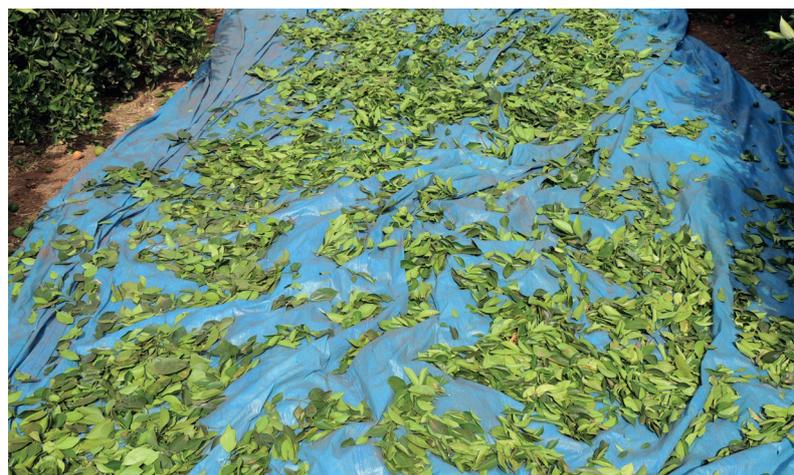


Campinas, SP / Dezembro, 2024

OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL



## Estimativa do estoque de carbono no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/ Sudoeste de Minas Gerais



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Territorial  
Ministério da Agricultura e Pecuária**

ISSN 0103-7811 (referente ao suporte impresso)

# **Documentos 156**

Dezembro, 2024

## **Estimativa do estoque de carbono no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais**

*Lauro Rodrigues Nogueira Junior  
Carlos Cesar Ronquim  
Rogério Resende Martins Ferreira  
Fernando Antônio de Pádua Paim*

**Embrapa Territorial**  
Campinas, SP  
2024

**Embrapa Territorial**  
Av. Soldado Passarinho, nº 303  
Fazenda Chapadão  
13070-115, Campinas, SP  
Fone: (19) 3211.6200  
www.embrapa.br/territorial  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

*Lucíola Alves Magalhães*

Secretária-executiva

*Bibiana Teixeira de Almeida*

Membros

*André Luiz dos Santos Furtado*

*Celina Maki Takemura*

*Janice Freitas Leivas*

*Rafael Mingoti*

*Suzilei Francisca de Almeida Gomes Carneiro*

*Vera Viana dos Santos Brandão*

*Jaudete Daltio*

*Cristina Criscuolo*

*Rogério Resende Martins Ferreira*

*Daniela Tatiane de Souza*

Edição executiva

*Bibiana Teixeira de Almeida*

Revisão de texto

*Bibiana Teixeira de Almeida*

Normalização bibliográfica

*Vera Viana dos Santos Brandão*

Projeto gráfico

*Leandro Sousa Fazio*

Diagramação

*Suzilei Carneiro*

Fotos da capa

*Lauro Rodrigues Nogueira Junior*

Publicação digital: 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 Territorial

---

Estimativa do estoque de carbono no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais / Lauro Rodrigues Nogueira Junior [et al.]. — Campinas: Embrapa Territorial, 2024.

PDF (26 p.) : il. color. — (Documentos / Embrapa Territorial, ISSN 0103-7811; 156)

1. Cadastro Ambiental Rural. 2. Floresta. 3. Geoprocessamento. I. Nogueira Junior, Lauro Rodrigues. II. Ronquim, Carlos Cesar. III. Ferreira, Rogério Resende Martins. IV. Paim, Fernando Antônio de Pádua. V. Título. VI. Série.

---

CDD (21. ed.) 631.47

*Vera Viana dos Santos Brandão* (CRB-8/7283)

© 2024 Embrapa

## **Autores**

---

**Lauro Rodrigues Nogueira Junior**

Agrônomo, doutor em Recursos Florestais,  
pesquisador da Embrapa Territorial,  
Campinas, SP

**Carlos Cesar Ronquim**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ecologia  
e Recursos Naturais, pesquisador da  
Embrapa Territorial, Campinas, SP

**Rogério Resende Martins Ferreira**

Agrônomo, doutor em Agronomia,  
pesquisador da Embrapa Territorial,  
Campinas, SP

**Fernando Antônio de Pádua Paim**

Analista de sistemas, analista da Embrapa  
Territorial, Campinas, SP



Os autores agradecem a Innocent Drinks CO, pelo apoio financeiro do Farmer Innovation Fund a este estudo; os proprietários e todos os funcionários das fazendas de laranja que participaram do estudo, bem como todos os membros da equipe da empresa FlorAgro, pelo apoio no campo e na preparação das amostras da biomassa e do solo.

Sem o aporte de recursos financeiros, humanos e materiais não teria sido possível a realização deste importante estudo para o cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais.



## Apresentação

---

A Embrapa Territorial, unidade temática da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), atua na viabilização de soluções de inteligência, gestão e monitoramento territorial para a agricultura brasileira. Em seus projetos e ações, a Unidade desenvolve e aplica métodos para propiciar aos gestores públicos e privados maior conhecimento da complexidade do mundo rural, seus desafios e oportunidades.

Nossas equipes multidisciplinares fazem amplo uso das geotecnologias para gerar, integrar e analisar dados de várias fontes e naturezas, em bases territoriais e em diversas escalas temporais, para extrair as melhores informações e apoiar ações estratégicas nas centenas de decisões tomadas ao longo das safras.

O desenvolvimento e a aplicação de métodos, técnicas e procedimentos permitem detectar, identificar, qualificar, cartografar, prever e monitorar os diversos aspectos e fatores que influenciam a dinâmica de atividades agrícolas, pecuárias, florestais e ambientais em nível local, regional e nacional.

Bons prognósticos e diagnósticos territoriais são fundamentais na busca pelo desenvolvimento agropecuário sustentável, de modo a equilibrar as

questões produtivas, socioeconômicas e ambientais. Além da caracterização de aspectos técnicos e agrônômicos, a análise detalhada da agropecuária de uma determinada região implica compreender como essas características interagem com cada situação natural, agrária, agrícola, de infraestrutura e socioeconômica possibilitando o monitoramento de sua evolução.

Resultado de um trabalho conjunto entre a Embrapa Territorial e o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) para quantificar os estoques de carbono no cinturão citrícola dos estados de São Paulo e Minas Gerais (Triângulo Mineiro e Sudoeste de Minas), selecionado em um edital público com foco na mitigação das mudanças climáticas do fundo de inovação Farmer Innovation Fund da empresa britânica Innocent Drinks, esta publicação fornece, de forma inédita, dados sobre estocagem de carbono tanto em pomares adultos de laranja das principais variedades quanto nas áreas destinadas à preservação da vegetação nativa das propriedades citrícolas, e contribui para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 13, “Ação contra a mudança global do clima”, da Organização das Nações Unidas (ONU).

*Gustavo Spadotti Amaral Castro*  
Chefe-Geral da Embrapa Territorial



## Sumário

---

<b>Introdução</b>	11
<b>Desenvolvimento</b>	13
Áreas de pomares e áreas de preservação das propriedades citrícolas	13
Estimativa dos estoques de carbono dos pomares de laranja a partir de 3 anos	13
Estimativa dos estoques de carbono das áreas destinadas à preservação ambiental	22
Estimativa dos estoques de carbono do solo na camada de 0–30 cm	23
<b>Considerações finais</b>	25
<b>Referências</b>	27



## Introdução

Os potenciais impactos negativos do aquecimento global na saúde e no bem-estar humano, na disponibilidade de água, na produção de alimentos, na biodiversidade, nos ecossistemas e na economia global, entre outros, têm mobilizado a sociedade para identificar alternativas possíveis para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e aumentar o sequestro de carbono (C) atmosférico (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003; The World Bank, 2022; Forest Trends' Ecosystem Marketplace, 2024).

A agricultura pode ser uma dessas alternativas. Porém, no Brasil, o inventário nacional de GEE estima que a agricultura tenha emitido 21,8% dos GEE em 1990 e 28,5% em 2020 (Brasil, 2020). Dada a tendência crescente de emissões de GEE do setor agrícola, algumas cadeias do agronegócio brasileiro, como a de citros, têm buscado reduzir as emissões de GEE e armazenar mais carbono na biomassa vegetal e no solo, o que ajudará a mitigar os potenciais efeitos negativos do aquecimento global.

Nesse contexto e devido à sua grande participação na produção e exportação mundial de suco de laranja, o cinturão citrícola nos estados de São Paulo e sudoeste de Minas Gerais, Brasil, está recebendo cada vez mais atenção, devido ao seu potencial papel no balanço de carbono do setor citrícola e, conseqüentemente, na mitigação da mudança climática (Fundação Getúlio Vargas, 2024).

