



Manual técnico e operacional da calculadora de carbono para sistemas de produção de erva-mate



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura e Pecuária
Fundação Solidaridad**

DOCUMENTOS 388

**Manual técnico e operacional da calculadora de
carbono para sistemas de produção de erva-mate**

*Josiléia Acordi Zanatta
Jéssica de Cássia Tomasi
Marcos Fernando Glück Rachwal
Gabriel Ferraz de Arruda Dedini
Caio Pellicani
Mariana da Silva Alves Costa
Caroline Olias*

Embrapa Florestas
Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente
Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente
José Elidney Pinto Júnior

Secretária-executiva
Elisabete Marques Oaida

Membros
Annete Bonnet
Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Elenice Fritzsos
Guilherme Schnell e Schühli
Marilice Cordeiro Garrastazú
Sandra Bos Mikich
Susete do Rocio Chiarello Penteado
Valderês Aparecida de Sousa

Supervisão editorial e revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Francisca Rasche (CRB-9/1204)

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Celso Alexandre de Oliveira Eduardo

Foto capa
Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart

1ª edição
Publicação digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Manual técnico e operacional da calculadora de Carbono para sistemas de produção
de Erva-Mate. [recurso eletrônico] / Josiléia Acordi Zanatta ... [et al.]. - Colombo :
Embrapa Floresta, 2023.
PDF (25 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Florestas, e-ISSN 1980-3958 ; 388)

1. Ilex paraguariensis. 2. Sistema de cultivo. 3. Estoque de carbono. 4. Emissão
de gases. 5. Efeito estufa. 6. Calculadora. 7. Carbon Matte. I. Zanatta, Josiléia
Acordi. II. Tomasi, Jéssica de Cássia. III. Rachwal, Marcos Fernando Glück. IV.
Dedini, Gabriel Ferraz de Arruda. V. Pellicani, Caio. VI. Série.

CDD (21. ed.) 333.7

Francisca Rasche (CRB-9/1204)

© Embrapa 2023

Autores

Josiléia Acordi Zanatta

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Jéssica de Cássia Tomasi

Engenheira florestal, doutora em Agronomia, gerente de projetos da Fundação Solidariedad, Colombo, PR.

Marcos Fernando Glück Rachwal

Engenheiro-agrônomo, doutor em Conservação da Natureza, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Gabriel Ferraz de Arruda Dedini

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, coordenador de Programas da Fundação Solidariedad, Colombo, PR

Caio Pellicani

Gestor Ambiental, graduação em Gestão Ambiental, desenvolvedor de Back End da Fundação Solidaridad, Colombo, PR

Mariana da Silva Alves Costa

Engenheira-agrônoma graduação em Agronomia, coordenadora de monitoramento e qualidade da Fundação Solidaridad, Colombo, PR

Caroline Olias

Engenheira-agrônoma, mestre em Tecnologia e Gestão da Inovação na Agrotecnologia, analista de campo da Fundação Solidaridad, Colombo, PR

Apresentação

A erva-mate é uma espécie nativa com importância econômica e social. Ambientalmente, é opção para exploração florestal sustentável em áreas de preservação permanente e de reserva legal, e com alto potencial para gerar serviços ecossistêmicos como o armazenamento de carbono. A política nacional de mudança doméstica e o próprio Plano ABC+ elencaram a cultura da erva-mate como potencialmente mitigadora, o que suscita maior entendimento sobre a relação da produção da erva-mate com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Essa perspectiva justifica a necessidade de uma ferramenta de cálculo, que estima a quantidade de carbono e as emissões de GEE dos sistemas produtivos de erva-mate. A Carbon Matte tem essa função. Trata-se de uma planilha eletrônica para coleta, registro, organização, cálculo, por meio de uma rotina computadorizada automática, e análise de dados de sistemas de produção de erva-mate, com aplicação para estimativa dos estoques de carbono e dos fluxos de gases de efeito estufa.

A ferramenta que se apresenta foi desenvolvida de forma completa, incluindo todos os compartimentos que armazenam carbono, bem como as fontes de emissão dos principais gases de efeito estufa (GEE), CO_2 – dióxido de carbono; CH_4 – metano e N_2O – óxido nitroso. Desta forma, a ferramenta pode auxiliar profissionais envolvidos na cadeia produtiva da erva-mate com a geração das estimativas dos estoques de carbono e das emissões de GEE, na fase de produção da erva-mate. A ferramenta ainda se aplica ao uso por profissionais da área de avaliação de impacto ambiental, produtores rurais que queiram gerenciar suas remoções e emissões de carbono; empresas e certificadoras que queiram mensurar seus ativos, contabilizar emissões e estoques de carbono ou participar de campanhas corporativas que visem atender aos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, o estudo tem alinhamento às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), representando os ODS 9, 11, 12, 13, 15 e 17, por contribuir na construção de estruturas produtivas resilientes e inovativas; apoiar o desenvolvimento tecnológico, a pesquisa e a inovação nacional voltados à agregação de valor de produtos nacionais; fortalece esforços a gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais, assegurando a conservação, estimulando a recuperação e uso sustentável dos ecossistemas, integra ferramentas para gestão climáticas das ações de combate à mudança do clima e valoriza as parcerias institucionais.

Marcílio José Thomazini

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Florestas

Sumário

Introdução.....	11
Aplicação da ferramenta.....	11
Como acessar a ferramenta.....	12
Descrição geral.....	13
Fatores de produção.....	13
Banco de dados.....	17
Estimativas de estoques de carbono.....	19
Emissão de GEE.....	21
Considerações finais.....	22
Referências.....	23

Introdução

A erva-mate é uma espécie nativa da América do Sul, abundante no Brasil, (Carvalho, 1994), embora também ocorra no Paraguai e na Argentina (Coelho, 2017). A cadeia produtiva da erva-mate destaca-se pela sua elevada importância econômica, cultural e ambiental (Wendling; Brondani, 2015). O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de erva-mate (Heberle; Helm, 2017), movimentando anualmente cerca de R\$ 870 milhões (IBGE, 2020a, 2020b). A erva-mate é explorada economicamente em aproximadamente 558 municípios (IBGE, 2017; Viana et al., 2018; IBGE, 2020a, 2020b) dos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul; predominantemente em propriedades que adotam mão de obra familiar, sendo, 90% micro ou pequenos proprietários com área menor que 50 hectares (Amaral, 2017). A produção envolve aproximadamente 40 mil propriedades rurais, gerando mais de 600 mil empregos diretos (Embrapa Florestas, 2003; Goulart, 2022).

Além do valor econômico e importância social, a exploração de ervais nativos tem relação com a manutenção de inúmeros fragmentos da Floresta Ombrófila Mista (Gaiad, 2014). Do ponto de vista ambiental, a cultura de erva-mate é uma alternativa de recomposição e exploração florestal sustentável para áreas de preservação permanente e de reserva legal, com alto potencial para proporcionar serviços ecossistêmicos mediante sequestro de carbono (Alegre et al., 2007; Palacios, 2010), aliado à baixa necessidade de produtos químicos (Medrado; Vilcahuaman, 2014) que, em última análise, geram emissões de gases de efeito estufa, seja na produção ou na aplicação (Lal et al., 2004). Demandas recentes têm requisitado maior entendimento sobre a relação da produção da erva-mate com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), por meio do armazenamento de carbono, sendo inclusive elencada entre as práticas tecnológicas potencialmente mitigadoras do Plano ABC+ (Brasil, 2020). Essa perspectiva justifica não somente a necessidade da ferramenta de cálculo que será apresentada nessa publicação, mas também indica a necessidade de contínuo desenvolvimento de indicadores e fatores de emissão próprios dos sistemas de produção de erva-mate, garantindo a representatividade da realidade nacional.

