Área de Projeto (ha);

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [tCO₂ (tC)⁻¹];

e = estrato 1, 2, 3 n;

t = Tempo em anos decorridos desde a Data de Início de Projeto.

Procedimentos de Quantificação Baseado em Dados Primários

A amostragem de solo deve ser realizada separadamente para cada profundidade definida no delineamento amostral. Para a quantificação do carbono orgânico do solo total, os teores determinados em cada camada devem ser agregados por meio de somatório, considerando-se as respectivas profundidades, de modo a representar o estoque total de COS no ponto amostral selecionado conforme a Equação 18:

$$C_{COS,total,a} = \sum C_{COS,p} * DS_p * E_p * (1 - FG_p) * 100 \quad (18)$$

Onde:

$C_{COS,total,a}$ = Teor total de carbono orgânico do solo na amostra, na profundidade considerada (t C ha⁻¹);

$C_{COS,p}$ = Teor de carbono orgânico do solo na amostra, na profundidade considerada (gC g⁻¹);

DS_p = Densidade do solo aparente na profundidade considerada (g cm⁻³);

E_p = Espessura da camada de solo na profundidade considerada (cm);

FG_p = Fração grosseira do solo > dois mm (%);

100 = Utilizado para conversão da unidade de área para hectare (adimensional);

p = Profundidade considerada da amostragem de solo (m);

a = amostra de solo.

A estimativa do estoque médio de carbono orgânico do solo, convertido em equivalentes de dióxido de carbono, deve-se utilizar a Equação 19:

$$C_{COS,e} = \overline{C_{COS,total,a}} * \frac{44}{12} \quad (19)$$

Onde:

$C_{COS,e}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

$\overline{C_{COS,total,a}}$ = Estoque médio de carbono total armazenado em carbono orgânico do solo no estrato “e” (t C ha⁻¹);

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [$\text{tCO}_2 (\text{tC})^{-1}$];

e = estrato 1, 2, 3 *n*;

a = amostra de solo.

12. Carbono Orgânico do Solo para Projetos em que a Quantificação Seja Obrigatória

Este reservatório abrange o componente de Carbono Orgânico do Solo, conforme definição na Seção 1 e apresenta os requisitos aplicáveis a projetos nos quais a mensuração neste reservatório seja mandatória, devendo ser consultada a seção de Abrangência de Projeto da metodologia da atividade de projeto para verificar se este reservatório é opcional ou mandatório.

12.1. Coleta de Dados

O Desenvolvedor de Projeto deve utilizar dados primários, em conformidade com as diretrizes estabelecidas na Seção 11.1. Para cada tipo de dado utilizado, o Desenvolvedor de Projeto deve seguir as disposições e requisitos definidos neste módulo e na metodologia aplicável.

Para cada tipo de dado adotado, os procedimentos de coleta, tratamento e utilização de dados devem ser devidamente documentados no DDP.

Para a coleta de dados primários devem ser observados os mesmos procedimentos descritos na Seção 11.1, somados de:

- Coleta de amostras até uma profundidade mínima de 30 cm nas camadas de 0–10 cm, 10–20 cm e 20–30 cm. Adicionalmente, o Desenvolvedor de Projeto pode realizar medições em camadas mais profundas, desde que as camadas sejam subdivididas (Ex: caso o Desenvolvedor de Projeto opte por realizar medições até a profundidade 100 cm, recomenda-se a subdivisão das camadas em intervalos como 30–45 cm, 45–60 cm, 60–80 cm e 80–100 cm);
- Mensuração direta e monitoramento por meio de análises laboratoriais (abordagem padrão), conforme descritos no Apêndice A: Métodos laboratoriais para a determinação do carbono orgânico do solo em amostras de solo;
- Mensuração direta combinada com modelagem utilizando modelos reconhecidos e revisado por pares (por exemplo, *RothC*, *DayCent*, *Century*), desde que devidamente calibrados e validados;
- A seleção do modelo deve ser adequada às condições locais (tipo de solo, clima, práticas de manejo), à disponibilidade de dados, aos recursos do Desenvolvedor de Projeto e ao escopo do projeto. A calibração e a validação devem ser conduzidas em conjuntos de dados independentes assegurando a consistência espacial e temporal;
- O modelo selecionado deve possibilitar a quantificação dos estoques de ($C_{COS,e}$) e/ou das variações nos estoques ($\Delta C_{COS,e,t}$);
- A coleta de amostras deformadas para determinação da análise granulométrica do solo é obrigatória.

O Desenvolvedor de Projeto pode utilizar o método de massa de solo equivalente (MSE) combinado com interpolação linear para estimar os estoques de carbono orgânico do solo até a profundidade máxima escolhida:

- O procedimento é aplicável para fins de quantificação em Linhas de Base, monitoramento e verificação, desde que atendidos os critérios metodológicos estabelecidos neste documento.

Requisitos de amostragem:

- As amostras devem ser coletadas, no mínimo, na seguinte estratificação vertical: 0–10 cm, 10–20 cm e 20–30 cm;
- Cada intervalo deve possuir amostras de carbono orgânico do solo e densidade do solo, coletadas na mesma profundidade e segundo protocolo de amostragem padronizado;

- c. A camada a partir de 30 cm é opcional e tem como objetivo permitir a estimativa do carbono orgânico do solo em maiores profundidades, sendo vedadas extrapolações não validadas; essa camada deve ser subdividida em intervalos menores até a profundidade escolhida. Por exemplo, caso o Desenvolvedor de Projeto opte por medições até 60 cm, a subdivisão pode ser realizada em 30–45 cm e 45–60 cm ou em intervalos ainda menores.

O Desenvolvedor de Projeto pode, alternativamente, adotar métodos distintos ao de massa de solo equivalente (MSE) com interpolação linear, desde que seja demonstrado, de forma técnica e transparente, desempenho igual ou superior na estimativa dos estoques de carbono orgânico do solo até a profundidade escolhida, incluindo evidências de validação, consistência metodológica e adequação às condições do projeto.