A Embrapa Territorial e o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) iniciaram, em 2022, um trabalho conjunto de investigação científica, para quantificar os estoques de carbono no cinturão citrícola dos estados de São Paulo e Minas Gerais (Triângulo Mineiro e Sudoeste de Minas). A pesquisa recebeu aporte de recursos da empresa britânica Innocent Drinks, após ter sido selecionada em um edital público do fundo de inovação da companhia (Farmer Innovation Fund) com foco na mitigação das mudanças climáticas. O trabalho visou fornecer dados sobre estocagem de C no segmento, de forma inédita, e envolveu tanto os pomares adultos de laranja das principais variedades quanto as áreas

destinadas à preservação da vegetação nativa das propriedades citrícolas.

A área avaliada abrangeu 496,72 mil hectares, 68% deles ocupados por pomares e 32% ocupados por áreas destinadas à preservação ambiental.

Foram utilizadas metodologias específicas para quantificar os estoques de C nas áreas dos pomares de laranja com idade igual ou superior a 3 anos e nas áreas dedicadas à preservação ambiental (áreas de preservação permanente, áreas de reserva legal e áreas de vegetação nativa excedente).

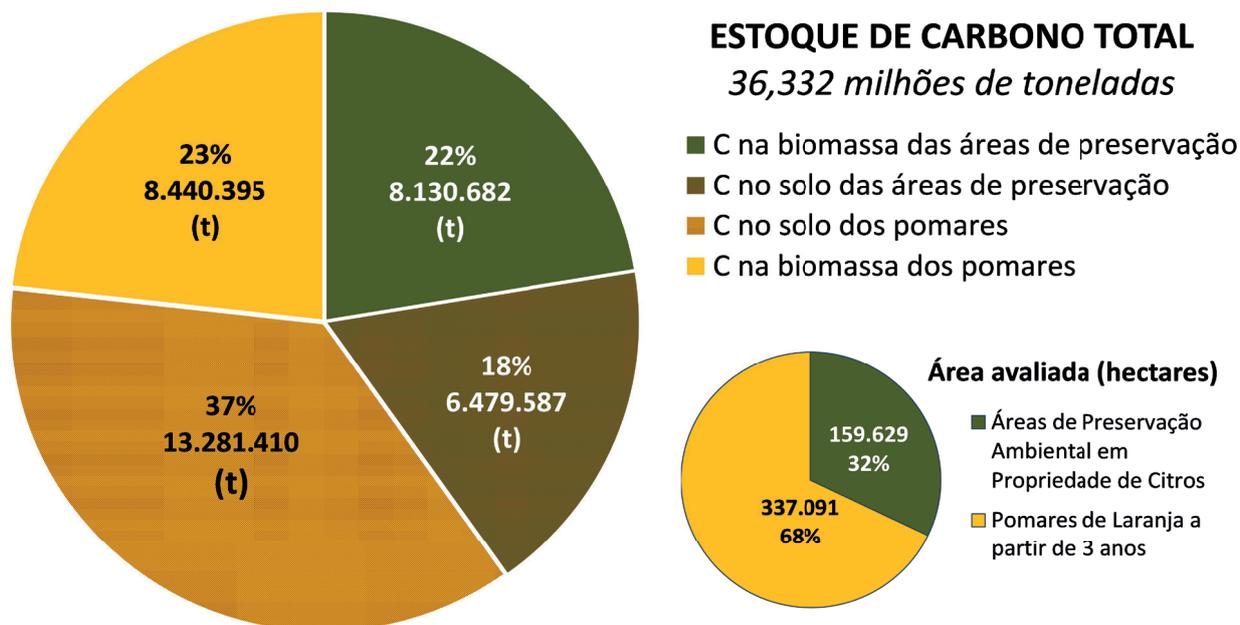
Nos pomares e nas áreas de preservação, os reservatórios mensurados foram a biomassa das plantas e a camada de 0–30 cm do solo. No cálculo da biomassa das laranjeiras, foram consideradas as principais variedades, que incluem, por ordem de importância no cinturão citrícola: Pera Rio, Valência, Hamlin, Natal, Valência Americana, Valência Folha Murcha, Rubi, Westin, Pineapple, Alvorada, Seleta. Nesses pomares, foram consideradas apenas as árvores com a mesma idade do talhão (3–5, 6–10, 11–15 e >15 anos de idade). Dessa forma, as replantas com idade inferior à do talhão não foram consideradas no cálculo.

Por meio da avaliação de 80 laranjeiras de pomares comerciais, foi desenvolvida uma equação alométrica que possibilitou, a partir de dados biométricos de 1.321 laranjeiras (altura, diâmetro do tronco e diâmetro dos galhos secundários), calcular a biomassa de aproximadamente 162 milhões de laranjeiras produtivas com elevado grau de confiança.

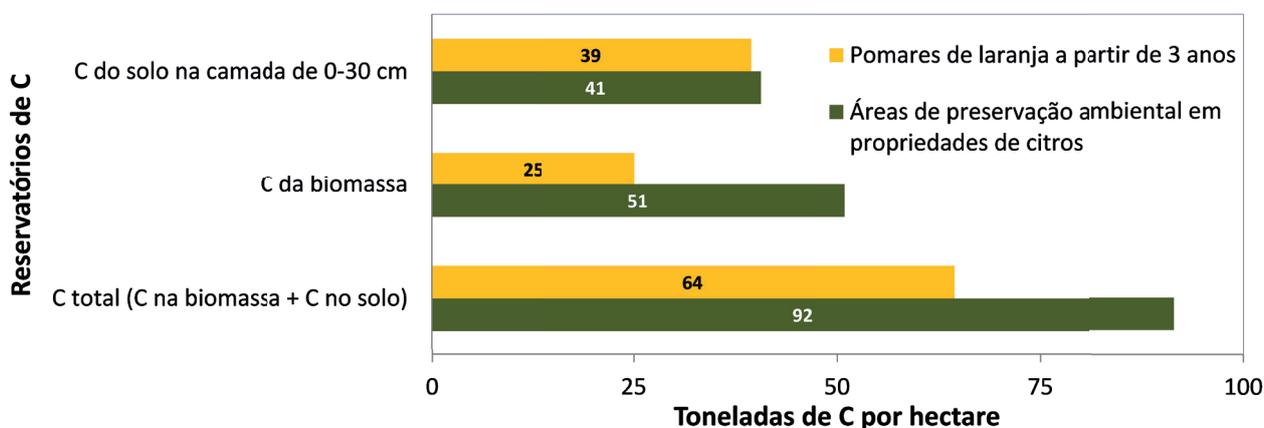
Estimou-se que o cinturão citrícola estocou 36,332 milhões de toneladas de C, e que os pomares foram responsáveis por 60% desse estoque e as áreas de preservação, por 40% (Figura 1).

Naturalmente, mesmo tendo sido quantificado apenas o C do solo na camada de 0–30 cm, o solo foi o maior reservatório, e estocou 19,761 milhões de toneladas de C, 55% do total do estoque de C. Por sua vez, as laranjeiras com idade igual ou superior a três anos, em fase produtiva, estocaram 8,44 milhões de toneladas de C, 23% do total do estoque de C.

Foram estimadas 64 t/ha de C nos pomares e 92 t/ha de C nas áreas de preservação (Figura 2). Apenas na biomassa das laranjeiras, os pomares estocaram, em média, 25 t/ha de C, similar a alguns



**Figura 1.** No círculo maior, estoque de carbono em porcentagem (%) e toneladas (t) na biomassa e no solo (camada de 0-30 cm) e, no círculo menor, área avaliada (ha) dos pomares e das áreas destinadas à preservação ambiental das propriedades citrícolas do cinturão de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais.



**Figura 2.** Média do estoque de carbono, em toneladas por hectare, nos reservatórios estudados das áreas dos pomares de laranja a partir de três anos de idade e das áreas destinadas à preservação ambiental em propriedades de citros do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais.

tipos de vegetação do bioma Cerrado, como a Savana Gramíneo-Lenhosa, por exemplo (Brasil, 2020).

E como foram obtidos esses resultados? Foram realizados trabalhos em campo e análises em laboratório, por meio de levantamentos amostrais, uso de métodos robustos e fontes oficiais de dados e informações.

Conforme será descrito nos próximos tópicos, os resultados foram alcançados em quatro passos: 1) Cálculo das áreas dos pomares e das áreas de

preservação, em hectares; 2) Estimativa do estoque de C das laranjeiras nos pomares; 3) Estimativa do estoque de C na vegetação das áreas de preservação ambiental existentes em propriedades citrícolas; e 4) Estimativa dos estoques de C na camada de 0–30 cm do solo dos pomares e das áreas de preservação.

Em conformidade com a Política de Gestão das Informações da Pesquisa de Estimativa de Safra (PES) do Fundecitrus, todos os processamentos que

envolveram dados relativos ao inventário de árvores foram conduzidos exclusivamente por colaboradores da PES. Informações e dados individualizados relativos aos pomares das propriedades rurais coletados para fins da PES não foram compartilhados com a Embrapa. Tais dados são armazenados nos servidores do Fundecitrus, em um banco de dados isolado da internet, com portas de entrada/saída de dados bloqueadas, impossibilitando conexões com dispositivos periféricos. Essas medidas garantem a segurança e a integridade dos dados, além de salvaguardar informações críticas, e preservam o sigilo das informações individualizadas de cada talhão e a identidade dos citricultores.