A Calculadora de Carbono da Erva-Mate, tem o objetivo de auxiliar profissionais envolvidos na cadeia produtiva a estimar e gerenciar os estoques de carbono e as emissões de GEE, armazenados e emitidos, respectivamente, na fase de produção da erva-mate (dentro da porteira). A calculadora da erva-mate foi desenvolvida de forma completa, incluindo todas as fontes de emissão dos principais (GEE), CO₂ – dióxido de carbono; CH₄ – metano e N₂O – óxido nitroso, relacionados com a agricultura. A ferramenta se aplica ao uso por profissionais da área de avaliação de impacto ambiental, produtores rurais que queiram gerenciar suas remoções e emissões de carbono; empresas e certificadoras que queiram mensurar seus ativos, contabilizar emissões e estoques de carbono ou participar de campanhas corporativas que visem atender ao ODS 13.

A ferramenta está disponível na versão para download e funciona em Excel, do pacote de Office 365. Para o funcionamento, a ferramenta utiliza os dados de produtividade dos ervais, bem como informações dos fatores de produção, associados com base de dados de referência para erva-mate, permitindo calcular os estoques de carbono e as emissões de GEE. A calculadora de carbono da erva-mate será denominada Carbon Matte.

Aplicação da ferramenta

A Carbon Matte é uma planilha eletrônica para coleta, registro, organização, cálculo, por meio de uma rotina computadorizada automática, e análise de dados de sistemas de produção de erva-ma-

te, com aplicação para estimativa dos estoques de carbono e dos fluxos de gases de efeito estufa para uso de produtores rurais, agentes de extensão rural, comunidade científica e demais membros da sociedade interessados no tema, com benefício de ser um instrumento de gestão da propriedade que auxilia na tomada de decisão.

O objetivo da rotina computadorizada é fazer os cálculos das remoções de carbono, na forma dos estoques de carbono da biomassa (da erva-mate e da floresta associada), acima e abaixo do solo, ou seja, da parte aérea, mas também das raízes; do solo, considerando a camada de 0-30 cm; bem como das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O oriundos das práticas silviculturais empregadas. Entre as práticas possíveis de estimar as emissões de GEE por meio da Calculadora de Carbono da Erva-Mate estão aquelas do manejo de implantação dos ervais, fertilização de condução e de produção, uso de plantas de cobertura e seu manejo, defensivos agrícolas, manejo de condução e as podas, ou seja, todas as práticas realizadas na fase agrícola da cadeia de produção da erva-mate.

A Calculadora de Carbono da Erva-Mate foi desenhada para atender as peculiaridades dos sistemas de cultivo da erva-mate, atendendo as características de ervais cultivados e nativos. Para a condição de ervais nativos, a Calculadora de Carbono também estima o carbono armazenado pela floresta nativa associada, nesse caso das árvores que não são erva-mate. Entre os benefícios do seu uso para gerar parâmetros de sustentabilidade dos ervais, destaca-se a adequação da maioria dos indicadores e coeficientes técnicos, que foram gerados especificamente para erva-mate. Ainda é possível construir cenários para avaliar práticas e técnicas empregadas no erval, para avaliar a sensibilidade das intervenções nas remoções de carbono e nas emissões de GEE. A ferramenta permite a entrada de diferentes talhões de erva-mate, ou ainda a criação de um cenário de evolução cronológica de um mesmo talhão, pois a cultura da erva-mate atinge a maturação agrônômica, em média a partir do sexto ano após o plantio, com vida útil variando de 35 a 40 anos (Santin et al., 2015).

Muitos parâmetros técnicos para o funcionamento da Calculadora de Carbono da Erva-Mate foram desenvolvidos em avaliações de campo realizadas em cinco propriedades de Cruz Machado, PR. A condição de produção do município é muito representativa dos sistemas de produção no estado do Paraná, o que ocasionou o uso dessas informações como ambiente de calibração da Calculadora. A Calculadora pode ser adotada para outras regiões, mas, tecnicamente, a performance da ferramenta precisa de validação, o que garantiria sua adequação. Essa etapa está sendo negociada em diferentes projetos e para diferentes regiões produtoras.

Como acessar a ferramenta

A ferramenta está disponível em formato Excel, para uso via download gratuito do arquivo a partir do endereço eletrônico abaixo:

<https://www.embrapa.br/florestas/aplicativos-e-sofwares>

Para realizar o download do arquivo é necessário aceitar os termos de Licença de Uso da ferramenta e a Política de Privacidade da Calculadora, bem como fazer o registro do usuário, informando o uso que será dado à ferramenta, entre as opções: uso para pesquisa científica; uso por produtor rural para gerenciar remoções e emissões de GEE; uso comercial por certificadoras ou empresas especificando a aplicação; ou especificar outras aplicações.

Descrição geral

A Calculadora de Carbono da Erva-Mate é uma planilha eletrônica que recebe informações dos declarantes, as registra e aplica cálculos para gerar novas informações e, posteriormente, utiliza essas informações e dados para calcular e analisar os estoques de carbono e os fluxos de GEE de sistemas de produção de erva mate. A ferramenta é composta por seis abas, as quais podem ser acessadas pela navegação direta por meio do rodapé da planilha eletrônica e são listadas abaixo. Para os cálculos efetivamente serem realizados, a única aba que obrigatoriamente deverá ser preenchida é a de Fatores de Produção.

As abas estão identificadas como:

- 1) Identificação da propriedade;
- 2) Fatores de produção;
- 3) Banco de dados;
- 4) Estoques de carbono;
- 5) Emissão de GEE;
- 6) Referências.

A aba Identificação da propriedade e do usuário é o início do processo de uso da Calculadora de Carbono da Erva-Mate. Nessa aba será necessário informar o nome do proprietário, nome da propriedade, área e número de CAR (Cadastro Ambiental Rural) da propriedade, além de outras informações referentes à localização geográfica da área (estado, município, latitude, longitude e altitude) a serem inventariadas pela Calculadora de Carbono da Erva-Mate (Figura 1). O usuário poderá utilizar a Calculadora de Carbono da Erva-Mate para calcular os estoques de carbono e emissões de GEE de uma propriedade com inúmeros talhões de erva-mate, tal como poderá fazer um profissional que está prestando serviços a produtores de erva-mate.

Após a identificação da propriedade e do usuário, é possível acessar as demais abas da planilha, liberando a inserção de dados e de outras informações, que acontece na aba Fatores de produção, permitindo os cálculos dos estoques de carbono e das emissões de GEE. A aba Referências inclui a disponibilização das fontes de literatura que foram base para os indicadores e coeficientes técnicos da erva-mate, assim como dos fatores de emissão dos GEE. As demais abas serão detalhadas em tópico específico na sequência.

Fatores de produção

A inserção das variáveis do sistema de produção de erva-mate inicia na aba Fatores de Produção. Essa aba é composta por oito tabelas, nominadas de 1 a 8, que recebem as informações do sistema de cultivo. A navegação pelas tabelas pode ser feita rolando a página para baixo ou pelo menu superior, onde as tabelas estão nomeadas: detalhamento do sistema de produção; informações de produção do sistema de cultivo; cobertura do solo; manejo da cobertura do solo; atividade de poda; consumo de combustível; adubação orgânica e correção do solo e adubação nitrogenada (Figura 2-5).