Massa de Solo Equivalente (MSE)

- a. A MSE deve ser utilizada para corrigir variações de DS_e entre cenários (Linha de Base vs. Projeto) ou entre tempos (t_0 vs. t_1);
- b. A profundidade equivalente deverá ser ajustada a partir da massa de solo acumulada, de forma que as comparações de $C_{COS,e}$ sejam realizadas sobre volumes equivalentes de solo;
- c. O cálculo de MSE deve seguir as diretrizes estabelecidas na Seção 12.2, e deve ser aplicado de forma consistente em todas as campanhas de monitoramento (Fowler et al., 2023).

Interpolação Linear da MSE para as Profundidades a Partir de 30 cm

- a. O Desenvolvedor de Projeto pode aplicar interpolação linear para estimar o carbono orgânico do solo em cada amostra, em pontos discretos ou em camadas intermediárias ao longo do perfil do solo nas profundidades selecionadas a partir de 30 cm;
- b. O método deve respeitar a distribuição estratificada das amostras, utilizando valores contínuos de teor de carbono orgânico do solo e de densidade aparente para cada intervalo de profundidade amostrado;
- c. A interpolação só é permitida até a profundidade para a qual haja coleta física de dados.

12.2. Quantificação do carbono orgânico do solo (COS)

Procedimentos de Quantificação com Base em Dados Primários para a Camada de 0 a 30 cm

Quando a quantificação do carbono orgânico do solo for realizada com base em dados primários, devem ser seguidos os procedimentos de quantificação estabelecidos na Seção 11.2. Nessa abordagem, o resultado obtido corresponderá ao fator $C_{COS,e}$ para a camada de 0–30 cm, devendo ser calculado a partir dos dados laboratoriais de teor de carbono orgânico e densidade aparente do solo, contribuindo para consistência metodológica entre as campanhas de amostragem e representatividade das condições do solo no ponto amostral.

Procedimentos de Quantificação da Massa de Solo Equivalente (MSE) para Camadas a Partir de 30 cm

O $C_{COS,e}$ para as camadas selecionadas a partir de 30 cm deve ser derivado a partir dos mesmos procedimentos de mensuração descritos na Seção 11.2. Esse valor será utilizado como dado de entrada para o cálculo da Massa de Solo Equivalente (MSE), devendo refletir, de forma representativa, as condições do solo na respectiva profundidade.

Para a quantificação da massa de solo equivalente, o Desenvolvedor de Projeto deve utilizar a Equação 20:

$$M_{M,e} = M_{T,e} * (1 - k * C_{COS,e}) \quad (20)$$

Onde:

$M_{M,e}$ = Massa mineral de solo por unidade de área no estrato “e” (kg m^{-2});

$M_{T,e}$ = Massa total de solo por unidade de área no estrato “e” (kg m^{-2});

$C_{COS,e}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo no estrato “e” (gC g^{-1});

k = Considerar 1,9 Fator de van Bemmelen, conforme Fowler et. al. (2023) (adimensional);

e = estrato 1, 2, 3 n.

A massa mineral de solo deve ser igual a massa inicial (equação 21):

$$M_{M,n,e} = M_{M,i,e} \quad (21)$$

Onde:

$M_{M,n,e}$ = Massa mineral de solo no novo tempo ou cenário no estrato “e” (kg m^{-2});

$M_{M,i,e}$ = Massa mineral de solo inicial no estrato “e” (massa de referência) (kg m^{-2});

e = estrato 1, 2, 3 n.

Para saber a equivalência de massa mineral para correção por massa de solo equivalente utiliza-se a Equação 22:

$$P_{a,e} * DS_{n,e} * (1 - k * COS_{n,e}) = P_{i,e} * DS_{i,e} * (1 - k * C_{COS,i,e}) \quad (22)$$

Onde:

$P_{a,e}$ = Profundidade ajustada (nova profundidade para manter a massa mineral de solo) no estrato “e” (cm);

$DS_{n,e}$ = Densidade do solo no novo tempo no estrato “e” (g cm^{-3});

$COS_{n,e}$ = Carbono orgânico do solo no novo tempo no estrato “e” (gC g^{-1});

$P_{i,e}$ = Profundidade no tempo inicial no estrato “e” (referência) (cm);

$DS_{i,e}$ = Densidade do solo no tempo inicial no estrato “e” (referência) (g cm^{-3});

$C_{COS,i,e}$ = Carbono orgânico do solo no tempo inicial no estrato “e” (referência) (gC g^{-1});

k = Considerar 1,9 Fator de van Bemmelen (adimensional);

e = estrato 1, 2, 3 n.

Para saber a profundidade ajustada necessária deve-se igualar a massa mineral aplicada entre os dois momentos utilizando a Equação 23:

$$P_{a,e} = P_{i,e} * \frac{DS_{i,e}}{DS_{n,e}} * \frac{(1 - k * C_{COS,i,e})}{(1 - k * C_{COS,n,e})} \quad (23)$$

Onde:

$P_{a,e}$ = Profundidade ajustada (nova profundidade para manter a massa mineral de solo) no estrato “e” (cm);

$P_{i,e}$ = Profundidade no tempo inicial no estrato “e” (referência) (cm);

$DS_{i,e}$ = Densidade do solo no tempo inicial no estrato “e” (referência) (g cm^{-3});

$DS_{n,e}$ = Densidade do solo no novo tempo no estrato “e” (g cm^{-3});

$C_{COS,i,e}$ = Carbono orgânico do solo no tempo inicial no estrato “e” (referência) (gC g^{-1});

$C_{COS,n,e}$ = Carbono orgânico do solo no novo tempo no estrato “e” (gC g^{-1});

k = Considerar 1,9 Fator de van Bemmelen (adimensional);

e = estrato 1, 2, 3 n.