## Desenvolvimento

### Áreas de pomares e áreas de preservação das propriedades citrícolas

O primeiro passo foi calcular, em hectares, as áreas dos pomares e as áreas de preservação (Figura 3). O total de 337.091 ha de áreas dos pomares produtivos a partir de três anos foi

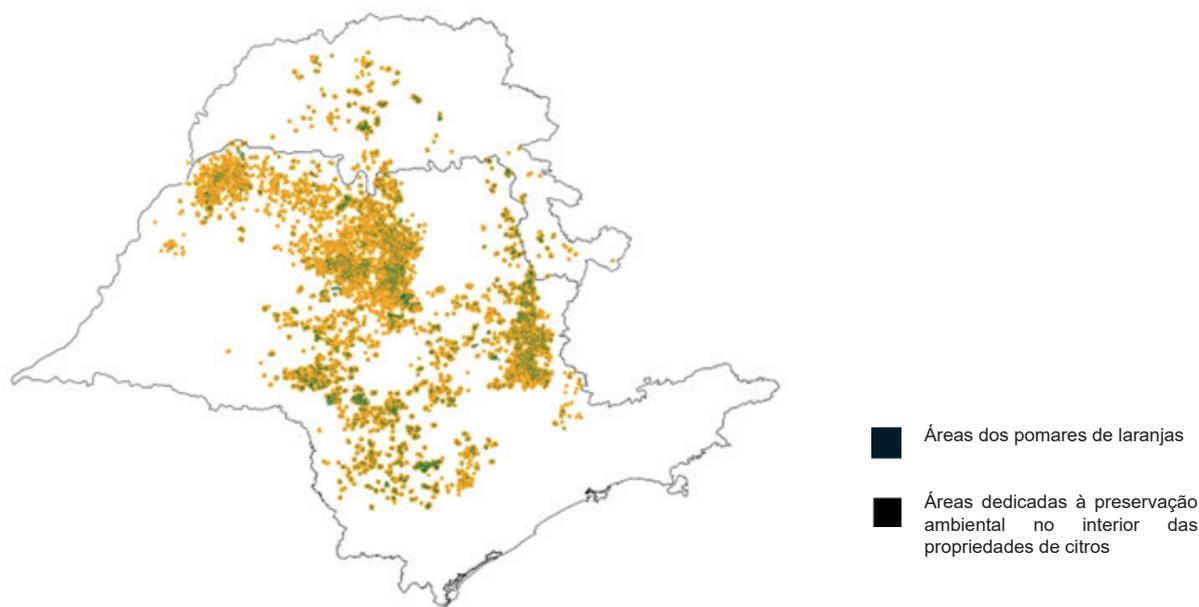
calculado a partir dos dados do Inventário de Árvores do Cinturão Citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais: Cenário em Março de 2023 (Fundecitrus et al., 2023). O total de 159.629 ha de áreas de preservação foi calculado por meio dos dados oriundos do Sistema Nacional do Cadastro Ambiental Rural (Sicar, 2023), utilizando a metodologia da Embrapa Territorial (2020), conforme Fundecitrus et al. (2023).

### Estimativa dos estoques de carbono dos pomares de laranja a partir de 3 anos

No segundo passo, foram determinados os estoques de C, em toneladas por hectare, das diferentes classes de idade e variedades de laranja dos pomares, conforme descrito a seguir.

### Avaliação de 80 laranjeiras pelo método direto

O estudo sobre a biomassa e o conteúdo de C de laranjeiras foi conduzido em três fazendas de citros, localizadas nos municípios de Espírito Santo do Turvo, Iaras e Santa Cruz do Rio Pardo (Figura 4), na região centro-sudoeste do estado de São Paulo, Brasil. Esses municípios estão



**Figura 3.** Localização das áreas dedicadas à preservação ambiental no interior das propriedades de citros e das áreas de pomares de laranja.

Fonte: Fundecitrus et al. (2023) e Sicar (2023).

localizados na região denominada de Duartina nos inventários de árvores do Fundecitrus.

Foram avaliadas laranjeiras em oito talhões de pomares comerciais de laranja (Figura 5). Em cada talhão, foram aleatoriamente avaliadas dez árvores. As 80 árvores avaliadas contemplaram 4 classes de idades – de 3–5, de 6–10, de 11–15 e maior que 15 anos –, e 2 variedades (Pera e Valência), ou seja, foram avaliadas 20 árvores por classe de idade e 40 árvores por variedade. O talhão ocupado pela variedade Pera na classe de idade de 11–15 anos era irrigado. Vale destacar que estas duas variedades de *Citrus sinensis* foram selecionadas por representarem aproximadamente 60% das laranjeiras do cinturão citrícola.

Nas 80 árvores avaliadas, foram medidas as seguintes variáveis biométricas: altura total, em metros; diâmetro da copa na linha de plantio e diâmetro da copa perpendicular à linha de plantio, em metros; diâmetro do tronco a 0,3 m de altura; diâmetro dos galhos primários e diâmetro dos galhos secundários, em centímetros. A partir das medidas do diâmetro do tronco, dos diâmetros dos galhos primários e dos diâmetros dos galhos secundários,

foi calculada a área basal (AB), em cm<sup>2</sup>, dessas três variáveis avaliadas por meio da Equação 1:

$$AB = \pi r^2 \quad (1)$$

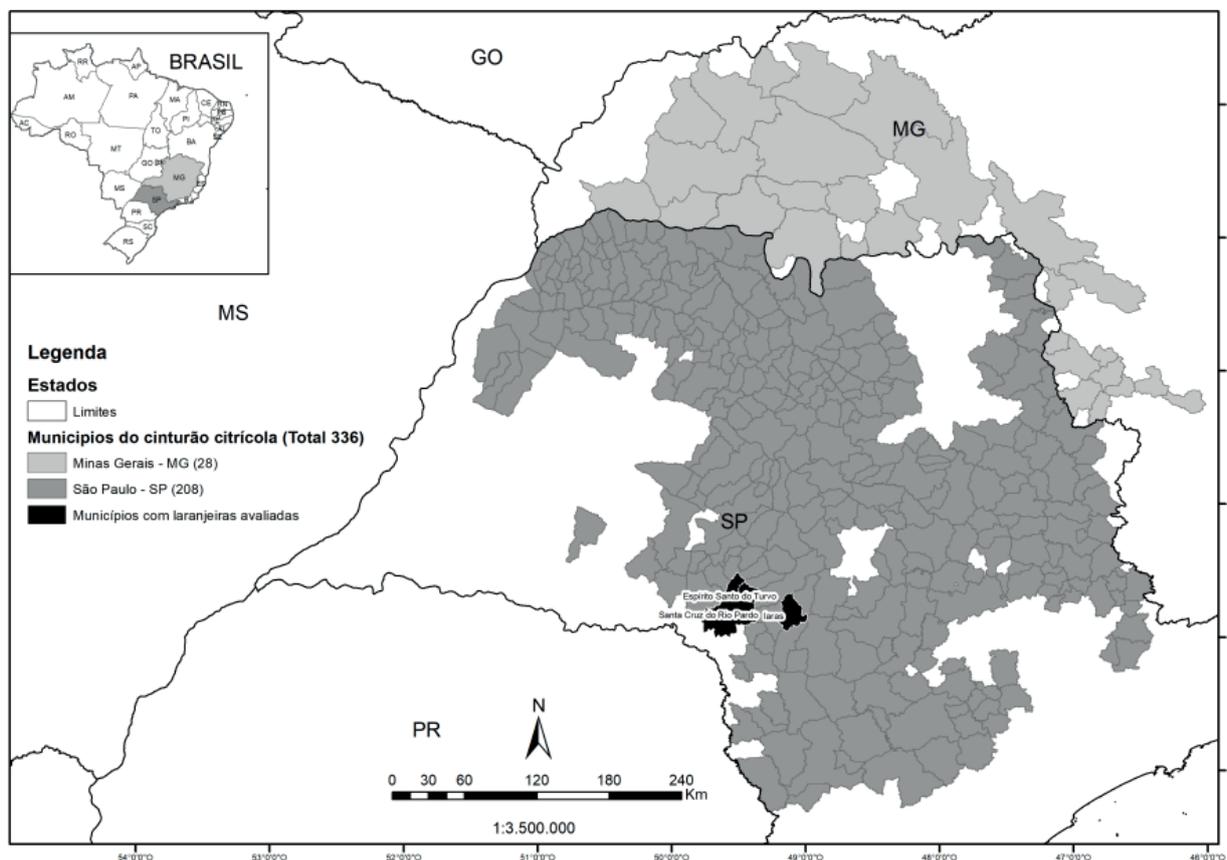
A área basal dos galhos primários (ABGP) e a área basal dos galhos secundários (ABGS) é a soma da área basal de todos os galhos primários e de todos os galhos secundários, respectivamente.