A entrada de informações na Calculadora de Carbono de Erva-Mate foi configurada de forma lógica, e pressupõe aumento do detalhamento das informações. O preenchimento deve seguir a ordem das

Solidaridad
Embrapa
Florestas

Carbon Matte

Expandir

IDENTIFICAÇÃO DA PROPRIEDADE			
Nome do Proprietário	Josileia Acordi Zanatta		
Nome da propriedade	Erva Boa		
Área da propriedade (ha)	00015		
Estado da propriedade	Paraná		
Município da propriedade	Cruz Machado		
Número do CAR	00000		
Latitude	00026 °	00001 m	00003 s
Longitude	00051 °	00020 m	00045 s
Altitude (m)	00823		
Tipologia Florestal Original	Floresta Ombrófila Mista		

PREENCHIMENTO DA CALCULADORA	
Nome do responsável pelo preenchimento	Josileia
Contato do responsável	josileia.zanatta@embrapa.br
Data do inventário	20/09/2023
Período do inventário	2022

Figura 1. Página de Identificação da propriedade rural a ser inventariada pelo uso da Calculadora de Carbono da Erva-Mate. Dados apresentados na imagem são exemplos fictícios.

Solidaridad
Embrapa
Florestas

Carbon Matte

FATORES DE PRODUÇÃO

Expandir

Detalhamento do Sistema | Cobertura do Solo | Atividade de Poda | Adubação
Informações de Produção | Manejo da Cobertura | Combustível - Adubação | Adubação Nitrogenada

Tabela 1 - Detalhamento dos Sistemas de Cultivo

Nome/número do talhão	Sistema de Cultivo	Uso Anterior do Solo	Área (ha)	Densidade de Plantio (plantas/ha)	Intervalo de Poda (meses)	Fase do Ercal no primeiro ano da análise	Ação
A	Erva mate na FOM, com alto sombreamento	Floresta Nativa	1	2000	18	Ciclo Produção 2	Limpar dados do talhão
B	Erva mate extrativista	Floresta Nativa	10	2000	24	Ciclo Produção 3	Limpar dados do talhão
C	Pleno Sol	Agricultura	12	2500	24	Formação de copa 1	Limpar dados do talhão
D	Erva mate na FOM, com médio sombreamento	Floresta Nativa	15	1800	20	Ciclo Produção 4	Limpar dados do talhão
E	Erva mate na FOM, com baixo sombreamento	Floresta Nativa	14	2000	22	Ciclo Produção 12	Limpar dados do talhão
F	Pleno Sol	Pastagem	8	2500	24	Ciclo Produção 25	Limpar dados do talhão
							Limpar dados do talhão
							Limpar dados do talhão
							Limpar dados do talhão
							Limpar dados do talhão

Tabela 2 - Informações de Produção do Sistema de Cultivo

Talhão: A

Fase do Ercal	Idade (anos)	Altura média antes da colheita (metros)	Produtividade da colheita (t MS/ha)
Ciclo Produção 2	7	1,3	14
Ciclo Produção 3			

Figura 2. Imagem da aba Fatores de Produção com o detalhamento das Tabelas 1 e 2, sobre sistema de cultivo e produção do sistema de cultivo, respectivamente.

tabelas, conforme aumenta o detalhamento do sistema de produção. As informações devem ser preenchidas em ordem e, quando disponíveis, devem ser selecionadas na lista de opções que abre na lateral direita da lacuna, após clicar na lacuna a ser preenchida.

A primeira informação exigida na Aba Fatores de Produção é a identificação do talhão. A ferramenta utiliza o nome do talhão para gerenciar esse histórico de estimativas e, assim, é necessário que o usuário repita para uma mesma área de produção (talhão) sempre o mesmo nome ou número já informado.

Além da identificação do talhão, também é necessário indicar qual o sistema de produção adotado, entre as opções listadas. Tecnicamente, a erva-mate pode ser explorada em quatro modelos: extra-

tivismo de erva-mate; adensamento de erva-mate (em remanescentes da floresta natural); ervais arborizados e ervais monoculturais sob pleno sol. Os últimos três são ervais cultivados, com plantio intencional de erva-mate e manejo mais intensivo (roçadas e adubação, minimamente). Para o sistema de produção adensado será necessário indicar qual o grau de sombreamento do erval, de acordo com o número de árvores que são remanescentes da floresta original. Essa informação será imprescindível para estimar o carbono armazenado na biomassa da vegetação nativa remanescente. As categorias de sombreamento do sistema adensado podem ser visualizadas na aba Banco de dados (Tabela 1.3 na Figura 6) e apresentadas em detalhes na seção 3 desse documento. O sombreamento a partir do número de árvores que não são erva-mate considera árvores com diâmetro medido a 1,3 m de altura acima de 10 cm.

O uso anterior do solo deve ser selecionado a partir da lista disponível na Calculadora de Carbono da Erva-Mate. Essa informação depende da escolha do sistema de produção feito anteriormente, pois o sistema adensado apenas aceita a opção de uso anterior como Floresta Nativa. Para os demais sistemas de produção, caso a conversão para erva-mate tenha ocorrido há mais de 20 anos, a opção correta de uso anterior será de Erva-Mate. Em seguida, será necessário indicar a área em hectares, a densidade de plantio da erva-mate em número de plantas por hectare; o intervalo de podas adotado em meses e a fase do ciclo produção. A fase do ciclo de produção do erval pode ser selecionada na lista de opções da ferramenta, entre ciclos produtivos (que pode chegar a 30 anos) e de implantação/formação do erval (Figura 2).

Cada linha de entrada da tabela detalhamento do sistema de cultivo (Figura 2) da Calculadora de Carbono da Erva-Mate corresponde ao detalhamento de um talhão produtivo. Caso haja a necessidade de apagar uma entrada, deve-se usar a opção “Limpa dados do talhão”, a qual pode ser visualizada na Figura 2. Para confirmar a operação é necessário clicar em “OK”. Essa operação pode ser feita em qualquer etapa da operação de uso da Calculadora.

Para cada talhão que for registrado na tabela detalhamento do sistema de cultivo (Figura 2) serão criadas tabelas exclusivas para detalhar a produtividade; o uso da cobertura e manejo da cobertura do solo; o tipo de poda; o consumo de combustível, a adubação orgânica e correção do solo e adubação nitrogenada. Todas essas tabelas estarão sequencialmente identificadas com nome/número do talhão, na parte superior da respectiva tabela, conforme ilustrado na Figura 3.

Seguindo a ordem de preenchimento, na sequência, será informada a idade do erval em anos, a produtividade de folhas na última colheita, em toneladas de matéria seca por hectare, e a altura média das plantas de erva-mate. A produtividade pode ser aquela verificada no momento da venda das folhas verdes de erva-mate, aplicando-se a correção para o conteúdo de água. A altura da erva-mate corresponde à altura da planta antes da colheita e pode ser feita com diferentes tipos de equipamento, dependendo da altura que se precisa medir. Árvores de estatura menor podem ser medidas com régua ou mesmo trena. A régua pode medir árvores de até 5 m de altura com facilidade. Para árvores maiores, o ideal é usar equipamentos do tipo clinômetros ou mesmo aplicativo de telefone celular. Alguns aplicativos que se prestam para essa função, com boa precisão e exatidão de resultados, são: *Height Calculator*, *Smart Tools* e *Two Point Height* (Oliveira et al., 2021).

A próxima informação a ser fornecida na Calculadora de Carbono da Erva-Mate é a opção de uso de plantas de cobertura e seu manejo (Figura 3). Essa informação não é necessária para o sistema de produção adensado. Nas demais, quando pertinente, deverá ser indicado qual foi a espécie de planta de cobertura utilizada no verão e no inverno, bem como a quantidade de sementes por hectare que se adotou na semeadura, em kg/ha (Figura 3). Entre as opções de cobertura de solo são listadas como opções: aveia-preta; azevém; ervilhaca; nabo forrageiro; crotalárias e mucuna preta.