Após calcular a profundidade ajustada deve-se estimar o estoque de carbono ajustado utilizando a Equação 24:

$$C_{COS,cr,g,e} = P_{a,e} * DS_e * C_{COS,e} * 100 * \frac{44}{12} \quad (24)$$

Onde:

$C_{COS,cr,g,e}$ = Carbono orgânico do solo corrigido no estrato “e” ($\text{tCO}_2\text{e ha}^{-1}$);

$P_{a,e}$ = Profundidade ajustada no estrato “e” (cm ou m);

DS_e = Densidade do solo no estrato “e” (g cm^{-3});

$C_{COS,e}$ = Carbono orgânico do solo no estrato “e” (gC g^{-1});

100 = Utilizado para conversão da unidade de massa por área (adimensional);

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [$\text{tCO}_2 (\text{tC})^{-1}$];

e = estrato 1, 2, 3 n.

Portanto, o resultado representa o $C_{COS,e}$ para a faixa a partir de 30 cm (Ex: 30–60 cm). A Equação 24 deve ser aplicada a cada camada amostrada individualmente. Por exemplo, se a camada considerada for de 30–60 cm, e se houver mais de uma medição de $C_{COS,e}$ dentro dessa faixa, como em subcamadas de 30–45 cm e 45–60 cm, o Desenvolvedor de Projeto deve somar os valores de $C_{COS,cr,g,e}$ de cada subcamada.

Assim, o $C_{COS,e}$ para a faixa 30–60 cm será igual ao somatório dos $C_{COS,cr,g,e}$ da Equação 24 quando houver múltiplas medições dentro da faixa.

Quantificação do Carbono Orgânico do Solo por Estrato

A quantificação do estoque de carbono orgânico do solo será realizada pelo somatório dos estoques de carbono das camadas de 0–30 cm e a partir de 30 cm (Ex: 30–60 cm), conforme a Equação 25:

$$C_{COS,e} = C_{COS,e,0-30} + C_{COS,e>30} \quad (25)$$

Onde:

$C_{COS,e}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo no estrato “e” ($\text{tCO}_2\text{e ha}^{-1}$);

$C_{COS,e,0-30}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo na camada 0-30 cm, no estrato “e” ($\text{tCO}_2\text{e ha}^{-1}$);

$C_{COS,e>30}$ = Estoque de carbono armazenado em carbono orgânico do solo na camada a partir de 30 cm, no estrato “e” ($\text{tCO}_2\text{e ha}^{-1}$);

e = estrato 1, 2, 3 n.

13. Serrapilheira

Esta seção estabelece as diretrizes para a quantificação dos estoques de carbono no reservatório de Serrapilheira, conforme definição na Seção 1.

13.1. Coleta de Dados

O Desenvolvedor de Projeto deve utilizar dados primários. Para cada tipo de dado adotado, os procedimentos de coleta, tratamento e utilização de dados devem ser devidamente descritos no DDP.

Delineamento Amostral e Coleta de Dados:

- O delineamento amostral deve ser representativo e padronizado para todos os estratos, objetivando consistência metodológica e a comparabilidade entre verificações;
- É necessário coletar todo o material orgânico solto (folhas, fragmentos finos e grossos) até o ponto de contato com o horizonte mineral ou até o limite operacional especificado no protocolo.

O Desenvolvedor de Projeto deve justificar e indicar a base de dado utilizada para definição dos estratos. Dentro de cada estrato, as parcelas devem ser distribuídas com objetivo de se obter uma cobertura espacial adequada, alocadas em campo de uma das seguintes formas:

- Sistemática com início aleatório;
- Amostragem em grade (malha regular);
- Amostragem aleatória estratificada;
- Amostragem sistemática estratificada.

13.2. Quantificação da Biomassa

Para determinar o estoque de carbono equivalente na serrapilheira deve ser aplicada a Equação 26:

$$C_{SE,e} = \frac{\sum(B_{SE,pa,e} * 10)}{n} * FC_{MS,SE} * \frac{44}{12} \quad (26)$$

Onde:

$C_{SE,e}$ = Estoque médio de carbono equivalente armazenado na serrapilheira ($tCO_2e \text{ ha}^{-1}$);

$B_{SE,pa,e}$ = Biomassa da serrapilheira na parcela amostrada (esquadro de 1x1 metro) no estrato “e” (kg m.s.);

10 = Fator de conversão de kg m.s. m^{-2} para $t \text{ m.s. ha}^{-1}$;

$FC_{MS,SE}$ = Fração de carbono da matéria seca na serrapilheira [$tC (t \text{ m.s.})^{-1}$] Para projetos no Brasil utilizar dados da Comunicação Nacional. Para projetos fora do Brasil, utilizar dados do IPCC;

pa = Parcela amostrada, variando de 1 até “n”;

e = estrato 1, 2, 3 n

n = número de parcelas amostradas (esquadro 1x1 metros) no estrato “e”;

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [$tCO_2 (tC)^{-1}$].

14. Madeira Morta

Esta seção estabelece as diretrizes para a quantificação dos estoques de carbono no reservatório de Madeira Morta, conforme definição na Seção 1.

14.1. Coleta de Dados

O Desenvolvedor de Projeto pode utilizar dados primários ou secundários. Para cada tipo de dado adotado, os procedimentos de coleta, tratamento e utilização de dados devem ser devidamente descritos no DDP.

Madeira Morta em Pé

O Desenvolvedor de Projeto deve classificar os indivíduos mortos em pé de acordo com as seguintes classes de decomposição, adaptadas do documento *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry* do IPCC.

- a. Classe 1: Corresponde a árvores com ramos e gravetos preservados, mantendo arquitetura semelhante à de indivíduos vivos, exceto pela ausência de folhas.
- b. Classe 2: Corresponde a árvores com sinais evidentes de decomposição, além da perda de folhas, incluindo a perda parcial de gravetos, galhos ou da copa.