A partir da altura total (AT) e do diâmetro médio da copa (DC) [DC = (DC na linha de plantio + DC perpendicular a linha de plantio)/2], foi calculado o volume de copa (VC), em m<sup>3</sup>, por meio da Equação 2:

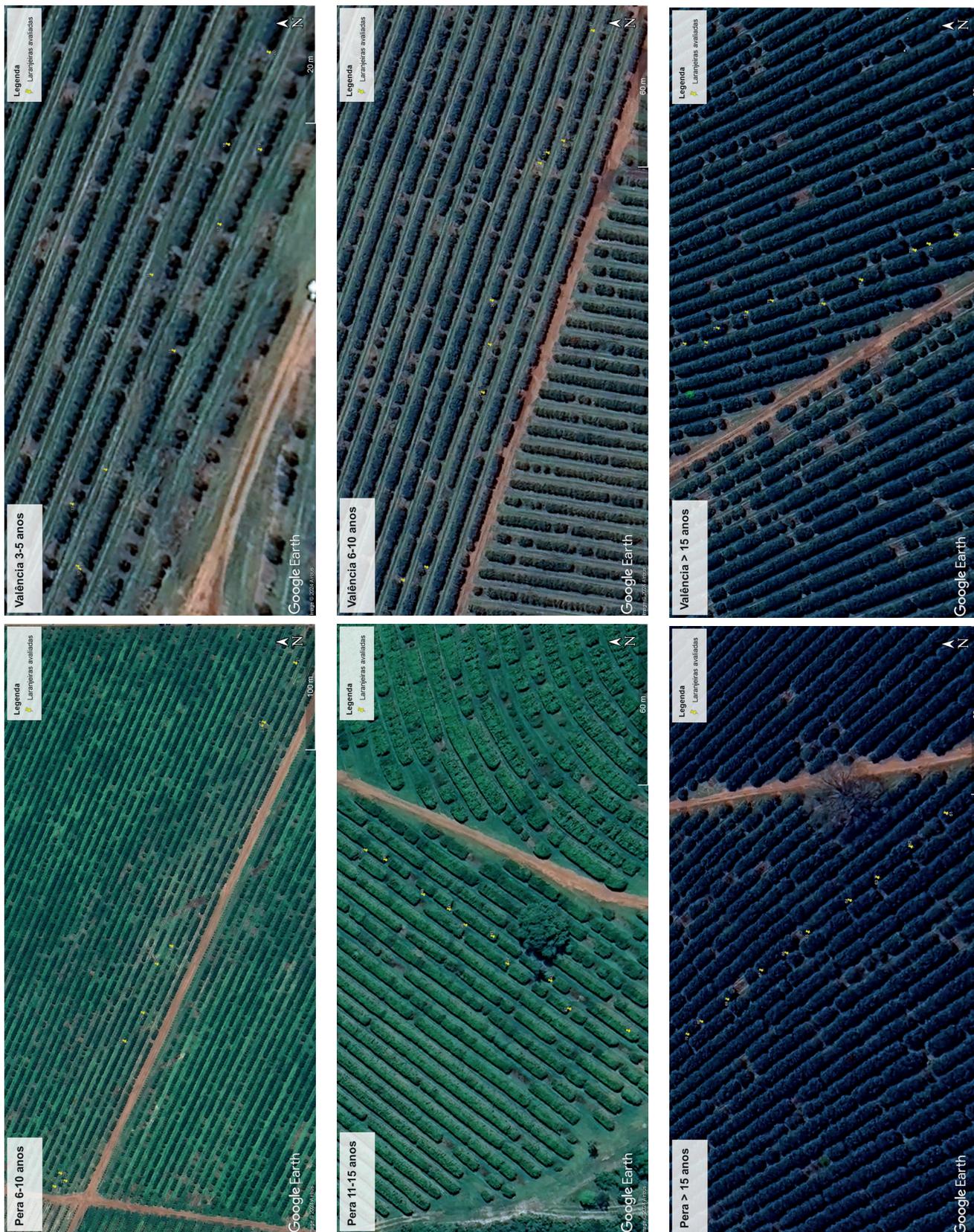
$$VC = 2/3 \pi r^2 AT \quad (2)$$

Cada uma das 80 árvores foi avaliada por método direto, cortada com motosserra, e as raízes foram retiradas manualmente com o auxílio de uma talha (Figura 6).

Em cada árvore, foram avaliados quatro compartimentos: A) raízes, biomassa entre a base do tronco (rente ao solo) e as raízes com diâmetro maior que 1 cm; B) tronco, biomassa entre a base do tronco e o início dos galhos primários; C) galhos, biomassa entre o início dos galhos primários e as folhas; e D) folhas. Esses compartimentos foram separados



**Figura 4.** Mapa com a localização dos municípios (Espírito Santo do Turvo, Iaras e Santa Cruz do Rio Pardo) com laranjeiras (*Citrus sinensis* L. Osbeck) avaliadas.



**Figura 5.** Imagens de satélite com a localização de 60 laranjeiras (pontos em amarelo) avaliadas em seis talhões comerciais com diferentes variedades e idades.

e pesados em campo (peso fresco). Em seguida, foram coletadas amostras frescas de 0,3 a 1 kg de raízes, tronco, galhos e folhas de cada árvore. Em laboratório, as amostras frescas foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C até peso constante. Das 80 laranjeiras avaliadas, para a determinação do conteúdo de C (% de C por 100 g de amostra), foram sorteadas e analisadas aleatoriamente dentro de cada estrato (classe de idade e variedade) 2 laranjeiras, totalizando 16 árvores, conforme publicado por Nogueira Junior et al. (2023). As 64 amostras dessas 16 árvores analisadas foram moídas em moedores tipo Willey e passadas em peneiras. Para determinar o conteúdo de C, cada amostra foi analisada pelo método de combustão a seco em analisador elementar de carbono, hidrogênio e nitrogênio (CHN) da marca LECO, modelo C-144.

Para o cálculo do conteúdo, em porcentagem (%), de C de cada árvore (CCA), foi aplicada uma média ponderada da biomassa por compartimento de cada planta, conforme a Equação 3:

$$CCA = \frac{(BF*CF)+(BG*CG)+(BT*CT)+(BR*CR)}{BA} \quad (3)$$

Na qual: B = biomassa (kg); C = conteúdo de C (%); F = folhas; G = galhos; T = tronco; R = raízes; A = árvore.

Para chegar ao conteúdo médio de C (CMC), em porcentagem (%), das 16 árvores avaliadas, também foi usada uma média ponderada, dada pela Equação 4:

$$CMC = \frac{(soma(BA1 \times CCA1) : (BA16 \times CCA16))}{(soma(BA1 : BA16))} \quad (4)$$

Os estoques de C por compartimentos, variedades, classes de idade, e combinação de variedades e classes de idade foram obtidos multiplicando-se a biomassa seca (kg) pelo conteúdo de C (%). Os dados dos conteúdos (%) e estoques de C (kg) foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, à análise de variância (Anova) e ao teste de Tukey ( $P > 0,95$ ), para comparação das médias. Para as análises estatísticas e produção dos gráficos, foi utilizado o software R (Wickham, 2016, 2022; R Core Team, 2022; Dowle; Srinivasan, 2023).

Para obter informações abrangentes do conjunto amostral, a Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das variáveis das 80 laranjeiras avaliadas. Em geral, as variáveis biométricas, as variáveis de biomassa e as variáveis de C por árvore apresentaram grande variação entre os valores mínimos e máximos. Isso demonstra a heterogeneidade das 80 árvores amostradas, que incluem 2 variedades e 4 classes de idade. A título de exemplo, o volume de copa