Solidaridad


Embrapa
Florestas

Carbon Matte

FATORES DE PRODUÇÃO

Detalhamento do Sistema
Cobertura do Solo
Atividade de Poda
Adubação

Informações de Produção
Manejo da Cobertura
Combustível - Adubação
Adubação Nitrogenada



Expandir

Tabela 2 - Informações de Produção do Sistema de Cultivo

Talhão: A

Fase do Erval	Idade (anos)	Altura média antes da colheita (metros)	Produtividade da colheita (t MS/ha)
Ciclo Produção 2	7	1,3	14
Ciclo Produção 3			

Tabela 3- Cobertura do Solo

Talhão: A

Fase do Erval	Verão			Inverno		
	Tipo de cobertura	Densidade de plantio	Produção de massa seca (ton/ha)	Tipo de cobertura	Densidade de plantio	Produção de massa seca (ton/ha)
Ciclo Produção 2	Mucuna preta	50	5	Aveia preta	60	5,0
Ciclo Produção 3						

Tabela 4 - Manejo da Cobertura do Solo

Talhão: A

Fase do Erval	Tipo de Manejo	Frequência (vezes / ano)	Produto	Dose (l/ha)	Tipo Combustível	Quantidade Consumida (L)
Ciclo Produção 2	Roçada Mecanizada	1			Diesel	10
Ciclo Produção 3						


Figura 3. Imagem das tabelas da aba Fatores de Produção referente à informação de produção do sistema de cultivo, uso e manejo da cobertura do solo. As setas indicam o local onde se visualiza a identificação do talhão.

A produção de massa seca será estimada automaticamente após a inserção das informações anteriores, com base em valores estimados a partir da densidade de semeadura.

Quanto ao manejo das coberturas do solo, é necessário informar como foi feito o manejo das plantas, bem como a frequência do manejo, considerando o somatório das espécies de inverno e de verão (Figura 3). No caso de manejo com herbicidas, será necessário detalhar o produto e a dose. E para o caso de uso de máquinas agrícolas motorizadas para o manejo também será necessário informar o tipo de combustível e a quantidade consumida (Figura 3).


Na sequência, a próxima informação necessária na Calculadora de Carbono da Erva-Mate refere-se ao consumo de combustível devido à poda e à adubação (Figura 4). A poda que gera emissão de GEE é aquela operada por motosserra e por tesoura elétrica. Assim, as informações necessárias são o consumo de combustível fóssil para o uso do motosserra ou, ainda, quanto tempo é despendido na poda pelo uso da tesoura elétrica, em horas/hectare. Quanto ao consumo de combustível para a adubação, é necessário informar o tipo de combustível e a quantidade consumida no ciclo de produção. Caso haja mais de uma aplicação de fertilizante no período considerado, o consumo deve ser o acumulado no período.

O conjunto final de informações que devem ser fornecidas na aba Fatores de Produção refere-se à adubação orgânica e mineral (Figura 5). Quanto à adubação, é preciso informar o tipo de fertilizante mineral da lista ofertada (uréia; sulfato de amônio; nitrato de amônio; nitrato de cálcio; formulados amídicos; formulados amoniacais; formulados nítricos; fosfato monoamônio; fosfato diamônio), assim como para as opções de adubos orgânicos (esterco de aves; esterco de bovinos; esterco de suínos; composto orgânico), ou uma combinação de ambos. Na sequência, informar a dose aplicada de cada um deles em kg/ha. No caso de fertilizantes formulados, a quantidade de N no produto comercial deve ser informada, pois essa pode variar. Também é importante informar a aplicação de



Carbon Matte

FATORES DE PRODUÇÃO



Detalhamento do Sistema

Cobertura do Solo

Atividade de Poda

Adubação

Informações de Produção

Manejo da Cobertura

Combustível - Adubação

Adubação Nitrogenada


Tabela 5 - Detalhamento para Atividade de Poda (motossera e/ou tesoura elétrica)
Talhão: A

Fase do Erval	Quantidade de Combustível Consumida pela Motossera (Litros)	Tempo de Uso da Tesoura Elétrica na Poda (horas)
Ciclo Produção 2	20	8
Ciclo Produção 3		

Tabela 6 - Consumo de Combustível para Adubação do Erval
Talhão: A


Fase do Erval	Tipo Combustível - Adubação	Quantidade Consumida (L) - Adubação
Ciclo Produção 2	Diesel	3
Ciclo Produção 3		

Figura 4. Conjunto de informações de entrada para a estimativa do consumo de combustível fóssil a partir de operações de poda e da adubação.



Carbon Matte

FATORES DE PRODUÇÃO



Detalhamento do Sistema

Cobertura do Solo

Atividade de Poda

Adubação

Informações de Produção

Manejo da Cobertura

Combustível - Adubação

Adubação Nitrogenada

Tabela 7 - Adubação orgânica e Correção do solo
Talhão: A

Fase do Erval	Adubação Orgânica	Dose (Kg/ha)	Corretivo	Dose (Kg/ha)	Condicionante	Dose (Kg/ha)
Ciclo Produção 2	Esterco de aves	500	Calcário Dolomítico	1000		0
Ciclo Produção 3						

Tabela 8 - Adubação Nitrogenada
Talhão: A

Fase do Erval	Adubação Nitrogenada	Percentual de Nitrogênio (%)	Percentual de N Formulados (%)	Dose (Kg/ha)
Ciclo Produção 2	Uréia	45		250
Ciclo Produção 3				

Figura 5. Ilustração das tabelas sobre as informações de adubação orgânica e mineral na erva-mate.

corretivos de solo como calcário ou mesmo condicionantes de solo como gesso agrícola e outros, ambos com as respectivas doses (Figura 5).

Ao finalizar a entrada de informações na aba Fatores de Produção, automaticamente os resultados das abas seguintes, relativos aos estoques de carbono e as emissões de GEE, serão computados.

Banco de dados

O usuário da Calculadora de Carbono da Erva-Mate não poderá interagir com a aba Banco de Dados. Essa aba está disponível para consultas e transparência das informações adotadas nas estimativas de estoques de carbono e emissão de GEE.

O conjunto de informações que compõem a aba Banco de Dados é constituído por três módulos que se referem aos indicadores de referência, coeficientes técnicos e fatores de emissão. Os indicadores de referências e coeficientes técnicos são valores adotados para se obter as variáveis necessárias para as estimativas de estoques de carbono e emissão de GEE. A partir desses valores são aplicados os fatores de emissão e obtêm-se as emissões de GEE. As fontes dessas informações são disponibilizadas nas tabelas e podem ser consultadas diretamente na aba Referências.

A navegação no banco de dados pode ser feita rolando as tabelas para cima ou pelo menu superior que indica o início de cada grupo de dados, disponível na parte superior da planilha. A Figura 6 ilustra esse menu e também exemplifica as informações disponíveis em cada módulo.