A biomassa deve ser estimada conforme sua classe de decomposição (distinta da classe de densidade da madeira morta):

- a. Classe 1:
 - i. Utilizar equação alométrica ou Fator de Expansão de Conversão de Biomassa (FECB) aplicável a árvores vivas, assumindo densidade da madeira equivalente à de indivíduos vivos;
 - ii. O valor de FECB pode ser obtido na literatura específica (por espécie, tipo de vegetação ou região), conforme IPCC; ou
 - iii. derivado empiricamente a partir de inventários locais, quando há dados de biomassa total e volume mensurados em árvores amostradas.
- b. Classe 2:
- c. Deve-se estimar apenas a biomassa do tronco principal, convertendo o volume em biomassa por meio da densidade da madeira morta correspondente. A estimativa do estoque de biomassa da madeira morta em pé é realizada com base em medições de campo obtidas nas mesmas parcelas em que serão coletados os dados de biomassa acima do solo, conforme a Seção 9.1;
- d. O Desenvolvedor de Projeto deve determinar a biomassa individual de cada árvore morta em pé registrada na parcela (pa) pertencente ao estrato (e);
- e. O valor final do estoque médio de biomassa de madeira morta em pé deve ser utilizado para estimar o estoque de carbono correspondente, aplicando o fator de conversão de biomassa para carbono conforme definido pela metodologia aplicável.

Madeira Morta Caída

- a. A quantificação da madeira morta caída deve ser realizada pelo método de interseção em linha, dentro da parcela onde serão coletados os dados de biomassa acima do solo;

- b. O método de interceptação de linhas, com a localização dentro da parcela e quantidade de linhas utilizadas deve ser descrito, justificado e baseado em protocolos técnicos consolidados ou artigos científicos revisados por pares.
- c. O Desenvolvedor de Projeto deve medir o diâmetro do tronco (em cm) no ponto de interseção com a linha do transecto e utilizar esse dado para estimar o volume em (m³. ha⁻¹), conforme Equação 28.
- d. Para cada fragmento de madeira morta interceptado, deve ser registrado o diâmetro no ponto de interseção e classificado o grau de decomposição de acordo com três classes padronizadas:
 - Classe 1: madeira íntegra, com casca e estrutura preservada;
 - Classe 2: decomposição intermediária, sem ramos, com casca parcial e madeira firme;
 - Classe 3: decomposição avançada, sem casca e com textura friável.

A determinação da classe deve ser feita com base em inspeção visual e no teste de resistência à penetração, conforme recomendado pelo *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry* do IPCC.

14.2. Quantificação da Biomassa

Madeira Morta em Pé

Para realizar o cálculo de estoque médio de biomassa em árvores mortas em pé presentes na parcela amostral (pa) no estrato (e) deve ser aplicada a Equação 27:

$$B_{MM,P,pa,e} = \sum_{pa,e=1}^{N^{\circ}pa,e} \frac{B_{AM,P,pa,e}}{A_{pa}} \quad (27)$$

Onde:

$B_{MM,P,pa,e}$ = Biomassa da madeira morta em pé na parcela amostrada no estrato “e” (t m.s.ha⁻¹);

$B_{AM,P,pa,e}$ = Biomassa de cada árvore morta em pé na parcela amostrada no estrato “e” (t m.s);

pa = Parcela amostrada;

e = estrato 1, 2, 3 n;

A_{pa} = Área da parcela (ha);

N° = Número de árvores mortas em pé na parcela amostrada pa do estrato e .

Madeira Morta Caída

O volume de madeira morta caída deve ser aplicado separadamente para cada classe de decomposição conforme a Equação 28:

$$V_{MM,e} = \frac{(\sum Di^2)}{8 * L} \quad (28)$$

Onde,

$V_{MM,e}$ = Volume de madeira caída na classe de decomposição ($m^3 \cdot ha^{-1}$);

Di = Diâmetro medido no ponto de interseção com o transecto (cm);

8 = Fator de normalização de Warren, W. G; Olsen, P. F. (1964);

L = comprimento total do transecto (m).

Para determinar a biomassa de madeira morta caída total no estrato, o Desenvolvedor de Projeto deve aplicar a equação 29:

$$B_{MM,C,e} = \sum_{CD=1}^{CD} (V_{MM,e} * D_{MM_CD}) \quad (29)$$

Onde:

$B_{MM,C,e}$ = Biomassa da madeira morta caída no estrato “e” ($t \cdot m.s. \cdot ha^{-1}$);

$V_{MM,e}$ = Volume de madeira caída na classe de decomposição ($m^3 \cdot ha^{-1}$);

D_{MM_CD} = Densidade média da madeira morta na classe de densidade CD (classe 1 = madeira íntegra; classe 2 = decomposição intermediária; classe 3 = decomposição avançada). ($t \cdot m.s. \cdot m^{-3}$).

CD = Classe de densidade da madeira morta (classe 1 = madeira íntegra; classe 2 = decomposição intermediária; classe 3 = decomposição avançada).

Madeira Morta Total

Para a conversão da biomassa da madeira morta em estoque médio total de carbono equivalente deve ser utilizada a Equação 30:

$$C_{MM,e} = \left((B_{MM,P,e} + B_{MM,C,e}) * FC_{MS,MM} \right) * \frac{44}{12} \quad (30)$$

Onde:

$C_{MM,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado na madeira morta no estrato “e” ($tCO_2e \cdot ha^{-1}$);

$B_{MM,P,e}$ = Biomassa da madeira morta em pé no estrato “e” ($t \cdot m.s. \cdot ha^{-1}$);

$B_{MM,C,e}$ = Biomassa da madeira morta caída no estrato “e” ($t \cdot m.s. \cdot ha^{-1}$);

$FC_{MS,MM}$ = Fração de carbono da matéria seca na madeira morta [$tC \cdot (t \cdot m.s.)^{-1}$] Para projetos no Brasil utilizar dados da Comunicação Nacional. Para projetos fora do Brasil, utilizar dados do IPCC;

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [$tCO_2 \cdot (tC)^{-1}$].

15. Produtos Madeireiros

Esta seção estabelece as diretrizes para a quantificação dos estoques de carbono em Produtos Madeireiros, conforme definição na Seção 1.

15.1. Coleta de Dados

O Desenvolvedor de Projeto pode utilizar dados primários ou secundários. Para cada tipo de dado adotados, os procedimentos de coleta, tratamento e utilização de dados devem ser devidamente descritos no DDP.