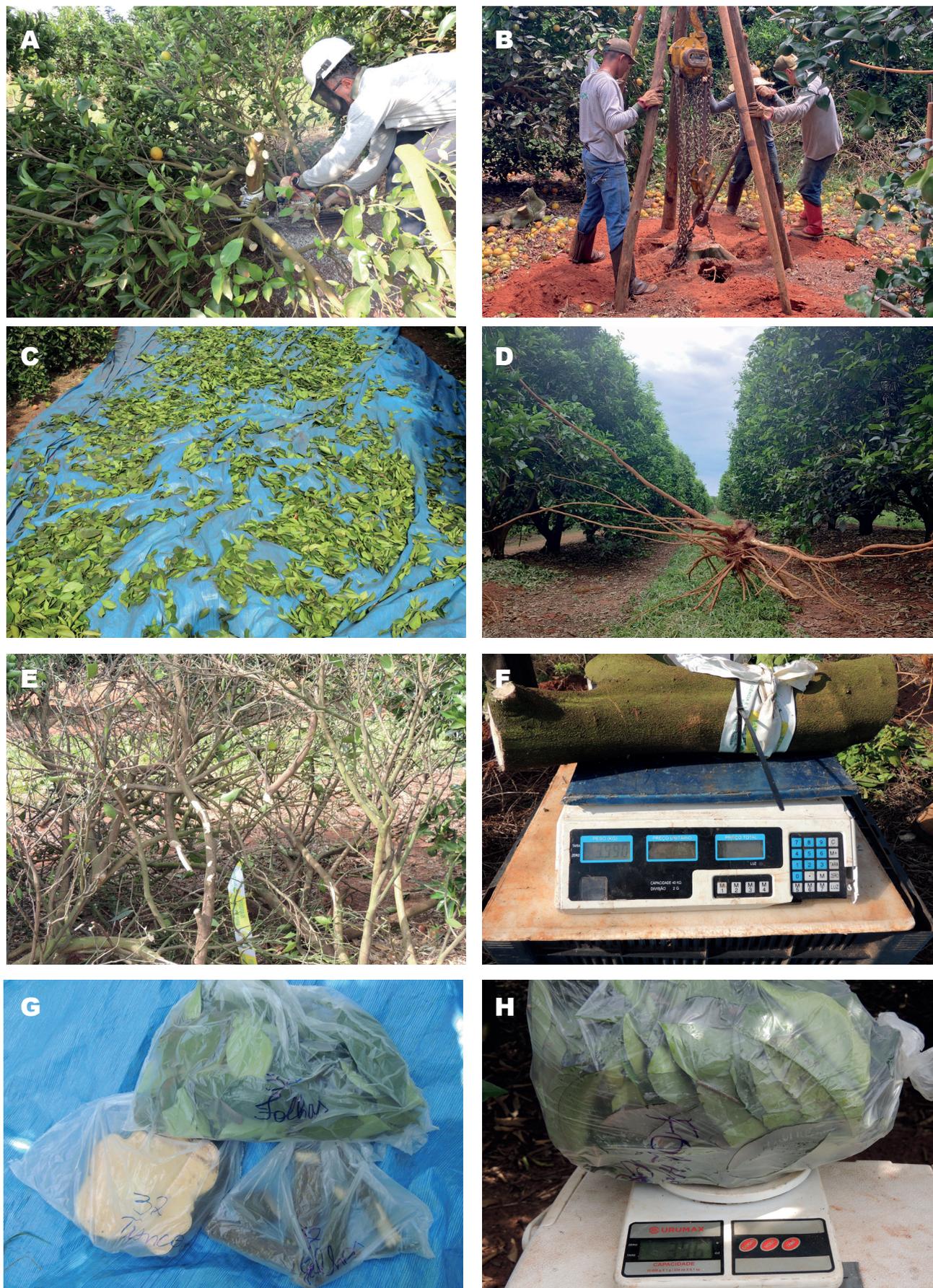
variou de 4,91 a 25,45 m<sup>3</sup>, a biomassa da árvore variou de 22,16 a 223,9 kg e o C total por árvore variou de 10,41 a 104,81 kg.

Ao considerar o conteúdo de C das árvores, que variou de 46,18 a 47,97%, e dos compartimentos, que variou de 42,36 a 44,66% para as folhas, de 46,94 a 48,05% para os galhos, de 46,91 a 48,11% para o tronco, e de 46,24 a 49,67% para as raízes, os intervalos entre os valores mínimos e máximos foram menores. Isso demonstra que, dentro da mesma espécie, o conteúdo de C por unidade de matéria seca apresenta baixa variância. Essa observação é corroborada pelo estudo de Quiñones et al. (2013), que apresentaram valores médios do conteúdo de C para a árvore toda (frutos, folhas, galhos, tronco e raízes) variando de 42,4 a 43,38% em árvores de idades entre 2 e 14 anos. Por fim, quanto ao conteúdo de C das árvores, um ponto importante a ser destacado é que, de acordo com a Equação 4 descrita acima, o conteúdo médio de C nas laranjeiras foi de 47%.

Em relação ao conteúdo e estoque de C, os resultados das análises estatísticas (teste de normalidade de Shapiro-Wilk e análise de variância – Anova –, dados não apresentados) indicam normalidade e independência dos dados. Isso permitiu comparar o conteúdo e o estoque de C por compartimentos, variedades, classes de idade e combinações de variedades e classes de idade (Figura 7).

O tronco (47,6%), os galhos (47,4%) e as raízes (47,4%) são os compartimentos da biomassa das laranjeiras com o maior conteúdo de C, quando comparados estatisticamente com as folhas (43,9%) (Figura 7C e 7E). O estoque de C foi de 44,85 kg. Os galhos são o maior compartimento, com média de 24,52 kg, e representam 55% do estoque de C das árvores, seguidos pelas raízes, com média de 12,79 kg e representando 29% do estoque de C das árvores. O material lenhoso (galhos, tronco e raízes) estoca em média 92% do C das árvores (Tabela 1).

O fato de o material lenhoso apresentar o maior conteúdo e fixar a maior parte do C deve ser considerado no manejo dos resíduos dos pomares, especialmente quando da renovação, erradicação de plantas doentes ou atacadas por pragas, e quando da substituição por outras culturas agrícolas. Sugere-se a disposição desse material lenhoso em áreas fora dos pomares, como as áreas de preservação permanente e reserva legal que estejam em processo de restauração, pois essa galharia, troncos e raízes podem funcionar como abrigos naturais da fauna e favorecer a restauração (Reis et al., 2014). Sugere-se também que esse



**Figura 6.** Método de avaliação direta para quantificação da biomassa viva acima e abaixo do solo (folhas, galhos, tronco e raízes) das 80 laranjeiras (*Citrus sinensis*) avaliadas.

**Tabela 1.** Estatística descritiva das variáveis das 80 árvores de *Citrus sinensis* avaliadas.

Variável	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Altura total (m)	2,14	3,26	3,52	5,10
Volume de copa (m <sup>3</sup> )	4,91	12,98	14,00	25,45
Diâmetro do tronco (cm)	7,32	13,69	14,30	23,52
Área basal do tronco (cm <sup>2</sup> )	42,10	147,14	176,49	434,59
Área basal dos galhos primários (cm <sup>2</sup> )	53,00	192,15	228,50	573,36
Área basal dos galhos secundários (cm <sup>2</sup> )	61,20	181,85	223,13	526,11
Biomassa das folhas (kg)	2,45	7,38	9,11	20,94
Biomassa dos galhos (kg)	6,89	45,82	51,78	125,99
Biomassa do tronco (kg)	1,34	5,43	7,49	22,28
Biomassa das raízes (kg)	5,13	20,75	26,93	77,10
Biomassa da árvore (kg)	22,16	85,84	95,32	223,90
Conteúdo de carbono das folhas (%)	42,36	43,33	43,46	44,66
Conteúdo de carbono dos galhos (%)	46,94	47,38	47,40	48,05
Conteúdo de carbono do tronco (%)	46,91	47,62	47,58	48,11
Conteúdo de carbono das raízes (%)	46,24	47,18	47,36	49,67
Conteúdo de carbono da árvore (%)	46,18	46,90	46,90	47,97
Estoque de carbono das folhas (kg)	1,04	3,23	3,96	9,08
Estoque de carbono dos galhos (kg)	3,26	21,70	24,52	59,89
Estoque de carbono do tronco (kg)	0,64	2,60	3,57	10,62
Estoque de carbono das raízes (kg)	2,40	9,83	12,79	37,44
Estoque de carbono da árvore (kg)	10,41	40,35	44,85	104,81

material seja destinado à geração de energia térmica, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera em comparação com a queima do material em campo, dado o alto poder calorífico do material lenhoso (López-Cortés et al., 2022).