Solidaridad
Estratégia
Institucional
BANCO DE DADOS

Indicadores de Referência
Coeficientes Técnicos
Fatores de Emissão
Expandir

A

Módulo 1 - INDICADORES DE REFERÊNCIA

Tabela 1.1 - Valores de Potencial de Aquecimento Global (PAG) dos Gases de efeito estufa com base no AEF

Gás de efeito estufa	Tempo de meia vida	PAG
Dióxido de carbono - CO2	5	1
Metano - CH4	10	27
Óxido Nitroso - N2O	100	273

Fonte: IPCC (2021)

Tabela 1.2 - Valores de referência de estoque de carbono da parte aérea da vegetação florestal

Tipologia florestal	Carbono (t C/ha)	Fonte
Floresta Ombrófila Mista	105,3	Brasil (2021)
Floresta Ombrófila Mista	39,6	Cardoso et al. (2018)
Floresta Ombrófila Mista	83,3	Mognon et al. (2013)
Floresta Ombrófila Mista	67	Vibrans et al. (2013)
Floresta Ombrófila Mista	79,3	Watzlawick et al. (2012)
Média	87,6	

Tabela 1.3 - Valores de estoque de carbono da parte aérea da vegetação florestal em sistema de produção de eucalipto

Sistema de cultivo da eucalipto	Número de árvores (não áreas) originais da FOM remanescente (número plantas/ha)	C remanescente na floresta (t/ha)	Fonte
Eucalipto exótica	> 750	87,6	Vibrans et al., 2013; Cardoso et al., 2018; Mognon et al., 2013; Watzlawick et al., 2012
Eucalipto adaptada na FOM, com muito alto sombreamento - perda de até 20% do C da FOM	> 501	70,1	Nossa publicação
Eucalipto adaptada na FOM, com alto sombreamento - perda de até 23% do C da FOM	401 a 500	67,5	Nossa publicação
Eucalipto adaptada na FOM, com médio-alto sombreamento - perda de até 30% do C da FOM	301 a 400	61,3	Nossa publicação
Eucalipto adaptada na FOM, com médio sombreamento - perda de até 40% do C da FOM	201 a 300	52,6	Nossa publicação
Eucalipto adaptada na FOM, com baixo sombreamento - perda de até 55% do C da FOM	101 a 200	39,4	Nossa publicação
Eucalipto adaptada na FOM, com muito-baixo sombreamento - perda de até 75% do C da FOM	50 a 100	21,9	Nossa publicação
Eucalipto pleno sol	0	0	Nossa publicação

Solidaridad
Estratégia
Institucional
BANCO DE DADOS

Indicadores de Referência
Coeficientes Técnicos
Fatores de Emissão
Expandir

B

Módulo 2 - COEFICIENTES TÉCNICOS

Tabela 2.1 - Valores da razão parte aérea e raiz da eucalipto

Especie	R	Fonte da informação
Impatiens guianensis	0,1022	Mancos et al., 2003
FOM	0,24	Molani et al., 2006

Tabela 2.2 - Teor de N na biomassa das plantas de cobertura

Especie	N (%)	Fonte da informação
Azevém	2,71	NEPAR-SBCS 2017
Aveia preta ¹	1,37	Borkert et al., 2003
Ervilhaca	4,62	Borkert et al., 2003
Mucuna preta	3,44	Borkert et al., 2003
Nabo forrageiro	1,71	Rendin 2014
Crotalaria juncea	1,60	Rendin 2014
Crotalaria spectabilis	2,43	Rendin 2014
Adubo verde gramínea	2,04	NEPAR-SBCS 2017
Adubo verde leguminosa	4,03	NEPAR-SBCS 2017
Consoída (gramínea e leguminosa)	3,04	NEPAR-SBCS 2017

Valores para produtividade média de 6 t/ha de matéria seca (MS).

Tabela 2.3 - Teor de C na biomassa das plantas de cobertura

Especie	C (%)	Fonte da informação
Azevém	46,40	Rendin 2014
Aveia preta	47,80	Rendin 2014
Ervilhaca	48,00	Rendin 2014
Mucuna preta	48,00	Rendin 2014
Nabo forrageiro	45,30	Rendin 2014
Crotalaria juncea	46,40	Rendin 2014
Crotalaria spectabilis	48,30	Rendin 2014
Serratima e eucalipto	45	

Solidaridad
Estratégia
Institucional
BANCO DE DADOS

Indicadores de Referência
Coeficientes Técnicos
Fatores de Emissão
Expandir

C

Módulo 3 - FATORES DE EMISSÃO

Tabela 3.1 - Fatores de emissão de fertilizantes nitrogenados minerais, corretivos e adubos orgânicos

Insumo	N2O (kg N-N ₂ O/kg N aplicado)	Fonte	CO2 (kg C-CO2/kg insumo)	Fonte
Urea	0,01	IPCC 2006	0,2	IPCC 2006
Formulados amílicos	0,01	IPCC 2006	0,2	IPCC 2006
Formulados amoniacal	0,01	IPCC 2006	-	
Formulados nítricos	0,01	IPCC 2006	-	
Amônia Anidra	0,01	IPCC 2006	-	
Fosfato monoamônio (MAP)	0,01	IPCC 2006	-	
Fosfato diâmonio (DAP)	0,01	IPCC 2006	-	
Sulfato de amônio	0,01	IPCC 2006	-	
Nitrato de amônio	0,01	IPCC 2006	-	
Calcário dolomítico	-	-	0,13	IPCC 2006
Gesso	-	-	0,4	Brasil 2016
Calcário calcílico	-	-	0,13	IPCC 2006
Estercos bovinos	0,015	Bantor 2018	0,2	IPCC 2006
Estercos suínos	0,0068	Arenhard 2016	0,2	IPCC 2006
Estercos de aves	0,02	IPCC 2006	0,2	IPCC 2006
Composto orgânico	-	-	0,2	IPCC 2006
Adubo verde gramíneas	0,006	IPCC 2006	0,2	IPCC 2006
Adubo verde leguminosas	0,006	IPCC 2006	0,2	IPCC 2006
Adubo verde consoída (leguminosa e gramínea)	0,006	IPCC 2006	0,2	IPCC 2006

Tabela 3.2 - Fatores de emissão indireta de óxido nítrico

Insumo	N2O (kg N-N ₂ O/kg N-NH3 Inativado)	Fonte
Lixiviação	0,01	IPCC 2019

Tabela 3.3 - Fatores de emissão indireta de óxido nítrico

Insumo	N2O (kg N-N ₂ O/kg N-NH3 volatilizado)	Fonte
Volatilização	0,014	IPCC 2019

Tabela 3.4 - Emissão de gases de efeito estufa pela queima de combustíveis fósseis

Insumo	CO2 (kg CO2/kg insumo)	Fonte
Óleo Diesel	3,2	Cavalho et al 2011; Soares et al. 2003; IPCC (2006)

Figura 6. Aba Banco de Dados com exemplos das informações disponíveis para consulta nos módulos de indicadores de referências (A); coeficientes técnicos (B) e fatores de emissão (C).

Estimativas de estoques de carbono

Na aba Estoque de Carbono são apresentadas as tabelas com os resultados estimados dos estoques de carbono. Também é possível encontrar nessa aba um resumo dos dados processados que geraram as entradas nas equações que estimam os estoques de carbono da erva-mate, da floresta associada à erva-mate e do solo (Figura 7).