Para a coleta de dados primários, o Desenvolvedor de Projeto deve considerar:

- Estimativa direta do volume de madeira extraída;
- A estimativa deve ser realizada seguindo protocolos técnicos de instituições consolidadas no país e revisado por pares.

Em relação à utilização de dados secundários para a quantificação de parâmetros biofísicos e fatores necessários à estimativa dos estoques e fluxos de carbono, incluindo densidade da madeira, fatores de conversão e fração de carbono, será permitido o uso de dados secundários, desde que provenientes de fontes técnicas reconhecidas e adequadamente justificadas, conforme fontes e hierarquia estabelecidas na Seção 7.1. Na ausência de dados aplicáveis provenientes dessas fontes, para a quantificação dos estoques de carbono em Produtos Madeireiros, poderão ser utilizadas dados provenientes das seguintes referências:

- Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Bases de dados e publicações do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA);
- Publicações, bases de dados e estudos técnicos da Embrapa;
- Global Wood Density Database* (FISCHER, F.J. et al, 2026);
- Estatísticas internacionais de produtos florestais da *Food and Agriculture Organization* (FAO).

A metodologia empregada para a coleta, processamento e análise dos dados deverá ser devidamente documentada, incluindo a justificativa para a escolha das fontes e parâmetros utilizados.

15.2. Quantificação da Biomassa

Quando o Desenvolvedor de Projeto possuir plano de manejo florestal ou colheita madeireira aprovado para a Área de Projeto, contendo a intensidade de exploração por estrato expressa em volume de madeira extraído por hectare, o cálculo do estoque de carbono deve ser realizado conforme a Equação 31.

$$C_{PMb,ClSPM,e} = \frac{1}{A_{total,e}} * \sum_{Ea=0}^{Ea} V_{PM,Ea,h,e} * D_{Ea} * FC_{Ea} * \frac{44}{12} \quad (31)$$

Onde:

$C_{PMb,ClSPM,e}$ = Estoque médio bruto de carbono armazenado por classe de produto madeireiro no estrato “e” ($tCO_2e \ ha^{-1}$);

$V_{PM,Ea,h,e}$ = Volume comercial de madeira extraída do estrato “e” por espécie e classe de produto madeireiro (m^3);

$A_{total,e}$ = Área total do estrato “e” (ha);

D_{Ea} = Densidade média da madeira da espécie (t m.s. m⁻³);

FC_{Ea} = Fração de carbono da biomassa para a espécie arbórea [tC (t m.s.)⁻¹]. Para projetos no Brasil utilizar dados da Comunicação Nacional. Para projetos fora do Brasil, utilizar dados do IPCC;

Ea = 1, 2, 3,... espécies de árvores;

e = Estrato 1, 2, 3 n;

ClsPM = classe de produto madeireiro, como madeira serrada, painéis a base de madeira, madeira em tora industrial, celulose, carvão, lenha, entre outros;

$\frac{44}{12}$ = Fator molecular de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente [tCO₂ (tC)⁻¹].

Na ausência de planos de manejo florestal ou colheita madeireira aprovados ou de informações disponíveis para a Área de Projeto relacionadas ao estoque de biomassa acima do solo, o estoque médio de carbono associado aos produtos madeireiros deve ser estimado conforme a Equação 32, em conformidade com as orientações estabelecidas na metodologia aplicada.

$$C_{PMb,ClsPM,e} = C_{BAC,e} * \frac{1}{FCEB} * F_{MC,e} \quad (32)$$

Onde:

$C_{PMb,ClsPM,e}$ = Estoque médio bruto de carbono armazenado por classe de produto madeireiro no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

$C_{BAC,e}$ = Estoque médio de carbono armazenado na biomassa acima do solo no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

$FCEB$ = Fator de conversão e expansão da biomassa (Adimensional). Fator utilizado para converter o volume comercial de madeira por unidade de área em biomassa arbórea total acima do solo por unidade de área e estimar a proporção da biomassa florestal com potencial de aproveitamento para produtos madeireiros. Deve ser obtido a partir de dados de literatura, seguindo as orientações da Seção 15.1;

$F_{MC,e}$ = Volume comercial total da biomassa acima do solo no estrato “e” (%). Fator utilizado para estimar a proporção da biomassa com potencial de aproveitamento para produtos madeireiros que será efetivamente destinada à produção de produtos madeireiros. Deve ser obtido a partir de dados de literatura, seguindo as orientações da Seção 15.1;

ClsPM = classe de produto madeireiro, como madeira serrada, painéis a base de madeira, madeira em tora industrial, celulose, carvão, lenha, entre outros;

e = estrato 1, 2, 3 n.

O volume de madeira extraída que se converte em resíduo durante o processamento industrial não é incorporado ao reservatório de produtos madeireiros, pois esse material é considerado emissivo, resultante de perdas por ineficiência no processo de conversão. Para obter o valor do estoque de carbono líquido para cada classe de produto madeireiro o Desenvolvedor de Projeto deve utilizar a equação 33:

$$C_{PM,ClsPM,e} = C_{PMb,ClsPM,e} * (1 - RM_{ClsPM,e}) \quad (33)$$

Onde:

$C_{PM,ClSPM,e}$ = Estoque líquido de carbono armazenado por classe de produto madeireiro no estrato “e” ($tCO_2e\ ha^{-1}$);

$C_{PMb,ClSPM,e}$ = Estoque médio bruto de carbono armazenado por classe de produto madeireiro no estrato “e” ($tCO_2e\ ha^{-1}$);

$RM_{ClSPM,e}$ = Fração de carbono emitida na forma de resíduos gerados durante o processamento industrial da madeira, por classe de produto madeireiro no estrato “e” (Adimensional);

ClSPM = classe de produto madeireiro, como madeira serrada, painéis a base de madeira, madeira em tora industrial, celulose, carvão, lenha, entre outros;

e = estrato 1, 2, 3 n.