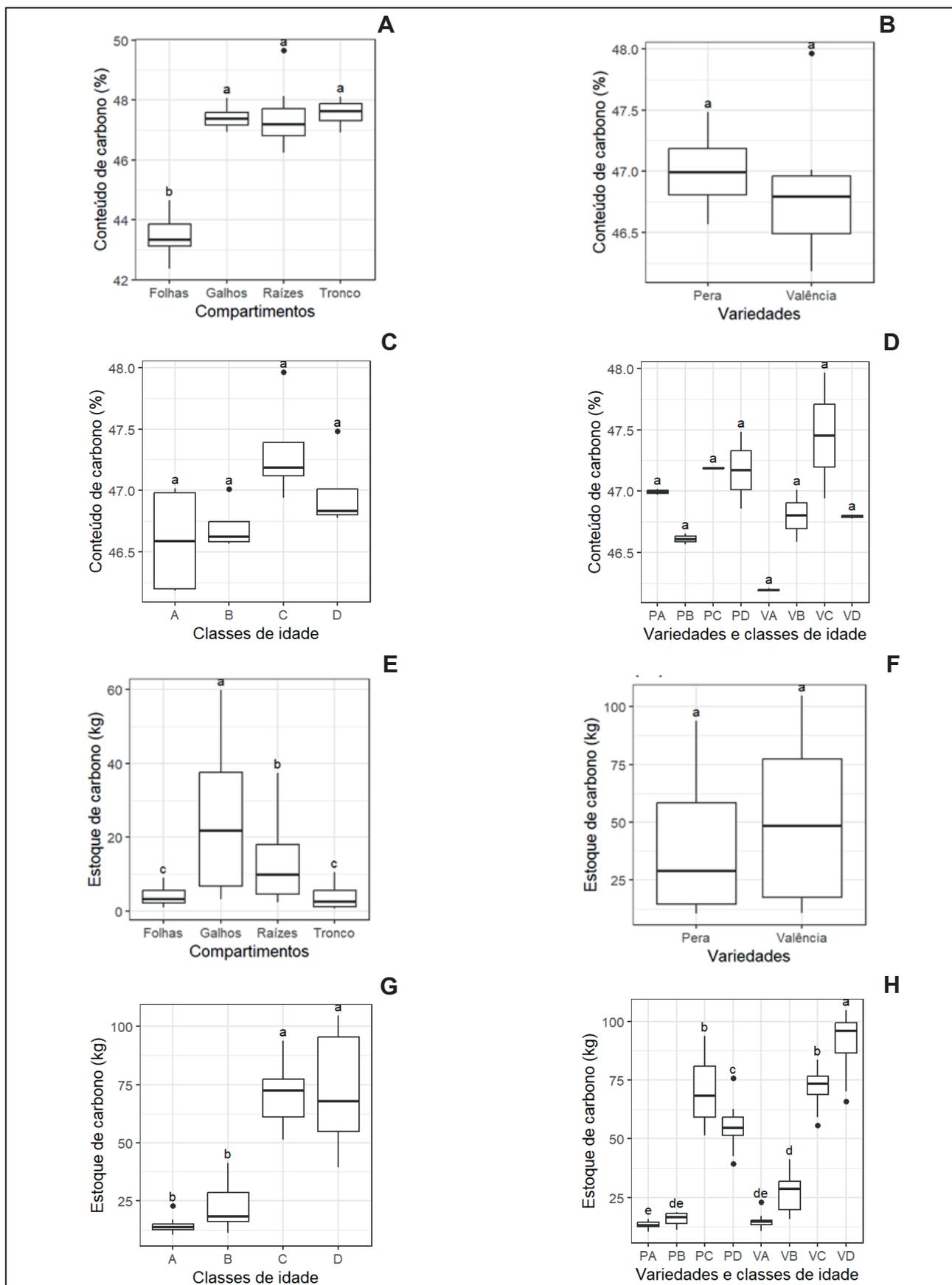
Não foram encontradas diferenças estatísticas nos seguintes casos: conteúdo e estoque de C entre as variedades Pera e Valência (Figuras 7B e 7F); conteúdo de C entre as classes de idade de 3–5, 6–10, 11–15 e >15 anos (Figura 7C); e conteúdo de C na combinação das variedades e classes de idade (Figura 7D).

Comparando as classes de idade, foram encontrados maiores estoques de C nas árvores com idade superior a dez anos (Figura 7F), o que é corroborado pelo estudo de Quiñones et al. (2013). Quanto à combinação das variedades e classes de idade (Figura 7H), há influência das classes de idade na diferença entre as médias de estoque de C, visto que as composições das variedades Pera e Valência com as classes de idade acima de dez anos apresentarem as maiores médias.

## Desenvolvimento de equações alométricas para estimativas de biomassa viva acima e abaixo do solo

Para o desenvolvimento das equações alométricas, as variáveis dependentes foram biomassa de laranjeira (BL), biomassa foliar (BF), biomassa de galhos (BG), biomassa de tronco (BT) e biomassa de raízes (BR), em quilogramas. As variáveis independentes foram altura total (AT), volume da copa (VC), diâmetro do tronco (DT), área basal do tronco (ABT), área basal dos galhos primários (ABGP) e área basal dos ramos secundários (ABGS). Os dados das variáveis dependentes e independentes das 80 árvores avaliadas foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Os dados das variáveis dependentes (BL, BF, BG, BT e BR) foram submetidos a análises de regressão múltipla com seleção *stepwise backward*, para calcular as contribuições relativas das variáveis independentes (AT, VC, DT, ABT, ABPB e ABGS). A análise de regressão foi feita em duas etapas. Na primeira etapa, as variáveis dependentes foram relacionadas a todas as variáveis independentes.



**Figura 7.** Conteúdo (%) e estoque de carbono (kg) por compartimentos (A e E), variedades (B e F), classes de idade (C e G), e combinação variedades e classes de idade (D e H) das 80 laranjeiras avaliadas pelo método direto. P = Pera, V = Valência, A = 3–5, B = 6–10; C = 11–15 e D = >15 anos. Gráficos com barras seguidas da mesma letra não apresentam diferenças significativas nos níveis médios do conteúdo e estoque de C no nível de confiança de 95% pelo teste de Tukey. Os *boxplots* representam os valores mínimos, medianos e máximos do conjunto amostral.

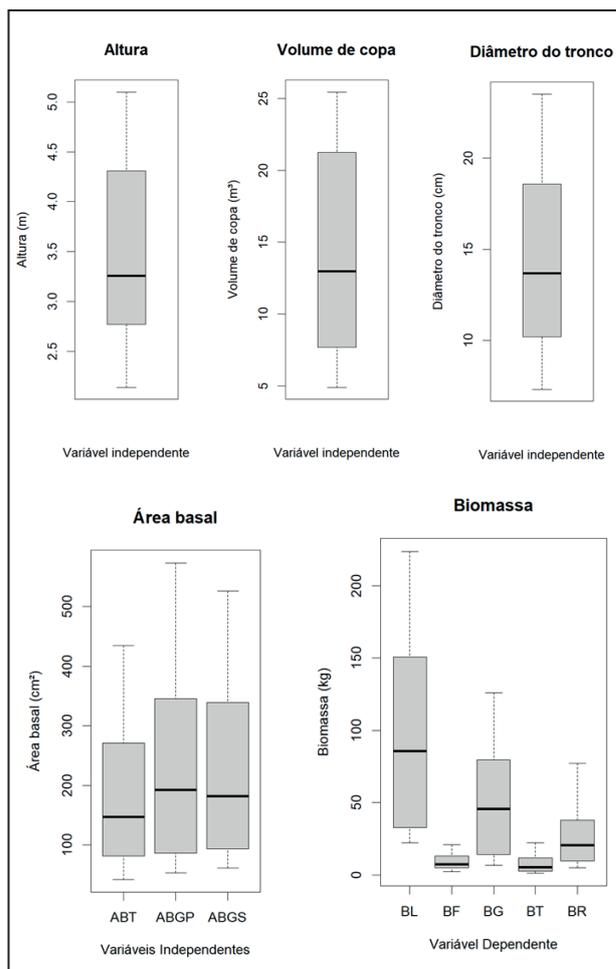
Na segunda etapa, os modelos resultantes foram simplificados pelo programa, que removeu todas as variáveis com valor de P maior que 0,05 em cada etapa. Isto permitiu identificar as variáveis independentes que melhor explicaram as variáveis dependentes. Foram feitas análises de correlação de Pearson entre a biomassa medida e as variáveis independentes selecionadas nas análises de regressão. Análises de correlação de Pearson também foram feitas para biomassa medida e biomassa estimada pelas equações alométricas. O software R (Wickham, 2016, 2022; R Core Team, 2022; Dowle; Srinivasan, 2023) foi utilizado para as análises estatísticas e a geração de gráficos.

Os dados das variáveis dependentes e independentes apresentaram distribuição normal (dados não apresentados) e ausência de *outliers* (Figura 8), o que demonstra a qualidade do conjunto amostral para determinação dos modelos das equações alométricas por meio de regressão linear *stepwise backward*. Na Tabela 1 e Figura 8, é importante destacar que: a amplitude entre os valores mínimo e máximo evidencia a alta variabilidade dos dados para todas as variáveis analisadas; a mediana de todas as variáveis analisadas destaca a concentração de dados abaixo da média. Isso reforça a ideia de que a média das variáveis incluídas no conjunto amostral deve ser utilizada com cautela na comparação com dados de outros estudos, como o de Quiñones et al. (2013).

A regressão linear *stepwise backward* selecionou as variáveis independentes que melhor explicavam a biomassa das árvores, o que permitiu o estabelecimento de equações alométricas para estimar a biomassa da laranja (Tabela 2).