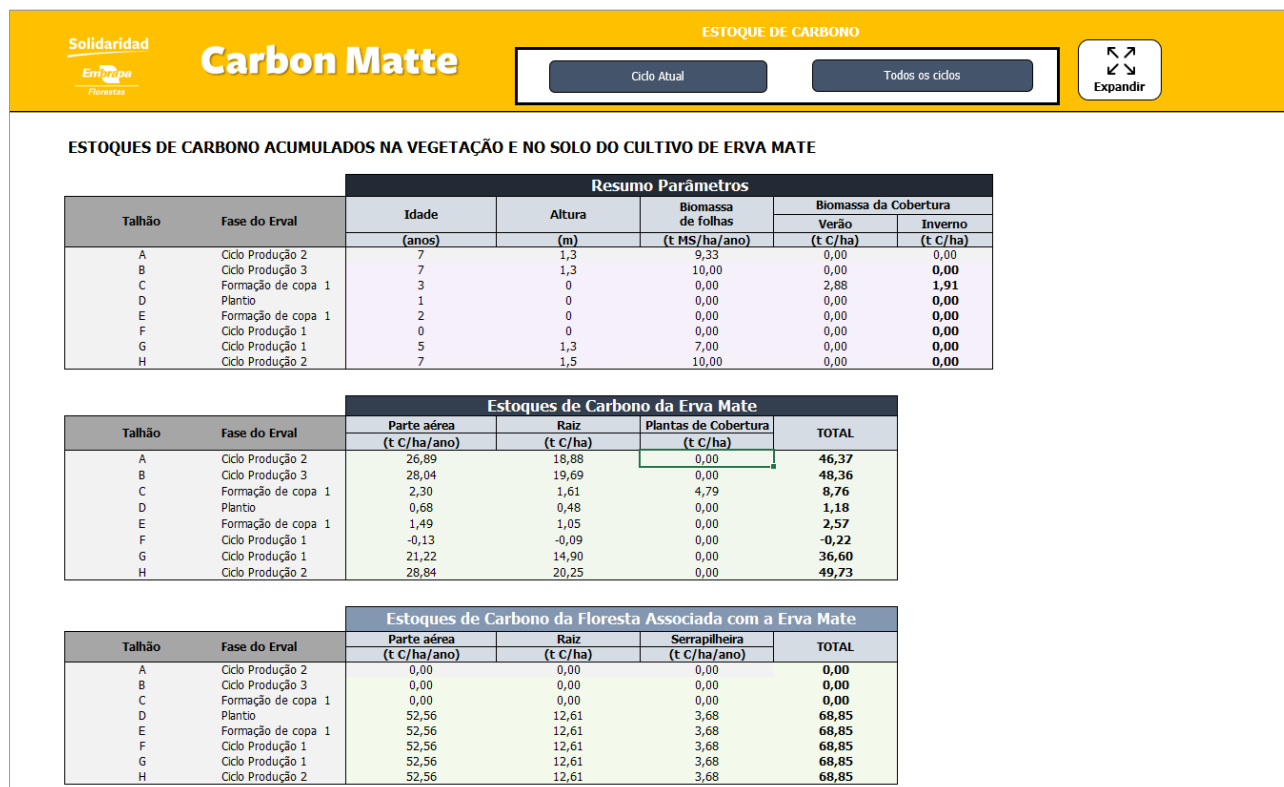


Figura 7. Ilustrativo da aba Estoques de Carbono, com o esquema de tabelas de resultados para um talhão e um ciclo de produção.

O primeiro conjunto de resultados da aba Estoque de Carbono compila a inserção de informação na forma de biomassa vegetal, tanto da erva-mate como de culturas de cobertura que, por prática de manejo, sejam adotadas nas entrelinhas do cultivo de erva-mate. Essas informações são utilizadas para estimar o conteúdo de carbono que está armazenado na parte aérea e nas raízes da erva-mate, assim como na cobertura do solo. Caso os valores de cobertura do solo estejam zerados, significa que essa prática não é adotada. Os estoques são totalizados e representam o estoque de carbono total que é observado em plantios de erva-mate, independente do sistema de produção.

Na sequência tem-se a estimativa do estoque de carbono contido na floresta associada à exploração de erva-mate, em sistemas de produção de ervais adensados. A estimativa do carbono da floresta nativa associada ao eralv será feita pelas informações de número de árvores remanescentes no fragmento florestal, por unidade de área, mas de forma indireta, pela condição de sombreamento do eralv. Essa informação será fornecida na primeira tabela da aba Fatores de Produção quando indicar o sistema de produção adensado e qual o grau de sombreamento (Tabela 1 da aba Fatores de Produção – Figura 2). O nível de sombreamento será estabelecido pelo número de árvores remanescentes na floresta, e o estoque de carbono da FOM será obtido pela relação entre o número de árvores remanescentes e a taxa de carbono que foi perdida.

A relação entre o número de árvores que não são erva-mate e a redução gradativa de carbono da parte aérea da vegetação está ilustrada na Figura 8, e foi obtida pelos dados de inventário florestal utilizados para estimar a biomassa vegetal e, posteriormente, o estoque de carbono (Rachwal et al., 2023, no prelo). O percentual de redução do estoque de carbono vegetal da parte aérea da FOM (Floresta Ombrófila Mista) original em relação ao número de árvores remanescentes da floresta nativa (considerando aquelas com DAP > 10 cm) foi adotado como índice de mudança do estoque de carbono (ver tabela 1.3 na aba Banco de Dados; Figura 6). Esses valores estão destacados na Figura 8, e variam de 20%, quando há na FOM mais de 500 árvores/ha, a 75%, quando o número for inferior a 100 árvores remanescentes/ha.

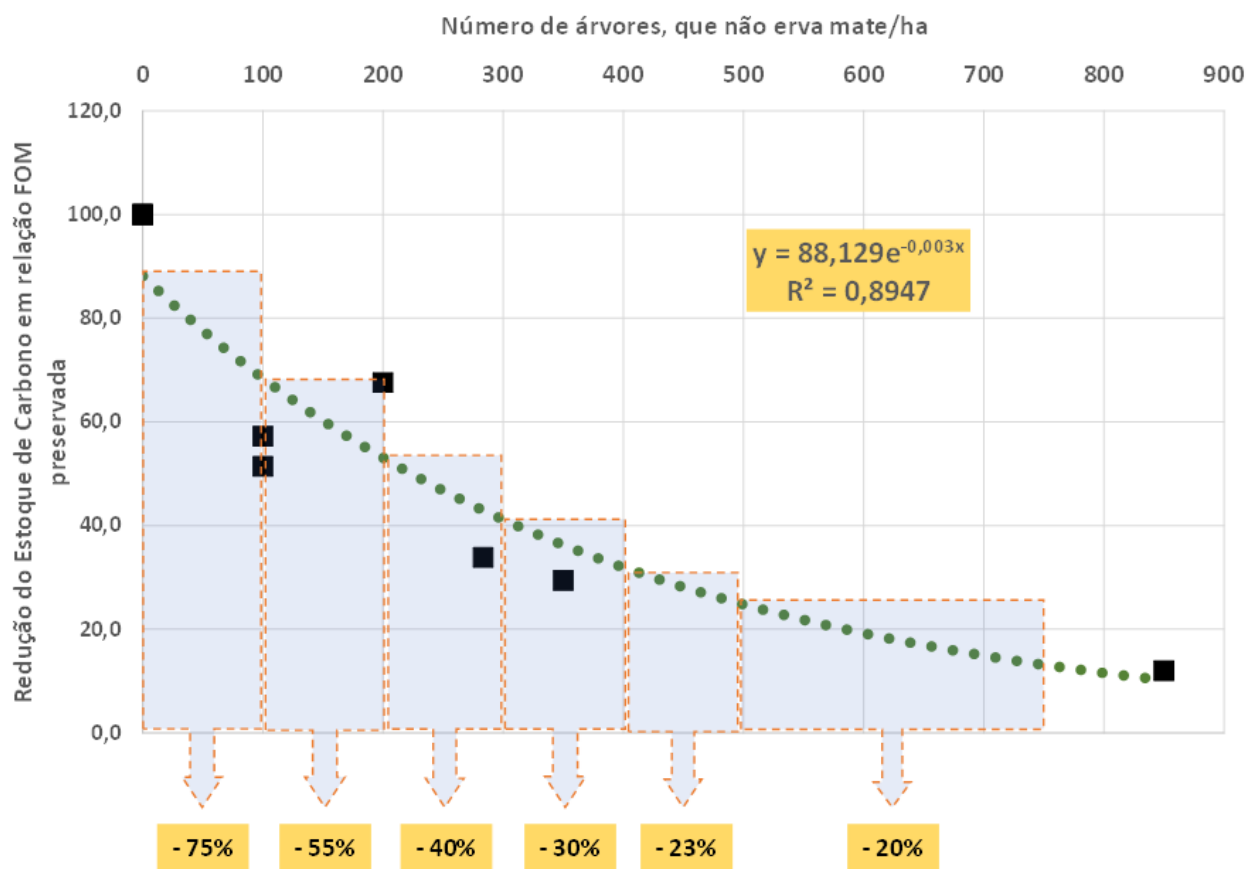


Figura 8. Relação entre percentagem do estoque de C que foi reduzido na Floresta Ombrófila Mista (FOM) e o número de árvores remanescente com mais de 10 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), por unidade de área. Valores situados abaixo do gráfico referem-se à percentagem de redução no centro de faixa de número de árvores, utilizando a equação em destaque.