Após obter o valor do estoque de carbono líquido de cada classe de produto madeireiro, o Desenvolvedor de Projeto deve classificar as classes de produtos madeiros (ClSPM) conforme a sua durabilidade e dinâmica de decomposição, de acordo com as seguintes categorias:

- Fração de curta duração: produtos que possuem a liberação de CO_2 para a atmosfera de forma instantânea no ano t_d , em função da rápida decomposição ou queima desses materiais, como por exemplo, resíduos de colheita, lenha, carvão e outros produtos de liberação instantânea de CO_2 para a atmosfera ($h = 1$);
- Fração de média duração: produtos que possuem a liberação de CO_2 de forma gradual ao longo de um período de 20 anos, por meio de um decaimento linear, com emissões distribuídas uniformemente entre os anos t_d e $t_d + 19$, como por exemplo, madeira serrada, painéis, móveis e outros produtos utilizados em aplicações temporárias ($h = 20$);
- Fração de longa duração: produtos que possuem a liberação de CO_2 para a atmosfera após um período de 20 anos, como por exemplo, estruturas de madeira em edificações, pontes e outros produtos madeireiros construtivos com uso superior ao horizonte temporal de análise ($h = >20$).

O Desenvolvedor de Projeto deve utilizar a Equação 34 para calcular a soma do estoque líquido de carbono de cada classe de produto madeireiro no horizonte temporal analisado.

$$C_{PM,h,e} = \sum_{ClSPM=0}^{ClSPM} C_{PM,ClSPM,e} \quad (34)$$

Onde:

$C_{PM,h,e}$ = Estoque líquido de carbono armazenado nas classes de produtos madeireiros no horizonte temporal de liberação de CO_2 analisado no estrato “e” ($tCO_2e\ ha^{-1}$);

$C_{PM,ClSPM,e}$ = Estoque líquido de carbono armazenado por classe de produto madeireiro no estrato “e” ($tCO_2e\ ha^{-1}$);

h = Horizonte temporal de liberação de CO_2 para a atmosfera (1, 20 ou >20);

ClSPM = classe de produto madeireiro, como por exemplo, madeira serrada, painéis a base de madeira, produtos madeireiros construtivos, celulose, carvão, lenha, entre outros;

e = estrato 1, 2, 3 n.

O estoque líquido total de carbono dos Produtos Madeireiros deve ser obtido a partir da equação 35:

$$C_{PM,e} = \sum_{h=0}^h C_{PM,h,e} \quad (35)$$

Onde:

$C_{PM,e}$ = Soma do estoque líquido de carbono armazenado em todos os horizontes temporais de liberação de CO₂ analisados no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

$C_{PM,h,e}$ = Soma do estoque líquido de carbono armazenado nas classes de produtos madeireiros no horizonte temporal de liberação de CO₂ analisado no estrato “e” (tCO₂e ha⁻¹);

h = Horizonte temporal de liberação de CO₂ para a atmosfera (1, 20 ou >20);

e = estrato 1, 2, 3 n.

16. Requisitos Para a Aplicação de Equações

Caso o Desenvolvedor de Projeto proponha a utilização de equações alométricas, tais equações poderão ser aceitas desde que atendam as diretrizes (conforme Seção 7) e aos requisitos técnicos estabelecidos nesta seção.

As equações utilizadas pelo Desenvolvedor de Projeto devem seguir as seguintes orientações:

- a. Sejam equações validadas para a região e para a tipologia de vegetação correspondente à da Área de Projeto;
- b. Para estimativas da biomassa de bambus, trepadeiras, samambaias e palmeiras devem ser empregadas equações específicas, compatíveis com a morfologia dessas formações, quando sua inclusão for adotada pelo Desenvolvedor de Projeto;
- c. Equações específicas por espécie devem ser geradas com base em dados de, no mínimo, 10 indivíduos;
- d. Apresentar coeficiente de determinação (R^2 ou R^2 ajustado) igual ou superior a 0,7.

A escolha das fontes de referência das equações deve seguir a seguinte ordem de priorização:

- a. Equações locais ou regionais, publicadas e revisadas por pares;
- b. Inventários nacionais, publicados por instituições de pesquisa reconhecidas pelo governo do país;
- c. Equações do IPCC;
- d. Equações de autoria do Desenvolvedor de Projeto, desde que publicadas e validadas por pares.

Para cada equação utilizada, o Desenvolvedor de Projeto deve apresentar, minimamente:

- a. Os parâmetros utilizados nas equações;
- b. O coeficiente de determinação (R^2 ou R^2 ajustado);
- c. O erro-padrão da estimativa (S_{yx});
- d. A raiz do erro quadrático médio (RMSE); e
- e. Análise gráfica dos resíduos.

16.1. Carbono Orgânico do Solo

Para a estimativa do carbono orgânico do solo (COS), o Desenvolvedor de Projeto deve utilizar equações empíricas de cálculo de estoque, fundamentadas em medições laboratoriais diretas do teor de carbono orgânico, da densidade aparente do solo e da profundidade da camada amostrada.

Sobre os procedimentos metodológicos, o Desenvolvedor de Projeto deve apresentar:

- a. Descrição da qualidade e integridade das amostras coletadas;
- b. Descrição da precisão das análises laboratoriais;
- c. Comprovação da calibração dos instrumentos;
- d. Demonstração da representatividade espacial das coletas;
- e. Sugestões metodológicas estão disponíveis em:
 - i. IPCC 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (GPG-LULUCF);

- ii. Nelson, D.W., e L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539–580. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- iii. Pearson, T., Walker, S. e Brown, S. 2005. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Winrock International e World Bank Biocarbon Fund. 57pp.

17. Incertezas

O Desenvolvedor de Projeto deve identificar, quantificar e documentar de forma conservadora as principais fontes de incertezas associadas às estimativas dos estoques de carbono, em conformidade com as orientações do Padrão do Programa de Certificação de Créditos de Carbono ECORA e do MOEC002 – Módulo para Quantificação de Incertezas.

O Desenvolvedor de Projeto deve calcular o percentual de incerteza associado ao estoque de carbono para cada reservatório incluído no Cenário de Linha de Base e no Cenário com Atividade de Projeto e apresentar os resultados no DDP e Relatórios de Monitoramento (RM).