## Estimativa da biomassa e do carbono das laranjeiras produtivas

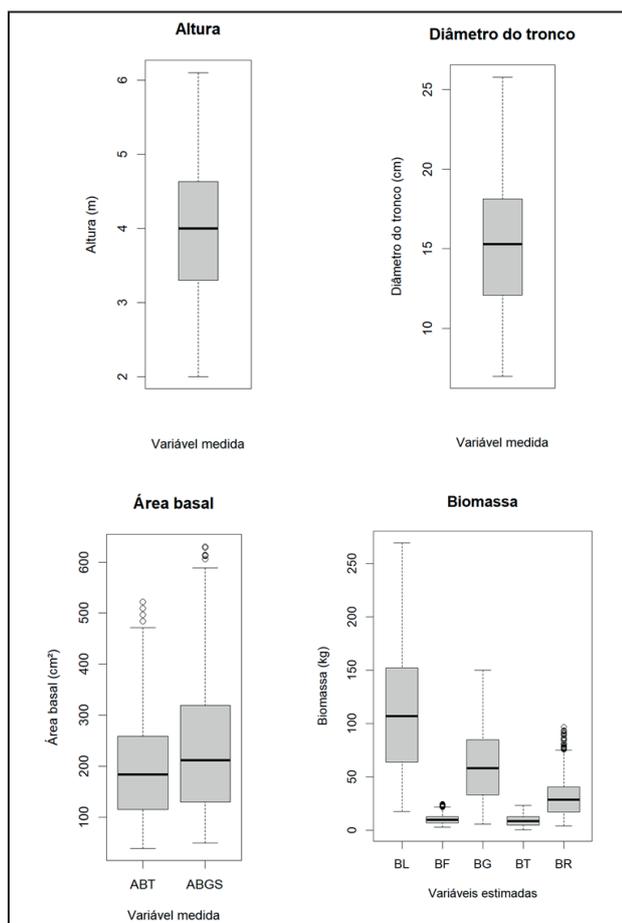
Para a estimativa da biomassa e do C das laranjeiras no cinturão citrícola, foram medidas as variáveis biométricas altura, diâmetro do tronco e área basal do tronco e dos galhos secundários de 1.321 laranjeiras distribuídas no cinturão citrícola (Figura 9). Esta amostra representa 162,013 milhões de laranjeiras que foram plantadas no momento de formação do talhão e têm idade igual ou superior a três anos – ou seja, desconsidera as replantas posteriores à formação do talhão –, e ocupam área de 337,091 mil hectares (Fundecitrus et al., 2023). A equação alométrica selecionada para estimar a biomassa das laranjeiras (Tabela 2) foi aplicada nesta amostra, e resultou nas informações sobre a biomassa (Figura 9).



**Figura 8.** *Boxplots* das variáveis independentes e dependentes analisadas para as 80 laranjeiras (*Citrus sinensis*) avaliadas. ABT é a área basal do tronco. ABGP é a área basal dos galhos primários. ABGS é a área basal dos galhos secundários. BL é a biomassa da laranja. BF é a biomassa foliar. BG é a biomassa dos galhos. BT é a biomassa do tronco. BR é a biomassa radicular. Os *boxplots* representam os valores mínimos, medianos e máximos do conjunto amostral.

Por fim, para estimar o estoque de C, foi multiplicado o conteúdo de C (%) do estrato (variedade e classe de idade) (Tabela 3) pela biomassa de cada laranja da amostra, concatenando-a com o inventário de laranjeiras do cinturão citrícola, que apresenta o número de laranjeiras por região, variedade e classe de idade (Fundecitrus et al., 2023).

Assim, para estimar o estoque de C, foi multiplicado o estoque da biomassa pelo conteúdo médio de C do estrato composto por “variedade e idade” para as variedades Pera Rio e Valência e o conteúdo médio da idade para as demais variedades, conforme a Tabela 3.



**Figura 9.** Boxplots das variáveis medidas e das variáveis estimadas das 1.321 laranjeiras (*Citrus sinensis*) representativas do cinturão citrícola. ABT é a área basal do tronco. ABGS é a área basal dos galhos secundários. BL é a biomassa da laranjeira. BF é a biomassa foliar. BG é a biomassa dos galhos. BT é a biomassa do tronco. BR é a biomassa radicular.

O cinturão citrícola apresentou estoque de C na biomassa viva acima e abaixo do solo de 8,44 milhões de toneladas, considerando 162,013 milhões de laranjeiras em 337,091 mil

hectares de pomares (Figura 10). A variedade Pera estocou aproximadamente 2,759 milhões de toneladas (32,68%); a variedade Valência, 2,931 milhões de toneladas (34,72%); e as demais variedades de laranjeiras responderam por 2,751 milhões de toneladas (32,59%). As laranjeiras com mais de dez anos estocaram cerca de 6,429 milhões de toneladas, 76,17% do C total estocado no cinturão citrícola. Por laranjeira, o estoque médio de C foi de 52,097 kg, e os galhos representaram 55,36% do estoque de C, as raízes, 27,87%, as folhas, 8,57% e o tronco, 8,2%. Ao se considerar um pomar com 480 laranjeiras por hectare (Fundecitrus et al., 2023), densidade calculada sem considerar as replantas produtivas dos pomares, a média de estoque de C foi de 25,039 t/ha.

É importante lembrar que o valor de referência para o conteúdo de C na biomassa lenhosa sugerido pelo *Guia de Boas Práticas para Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas* do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003) é de 50%. Isso representa um valor três pontos percentuais maior que o valor mensurado em Nogueira Junior et al. (2023). Considerando os dados de conteúdo de C desse e de outros estudos sobre laranjeiras (Iglesias et al., 2013; Quiñones et al., 2013; López-Cortés et al., 2022; Vieira et al., 2023), observa-se que o valor de referência de 50% sugerido pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (2003) pode superestimar os estoques e o sequestro de C em pomares citrícolas. Portanto, tanto no inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa quanto nos inventários de propriedades citrícolas que não utilizam amostragem destrutiva, sugere-se a utilização de valores de conteúdo de C de Nogueira Junior et al. (2023), a fim de evitar a superestimação dos estoques de C na biomassa de laranjeiras.

**Tabela 2.** Variáveis dependentes, em quilograma (kg), modelos de equações alométricas e resultados ( $r^2$ ,  $r^2$  ajustado e P) de análises de regressão múltipla para estimativa de biomassa de laranjeiras (*Citrus sinensis*).

Variáveis dependentes (kg)	Modelos de equações alométricas	$r^2$	$r^2$ ajustado	P
Biomassa da laranjeira (BL)	$BL = - 82,454 + 36,801 AT - 0,265 ABT + 0,425 ABGS$	0,918	0,915	<0,001
Biomassa foliar (BF)	$BF = - 3,881 + 3,224 AT - 0,039 ABT + 0,038 ABGS$	0,740	0,730	<0,001
Biomassa dos galhos (BG)	$BG = - 45,328 + 15,892 AT + 0,184 ABGS$	0,951	0,950	<0,001
Biomassa do tronco (BT)	$BT = - 2,635 + 3,833 AT - 1,026 DT + 0,036 ABT + 0,021 ABGS$	0,850	0,842	<0,001
Biomassa radicular (BR)	$BR = - 50,438 + 11,471 AT + 4,698 DT - 0,389 ABT + 0,172 ABGS$	0,769	0,757	<0,001

AT é a altura total. DT é o diâmetro do tronco. ABT é a área basal do tronco. ABGS é a área basal dos galhos secundários.

**Tabela 3.** Conteúdo de carbono (%) por variedade e idade utilizada na estimativa do estoque de carbono da biomassa nos pomares de laranja.

Variedade	Idade (anos)	Conteúdo de carbono (%)
Pera Rio	3 a 5	46,97
Pera Rio	6 a 10	46,69
Pera Rio	11 a 15	47,22
Pera Rio	> 15	47,14
Valência	3 a 5	46,38
Valência	6 a 10	46,87
Valência	11 a 15	47,41
Valência	> 15	46,81
Demais variedades	3 a 5	46,66
Demais variedades	6 a 10	46,80
Demais variedades	11 a 15	47,32
Demais variedades	> 15	46,93

Fonte: Nogueira Junior et al. (2023).

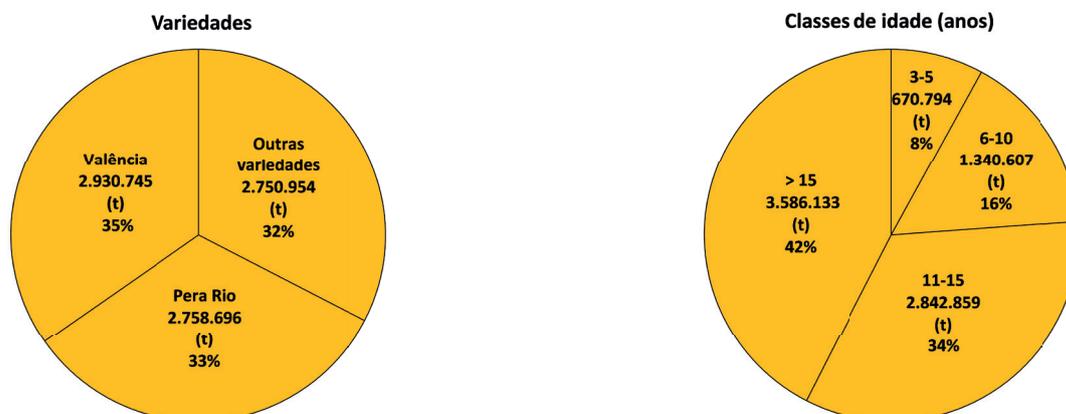
## Estimativa dos estoques de carbono das áreas destinadas à preservação ambiental

Neste terceiro passo, foram determinados os estoques de C, em toneladas por hectare, dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal que ocupam os 159.629 ha de áreas destinadas à preservação ambiental declaradas no Sicar (2023), utilizando fontes secundárias de informações, conforme descrito a seguir.