O estoque de carbono das raízes das árvores da FOM e também da erva-mate serão estimados pela relação parte aérea/raiz. Esse índice foi estabelecido com base na literatura disponível e está descrito na aba banco de dados (Figura 6). Para a Floresta associada à erva-mate também é possível estimar o carbono da serrapilheira. O índice de serrapilheira em relação ao estoque de carbono da parte aérea foi estabelecido por meio de medidas realizadas no ambiente de calibração da Calculadora de Carbono, no município de Cruz Machado, PR. O valor foi descrito na aba Banco de Dados e representa 7% do estoque medido na biomassa vegetal da parte aérea.

Outro compartimento de carbono que pode ser contabilizado na Calculadora de Carbono da Erva-Mate é aquele contido no solo florestal. O carbono do solo florestal pode ser expresso na camada de 0-30 cm, mas também na camada de 0-100 cm. A estimativa do estoque de carbono do solo florestal

será feita com base no índice de alteração do carbono do solo (IAC), como também proposto pelo documento do IPCC que orienta a elaboração de inventários de emissões de GEE (IPCC, 2006). A diferencial é que os IACs sugeridos na Calculadora de Carbono foram especificamente gerados para a cultura da erva-mate no ambiente de calibração, o que resulta em elevada representatividade das condições edafoclimáticas. Os fatores de alteração do estoque de carbono pela mudança de uso do solo de FOM para erva-mate são descritos na aba Banco de Dados, assim como o estoque referencial de alguns solos no ambiente de calibração.

O estoque de carbono pode ser expresso apenas para o ciclo atual de monitoramento ou para todo o conjunto de ciclos inseridos na calculadora, em períodos anteriores.

Emissão de GEE

As emissões de GEE atreladas aos sistemas de produção da erva-mate serão estimadas automaticamente pela Calculadora de Carbono da Erva-Mate para as fontes: combustível fóssil; energia elétrica; fertilizantes e adubos; corretivos de solo e defensivos agrícolas (Figura 9). Especificamente para a emissão de dióxido de carbono, também poderão ser estimadas as emissões pela mudança dos estoques de carbono contabilizados na vegetação e no solo que, devido ao sistema de produção adensado, não foram denominadas como aquelas devidas à mudança de uso do solo ou da terra.

As informações que garantem as estimativas de emissão de GEE foram especificadas e inseridas na aba Fatores de Produção. Essas informações combinadas aos coeficientes técnicos e fatores

Talhão		Fase do Erval	Combustível fóssil	Energia elétrica	Fertilizante químico	Adubo orgânico	Outros insumos (corretivos e condicionantes)	Solo	Vegetação	Total
A		Ciclo Produção 2	152,0	0,0	50,0	0,0	130,0	0,0	0,0	332,0
B		Ciclo Produção 3	152,0	0,0	300,0	80,9	0,0	0,0	0,0	532,9
C		Formação de copa 1	98,8	0,0	0,0	130,5	0,0	32108,0	0,0	229,3
D		Plantio	96,0	0,0	0,0	0,0	2600,0	0,0	252463,2	2696,0
E		Formação de copa 1	96,0	0,0	0,0	323,4	0,0	0,0	252463,2	419,4
F		Ciclo Produção 1	56,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	252463,2	56,0
G		Ciclo Produção 1	152,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	252463,2	152,0
H		Ciclo Produção 2	152,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	252463,2	152,0

Talhão		Fase do Erval	Fertilizante nitrogenado	Adubo orgânico (dejetos e verdes)	Emissões indiretas	Total
A		Ciclo Produção 2	2,5	0,0	1,4	3,9
B		Ciclo Produção 3	15,0	80,9	6,1	104,0
C		Formação de copa 1	0,0	130,5	0,0	130,5
D		Plantio	0,0	0,0	0,0	0,0
E		Formação de copa 1	0,0	323,4	0,0	323,4
F		Ciclo Produção 1	0,0	0,0	0,0	0,0
G		Ciclo Produção 1	0,0	0,0	0,0	0,0
H		Ciclo Produção 2	0,0	0,0	0,0	0,0

Talhão		Fase do Erval	Emissão de CO2 (kg CO2)	Emissão de N2O (kg N2O)	Emissão de N2O (kg CO2eq.)	TOTAL (kg CO2eq.)	TOTAL (kg C-CO2eq.)
A		Ciclo Produção 2	1217,35	6,05	1651,65	2869,00	782,46
B		Ciclo Produção 3	1953,80	163,37	44600,07	46553,87	12696,51
C		Formação de copa 1	840,77	205,08	55987,77	56828,53	15498,69
D		Plantio	9885,33	0,00	0,00	9885,33	2696,00
E		Formação de copa 1	1537,80	508,22	138744,12	140281,92	38258,70
F		Ciclo Produção 1	205,35	0,00	0,00	205,35	56,01
G		Ciclo Produção 1	557,35	0,00	0,00	557,35	152,01
H		Ciclo Produção 2	557,35	0,00	0,00	557,35	152,01

Figura 9. Ilustrativo da aba Emissões de GEE, com o esquema de tabelas de resultados. Valores são exemplos hipotéticos e não representam valores reais do erval.

de emissão da aba Banco de Dados resultam nas estimativas de emissão de GEE, especificando individualmente a quantidade de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Alguns parâmetros necessitam de processamento dos dados para gerarem as variáveis necessárias às estimativas de

emissão de GEE, como no caso de emissões de óxido nitroso. Todavia, todas as estimativas seguiram a guia metodológica do IPCC quanto aos cálculos (IPCC, 2006).

Para as emissões de GEE de fertilizantes nitrogenados e adubos orgânicos, previamente, a informação fornecida deve ser a quantidade do produto nitrogenado comercial utilizado. Essa informação será transformada em quantidade de N aplicado, considerando os teores de N que cada produto contém. Com o valor de N aplicado será possível usar o fator de emissão para óxido nitroso dos fertilizantes nitrogenados e estimar a emissão desse gás. As emissões de óxido nitroso de fontes indiretas considerarão as perdas de N aplicado na forma de lixiviação e volatilização também, utilizando coeficientes e fatores de emissão descritos na aba Banco de Dados.

As emissões de dióxido de carbono podem ser devido ao combustível fóssil adotado no manejo, mas também ao uso de energia elétrica e outros insumos, que dependem da energia fóssil no processo produtivo, como é o caso da uréia. Fora isso, ainda pode haver emissão de dióxido de carbono pelo uso desses insumos, como no caso da uréia e do calcário que têm na sua fórmula química o elemento carbono. Na medida que esses insumos são aplicados ao solo, há a liberação de dióxido de carbono, nas proporções descritas pelo fator de emissão apresentado na aba Banco de Dados. Outros insumos ainda são reconhecidos por aumentar a emissão basal de dióxido de carbono do solo, como no caso dos fertilizantes orgânicos. O material orgânico aumenta a atividade microbiana que responde com liberação de proporção do carbono contido nos adubos.