Para isso, o Desenvolvedor de Projeto deve considerar, mas não se limitar, as seguintes fontes de incerteza:

- a. Fontes de incerteza requeridas para todos os reservatórios de carbono:
 - i. Delineamento amostral;
 - ii. Erro na estimativa da densidade de biomassa;
 - iii. Erros nas medições das variáveis dendométricas;
 - iv. Imprecisões na coleta das amostras;
 - v. Incerteza associada aos procedimentos em laboratório;
 - vi. Erro de extrapolação espacial dos dados;
 - vii. Utilização de dados regionais e não locais;
 - viii. Erros de medição ALS;
 - ix. Incerteza associada à modelagem estatística;
 - x. Incerteza associada às equações utilizadas.
- b. Fonte de incerteza específicas para o reservatório de Produtos Madeireiros:
 - i. Fatores de perda durante o processamento;
 - ii. Frações de vida curta e longa;
 - iii. Hipóteses sobre descarte;
 - iv. Taxas de oxidação e degradação após o uso;
 - v. Pressuposto de que o carbono remanescente após 100 anos é considerado permanente;
 - vi. Aplicação de fatores fixos que podem não refletir variações setoriais.
- c. Especificações de fonte de incerteza para o carbono orgânico do solo para projetos em que a quantificação seja obrigatória:
 - i. Recomenda-se que as análises de carbono orgânico do solo por combustão seca sejam realizadas em laboratórios acreditados segundo padrões internacionalmente reconhecidos de gestão da qualidade, como a ISO/IEC 17025;
 - ii. Os laboratórios devem apresentar:
 - Rastreabilidade e documentação completa dos métodos analíticos empregados, equipamentos utilizados e procedimentos de calibração;
 - Métodos validados de combustão seca para determinação do teor de carbono total e orgânico do solo;

- iii. O uso de laboratórios não acreditados é permitido, desde que o Desenvolvedor de Projeto demonstre evidências de rastreabilidade, calibração e controle de qualidade interno equivalentes ao padrão da ISO/IEC 17025
- iv. O cálculo da incerteza associada às estimativas de COS ou Δ COS deve incluir, no mínimo:
 - Variabilidade amostral;
 - Erros do modelo;
 - Incertezas associadas ao processo de amostragem e às análises laboratoriais;
- v. As estimativas de estoque e/ou variação de COS, suas respectivas variâncias e os mecanismos de desconto por incerteza aplicados devem ser apresentados de forma clara e documentada.

18. Evidências

A disponibilização destas evidências tem caráter exclusivamente orientativo e não exaustivo, logo, a lista disponibilizada tem como objetivo auxiliar os Desenvolvedores de Projeto na organização da submissão, mas não garante que todos os requisitos aplicáveis às especificidades do Projeto (regionais e locais) estejam contemplados, sendo inteiramente responsabilidade do Desenvolvedor de Projeto avaliar que as evidências pertinentes à quantificação dos estoques de carbono e adequação às normas do programa de certificação sejam submetidos para análise.

O Desenvolvedor de Projeto pode utilizar como evidências documentais e descritivas no DDP, mas não se limitando, as seguintes informações:

- a. Manual ou método de campo seguido para procedimentos de amostragem, devidamente citados de modo a serem acessíveis para consulta;
- b. Descrição das parcelas e subparcelas de campo e/ou pontos de coleta;
- c. Arquivo georreferenciado das parcelas e subparcelas e/ou pontos de coleta;
- d. Incluir registro fotográfico e fichas de campo com as condições de coleta;
- e. Descrição dos materiais e equipamentos empregados nas etapas de coleta de dados, devendo incluir, no mínimo, o nome, ano, modelo do equipamento, especificações técnicas relevantes e as condições operacionais;
- f. Quando houver análise de solo, incluir resultados de replicatas, controles e materiais de referência utilizados;
- g. Descrição do procedimento de preparação das amostras de solo, incluindo secagem, peneiramento e homogeneização;
- h. Descrição das fontes, modelos e parâmetros utilizados na avaliação dos dados, incluindo, as equações empregadas, suas respectivas justificativas de escolha, as referências bibliográficas, critérios de seleção e ajustes ou calibrações realizadas;
- i. Scripts utilizados para estimativas e/ou análises estatísticas;
- j. Fatores de transformação industrial e vida útil: justificativas e referências para os fatores de perda industrial, fração de vida útil e fator de oxidação compatíveis com o tipo de produto e a realidade regional, quando houver.
- k. Fonte de referência do(s) fator(es) de conversão adotado(s);
- l. Apresentar os estudos que fundamentaram as equações utilizadas;
- m. Apresentar planilhas de cálculos com médias, desvios-padrão, coeficientes de variação para cada reservatório de carbono, por estrato. Cabe ressaltar que para fins do cálculo do erro aceitável o nível de confiança adotado é de 90%, conforme MOEC002 – Módulo para Quantificação de Incertezas. Caso o valor ficar abaixo de 90%, o Desenvolvedor de Projeto deve ser adotar ajustes no delineamento amostral ou nos procedimentos de coleta e análise de dados, para atender ao valor mínimo solicitado. A representatividade e o erro amostral devem ter sua aplicação explicitada com base em materialidade e/ou abordagem escalonada, admitindo-se justificativas técnicas quando, isoladamente, apresentarem elevada variabilidade e custo desproporcional;

- n. Os procedimentos de mensuração devem apresentar um Plano de Gestão e Controle de Qualidade (PGCQ) dos dados, conforme indicado metodologia utilizada, quando aplicável.

Quando o Carbono Orgânico do Solo for exigido pela metodologia, o Desenvolvedor de Projeto deve incluir, além dos itens da Seção 7 as seguintes informações:

- a. A calibração dos modelos deve ser preferencialmente realizada com dados obtidos na Área de Projeto ou, quando não disponível, em áreas com condições edafoclimáticas e de manejo similares;
- b. O desenvolvedor deve apresentar o nome, localização e credenciamento do laboratório responsável pelas análises;
- c. O método analítico utilizado deve ser especificado;
- d. Caso o laboratório não possua acreditação ISO/IEC 17025, é obrigatório apresentar evidências equivalentes de rastreabilidade (certificado de calibração dos equipamentos, procedimento operacional padronizado, registro de controle de qualidade analítica, participação em ensaios de proficiência, qualidade técnica da equipe, registros de manutenção e verificação dos equipamentos e documentação da cadeia de custódia das amostras) e Plano de Gestão e Controle de Qualidade (PGCQ).

Quando forem utilizados dados obtidos por sensoriamento remoto, o Desenvolvedor de Projeto deve incluir, além do Item da Seção 7 as seguintes informações:

- a. Justificativa das variáveis preditoras consideradas e da escolha do modelo;
- b. Definição da arquitetura ou do algoritmo empregado, descrevendo seus principais parâmetros, procedimentos de treinamento e os critérios utilizados para avaliar o desempenho do modelo;
- c. Parâmetros mínimos operacionais do levantamento aéreo: altitude e velocidade de voo, abertura angular do sensor, frequência de pulso (PRF), taxa de varredura e largura da faixa;
- d. Scripts, parâmetros e versões de software utilizados no processamento das imagens e modelagem.

19. Referências

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 41 p.

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Dispõe sobre as instruções para a execução do Sistema Cartográfico Nacional. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 20 jun. 1984.

BRASIL. Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Versão 3.0. Brasília, DF, 2018. Disponível em: https://geoportal.eb.mil.br/portal/images/Documentos/2024/ET-ADGV_3.0_211218.pdf. Acesso em: 31 out. 2025.

BRASIL. Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Versão 1.0. Brasília, DF, 2016. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~deni_ern/CD2020/A1/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acesso em: 31 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, DF: MCTI, 2020.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Global Forest Resources Assessment*. [S.l.]: FAO, [s.d.].

FISCHER, F.J. et al. Global Wood Density Database v.2 (GWDD v.2) [Data set]. *Zenodo*, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18262736>.

FOWLER, A. F.; BASSO, B.; MILLAR, N.; BRINTON, W. A simple soil mass correction for a more accurate determination of soil carbon stock change. *Scientific Reports*, v. 13, p. 2242, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29289-2>.

HARMON, M. E.; SEXTON, J. Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. Seattle, WA: US LTER Network Office, University of Washington, 1996. (US LTER Publication, 20).

IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: 3 nov. 2025.

IPCC. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>. Acesso em: 3 nov. 2025.

IPCC. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Hayama: IGES, 2003.

NATIONAL DIGITAL ELEVATION PROGRAM (NDEP). *Guidelines for Digital Elevation Data*. Version 1.0. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2004. Disponível em: <https://it.nc.gov/documents/files/national-digital-elevation-program-guidelines/download?attachment>. Acesso em: 31 out. 2025.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A. L. et al. (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd ed. Madison, WI: ASA; SSSA, 1982. p. 539–580. (Agronomy Monograph, 9).

PEARSON, T.; WALKER, S.; BROWN, S. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Arlington, VA: Winrock International; World Bank BioCarbon Fund, 2005. 57 p.

SANTOS, A. P. S. et al. Métodos de avaliação de pastagem: uma breve revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, e52101622864, 2021.

VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*, v. 14, p. 20–26, 1968.

WARREN, W. G.; OLSEN, P. F. A line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science*, v. 10, p. 267–276, 1964.

WINJUM, J. K.; BROWN, S.; SCHLAMADINGER, B. Forest harvests and wood products: Sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science*, v. 44, n. 2, p. 272–284, 1998.

Apêndice A: Métodos laboratoriais para a determinação do carbono orgânico do solo em amostras de solo

Para a quantificação do parâmetro do carbono orgânico do solo total utilizado nos procedimentos de quantificação em campo e calibração do uso de sensores remotos de campo e instrumentos analíticos baseados em espectroscopia (Ex: NIR ou MIR), deve ser considerado um dos seguintes métodos de determinação laboratorial:

- a. Combustão a seco em analisador elementar (CHN);
- b. Oxidação completa da matéria orgânica do solo em temperaturas superiores a 900 °C, convertendo o carbono orgânico em CO₂ para detecção pelo analisador;
- c. Quantificação da concentração de CO₂ determinada por detecção infravermelha não dispersiva;
- d. Instrumentos analíticos baseados em espectroscopia (Ex: NIR ou MIR);
- e. Registro dos resultados expressos em g C hg⁻¹ de solo seco.
- f. O uso dos métodos Walkley-Black (oxidação úmida) e perda por ignição (LOI) não devem ser utilizados, devido às limitações de precisão. A aplicação dos métodos Walkley-Black e LOI só será aceita em caráter excepcional, mediante justificativa técnica, devidamente documentada e somente quando não houver disponibilidade de métodos alternativos mais adequados. Está justificativa técnica deve ser avaliada pelo OVV durante as auditorias de Validação e Verificação do projeto.
- g. O Desenvolvedor de Projeto pode utilizar sensoriamento remoto de campo e instrumentos analíticos baseados em espectroscopia (Ex: NIR ou MIR) para a determinação do carbono orgânico do solo, desde que sejam empregados modelos de calibração e validação consistentes, com desempenho analítico comprovadamente equivalente ao método padrão.
- h. A coleta de dados em campo para calibração do modelo deve seguir os mesmos parâmetros e requisitos descritos na seção 11.1, devendo, adicionalmente, contemplar:
- i. A curva de calibração utilizada para ajustar o modelo;
- j. Os parâmetros utilizados no modelo, como o coeficiente de determinação (R² ou R² ajustado), o erro-padrão da estimativa (Syx), a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e a análise gráfica dos resíduos.
- k. As estatísticas de validação, incluindo como critério mínimo, coeficiente de determinação R² > 0,8 e erro quadrático médio (RMSE) < 10%, podendo ser adotada abordagem contextual (por bioma/estrato e desenho amostral), que permita RMSE superior quando tecnicamente justificado, desde que acompanhada de requisitos adicionais, como validação independente, suficiência amostral, reporte de incerteza e salvaguardas contra vieses.