As emissões de GEE foram detalhadas por gás inicialmente e na sequência convertidos para equivalente de dióxido de carbono e equivalente de carbono. Os coeficientes adotados para a conversão foram descritos na Tabela 1.1 da aba Banco de Dados (Figura 6). A emissão total globalizada de GEE será expressa em equivalente de carbono e equivalente de dióxido de carbono (Figura 9).

A emissão de GEE pode ser expressa apenas para o ciclo atual de monitoramento ou para todo o conjunto de ciclos inseridos na calculadora em períodos anteriores.

Considerações finais

O setor ervateiro passa por um momento ímpar, considerando a valorização da espécie no mercado interno, a descoberta de novas propriedades nutraceuticas e novos produtos, culminando no aumento da sua demanda pelo mundo, ampliando o mercado (Penteado Júnior; Goulart, 2019) e até mesmo impulsionando os pedidos de registro de origem. Esse panorama é, sem dúvida, um estímulo e uma oportunidade de se convergir esforços, para que a erva-mate passe a cumprir, também, um papel de excelência no enfrentamento às mudanças climáticas.

Os resultados da Calculadora de Carbono da Erva-Mate permitem que produtores rurais gerenciem a qualidade ambiental da sua produção ervateira, por meio da mensuração de suas remoções e emissões de carbono; empresas que queiram mensurar ativos, contabilizar emissões e estoques de carbono, para fins de quantificar seus ativos de carbono ou comprovação de metas dentro do ODS 13, certificadoras e profissionais da área, para fins de programas de padrão de qualidade e avaliação de impacto ambiental, como a pegada de carbono. Também é possível adotar a ferramenta como instrumento de gerenciamento e avaliação da sustentabilidade do erval ao longo do tempo. Muitas podem ser as aplicações de uso da Calculadora de Carbono, inclusive para além da sua aplicação, pois a planilha eletrônica registra e organiza os fatores de produção dispensados na propriedade, sendo um instrumento de auxiliar de gestão e planejamento da propriedade melhorando a tomada de decisão.

A Calculadora de Carbono também pode ser adotada combinada a outras ferramentas de gestão de uso indicado para erva-mate. Os resultados da calculadora de carbono podem ser combinados com os resultados de outras ferramentas, tais como o Ferti-Matte, o Manejo-Matte, e o Planin-Matte, que respondem pela avaliação da necessidade de fertilizantes; indicação de quais ações devem ser tomadas para a melhoria do erval e análise econômica dos ervais, respectivamente. Essa combinação de informações permite uma gestão integrada do erval e propicia ao produtor rural oportunidade de tomar decisões embasadas em critérios técnicos, que podem resultar em aumento de produtividade e da sustentabilidade do erval.

A Calculadora de Carbono da Erva-Mate foi desenvolvida especificamente para os sistemas de produção da erva-mate, sendo pioneira para a aplicação a qual se destina dentro do setor ervateiro. Além de ser inovadora, destaca-se a geração de métricas específicas para a erva-mate, o que garante não apenas a representatividade do modelo atual de produção, mas também o estudo de cenários para avaliar práticas e técnicas empregadas no erval, quanto ao aspecto de contribuição para qualidade ambiental. Como qualquer ferramenta, a validação para ambientes diferentes daquele para o qual foi calibrado, ervais adensados e sob pleno sol da região de Cruz Machado e Bituruna, ambos no Paraná, deve ser prioridade.

Referências

- ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M.; CORRÊA, G. **Geração da curva alométrica para avaliar as reservas de carbono em plantios de Erva-Mate, no Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 19 p. (Embrapa Florestas. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 33). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42628/1/BPD33.pdf>.
- AMARAL, M. M. **Construção de indicadores de sustentabilidade da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) na mata atlântica**. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biofera da Mata Atlântica, 2017. 65 p. (Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 47. Série Mercado Mata Atlântica).
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030**: plano operacional. Brasília, DF, 2020. 136 p. Disponível em: <http://192.168.3.118:8080/handle/1/150>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- CARVALHO, P. E. R. *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire: erva-mate. In: CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPF; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 280-287.
- COELHO, G. C. Ecosystem services in brazilian's southern agroforestry systems. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 20, n. 3, p. 475-492, 2017.
- EMBRAPA FLORESTAS. **Embrapa Florestas**: dedicação à pesquisa florestal. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 54 p. (Embrapa Floresta. Documentos, 81). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51442/1/Doc-81.pdf>.
- GAIAD, S. (ed.). **Cultivo da erva-mate**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 33 p. (Embrapa Florestas. Sistema de produção, 1). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155569/1/EmbrapaCultivoDaErva-Mate2014.pdf>.
- GOULART, I. C. G. dos R.; SANTIN, D.; BRASILEIRO, B. P. Fatores que afetam a produtividade na cultura da erva-mate. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1345-1367, 2022. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1149758/1/2022-Goulart-Fatores-que-afetam-a-produtividade-na-cultura-da-erva-mate.pdf>.
- HEBERLE, A. F.; HELM, C. V. Determinação dos teores de polifenóis totais em amostras nativas de erva-mate. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 16., 2017, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. p. 19. (Embrapa Florestas. Documentos, 307).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**: resultados definitivos. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 2 fev. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2020a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/documentos>. Acesso em: 2 nov. 2020.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção do extrativismo vegetal e silvicultura**. Rio de Janeiro, 2020b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/documentos>. Acesso em: 2 nov. 2020.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, v. 30, n. 2, p. 981-990, 2004.
- MEDRADO, M. J. S.; VILCAUHANAN, L. J. M. Importância socioeconômica e ambiental. In: GAIAD, S. (ed.). **Cultivo da erva-mate**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 33 p. (Embrapa Florestas. Sistema de produção, 1). p. 29-33.
- OLIVEIRA, J. M. D.; OLIVEIRA, J. P. M. D.; CARDOSO, L. S.; ATAÍDE, D. H. S.; CURTO, R. A.; ARAÚJO, E. J. G. Avaliação de aplicativos de smartphone para mensuração da altura total de árvores. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 2, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/14220211221>.
- PALACIOS, P. I. C. **Sistemas de cultivo de erva-mate**: atributos físicos, indicadores de qualidade e estoque de carbono num Latossolo Vermelho Aluminoférrico. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. **Erva 20**: sistema de produção para erva-mate. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 152 p. (TTflorestal: transferência de tecnologia florestal). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/193651/1/2019-Manual-Erva20-web.pdf>.
- RACHWALL, M. F. G.; ARCOVERDE, M. F.; ZANATTA, J. A.; GOULART, I. C. G. dos R.; DEDINI, G.; ALVES, M.; TOMASI, J. de C.; AMARO, G. C.; SANTAROSA, E.; BRIENZA JÚNIOR, S. **Estoque de carbono e viabilidade econômica de erva-mate sombreada e a pleno-sol**: estudo de caso em Cruz Machado e Bituruna - PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2023. (Embrapa Florestas. Documentos, X). No prelo.
- SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; REISSMANN, C. B. Nutrição e recomendação de adubação e calcário para a cultura de erva-mate. In: WENDLING, I.; SANTIN, D. (ed.). **Propagação e nutrição de erva-mate**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 99-195.
- VIANA, G.; HOEFLICH, V. A.; SANTOS, A. J. D.; SCHWANS, A.; MACEDO, J. D. J. A contribuição dos produtos florestais não-madeireiros - Erva-mate e Pinhão - ao setor florestal e agropecuário do Paraná. **Brazilian Journal of Wood Science**, v. 9, n. 3, p.181-190, 2018.
- WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. Produção de mudas de erva-mate. In: WENDLING, I.; SANTIN, D. (ed.). **Propagação e nutrição de erva-mate**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 30-98.

Embrapa

Florestas

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA



CGPE 018363