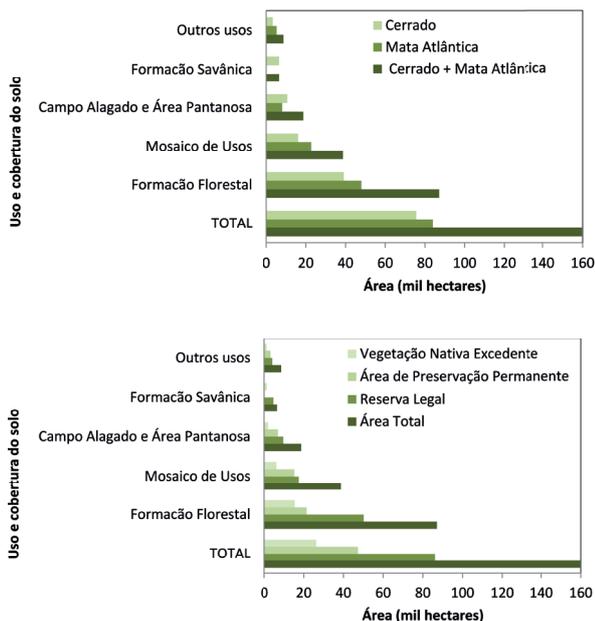
## Definição das classes de uso e cobertura do solo, e dos tipos de vegetação

Como as informações obtidas no Sicar (2023) sobre as áreas de reserva legal (RL), áreas de preservação permanente (APP) e áreas com vegetação nativa excedente (VNE) são declaratórias, foi necessário conhecer o uso e cobertura do solo dessas áreas de preservação. Para tanto, foi utilizado o mapa de uso e cobertura do solo da Coleção 7 disponibilizado pelo Projeto MapBiomass para o ano de 2021 (Projeto MapBiomass, 2023). Os resultados dessa análise foram agregados na Figura 11: 53% das áreas destinadas à preservação ambiental estão localizadas no domínio da Mata Atlântica e 47%, no Cerrado. As áreas de RL representam 54% das áreas destinadas à preservação ambiental, enquanto as APPs e as áreas de VNE representam 30% e 16%, respectivamente. Nessas áreas, a principal cobertura foi a formação florestal (55%), seguida por mosaico de usos (24%), campo alagado e área pantanosa (12%), formação savânica (4%), pastagem (3%) e demais usos (2%). Considerando-se apenas as áreas com vegetação natural (formação florestal, formação savânica, formação campestre, campo alagado e área pantanosa), foram mapeados 112.612 hectares, ou seja, 71% das áreas destinadas à preservação ambiental apresentam cobertura de vegetação natural.

Já os tipos de vegetação de formações florestais, formações savânicas, formações campestres, campos alagados e áreas pantanosas foram determinados por meio dos dados do mapa de vegetação brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), que traz informações sobre qual



**Figura 10.** Estoque de carbono (toneladas) de diferentes variedades (Valência, Pera Rio e outras) e classes de idade (3-5, 6-10, 11-15 e acima de 15 anos) das 162 milhões de laranjeiras com idade a partir de três anos no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais.



**Figura 11.** Área ocupada (hectares) pelas diferentes classes de uso e cobertura do solo das áreas destinadas à preservação ambiental nos biomas Mata Atlântica e Cerrado e nas diferentes categorias de áreas de preservação ambiental (reserva legal, áreas de preservação permanente e áreas de vegetação nativa excedente).

bioma e qual tipo de vegetação ocupa essas áreas de preservação dentro das propriedades citrícolas, se de Cerrado ou de Mata Atlântica, se Floresta (Estacional Semidecidual, Estacional Decidual, Ombrófila Densa, Ombrófila Aberta ou Ombrófila Mista), Savana (Florestada, Arborizada, Parque ou Gramíneo-Lenhosa) ou Formação Campestre.

### Definição dos valores de referência dos estoques de carbono dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo

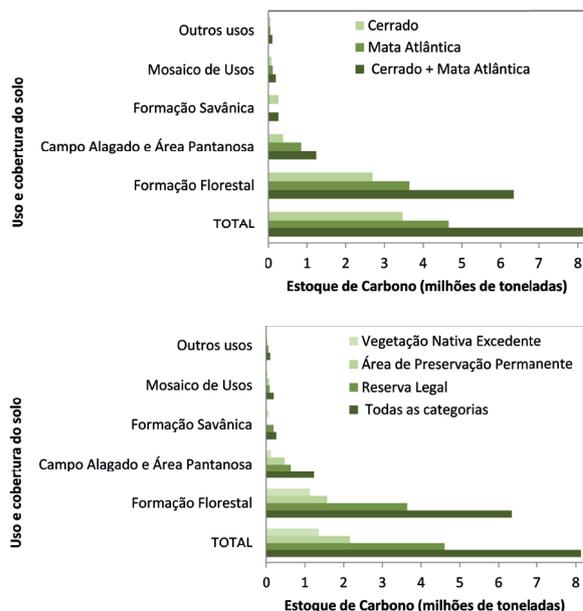
Depois de analisar os dados obtidos do mapa de vegetação brasileira do IBGE (2023) e do mapa de uso e cobertura do solo da Coleção 7 do Projeto MapBiomas (2023), foi selecionado o principal tipo de vegetação para cada classe de uso e cobertura do solo do Projeto MapBiomas (2023), e foram buscados, no Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2020), os valores de referência de estoque de C (toneladas por hectare) para os biomas Mata Atlântica e Cerrado (Tabela 4).

## Estimativas dos estoques de carbono

Para a biomassa das áreas destinadas à preservação ambiental, o estoque de C total foi estimado em 8.130.682 toneladas (Figura 12). Desse total de C estocado, 57% estão sob o domínio da Mata Atlântica e 43% sob o domínio do Cerrado. Com 86.081 hectares, as áreas de reserva legal estocaram 4.607.432 toneladas de C, 54% de todo o C estocado na biomassa das áreas destinadas à preservação ambiental. Outro destaque é o estoque de C nas áreas de vegetação nativa excedente, parcela de área que está fora da obrigatoriedade estipulada pelo Código Florestal (Brasil, 2012). Nessa área, foram estocadas, somente na biomassa, 1.357.994 toneladas de C. Cabe destacar que esse C é adicional e representa um grande ativo ambiental das propriedades citrícolas que o detêm.

## Estimativa dos estoques de carbono do solo na camada de 0–30 cm

Para estimar o estoque de C no solo das áreas dos pomares e das áreas de preservação, foi utilizado o mapa de C orgânico do solo na camada de 0–30 cm (Vasques et al., 2021). Segundo os dados obtidos (Figura 13), o cinturão citrícola estocou



**Figura 12.** Estoque de carbono (toneladas) na biomassa nas diferentes classes de uso e cobertura do solo das áreas destinadas à preservação ambiental nos biomas Mata Atlântica e Cerrado e nas diferentes categorias de áreas de preservação ambiental (reserva legal, áreas de preservação permanente e áreas de vegetação nativa excedente).

**Tabela 4.** Valores de referência de estoque de carbono (t/ha) para diferentes usos e coberturas do solo para os biomas Mata Atlântica e Cerrado.

Uso e cobertura do solo – Classificação IBGE (sigla)	C (t/ha)
<b>Mata Atlântica</b>	
Campo Alagado e Área Pantanosa – Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre (Pa)	105,38
Formação Florestal – Floresta Estacional Semidecidual aluvial (Fa)	75,89
Formação Savânica – Savana Florestada (Sd)	52,42
Silvicultura – Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (exemplo: pinus, eucalipto, araucária) (R)	44,20
Café – Áreas cultivadas com a cultura do café (AMp – c)	21,00
Outras lavouras perenes – Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (AMp)	21,00
Formação Campestre – Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	18,49
Pastagem – Áreas de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária (AP, PE, OS)	7,57
Cana – Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar (AMc – c)	5,00
Mosaico de usos – Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura (AP, PE, PS, ATp, ATc, ATpc)	5,00
Soja – Áreas cultivadas com a cultura da soja (AMc – s)	5,00
Outras lavouras temporárias – Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração (AMc)	5,00
<b>Cerrado</b>	
Formação Florestal – Savana Florestada (Sd)	68,99
Silvicultura – Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (exemplo: pinus, eucalipto, araucária) (R)	44,20
Formação Savânica – Savana Arborizada (SA)	39,92
Campo Alagado e Área Pantanosa – Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre (Pa)	36,24
Café – Áreas cultivadas com a cultura do café (AMp – c)	21,00
Outras lavouras perenes – Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (AMp)	21,00
Formação Campestre – Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	18,49
Pastagem – Áreas de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária (AP, PE, OS)	7,57
Cana – Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar (AMc – c)	5,00
Mosaico de usos – Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura (AP, PE, PS, ATp, ATc, ATpc)	5,00
Soja – Áreas cultivadas com a cultura da soja (AMc – s)	5,00
Outras lavouras temporárias – Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração (AMc)	5,00

Fonte: Brasil (2020).

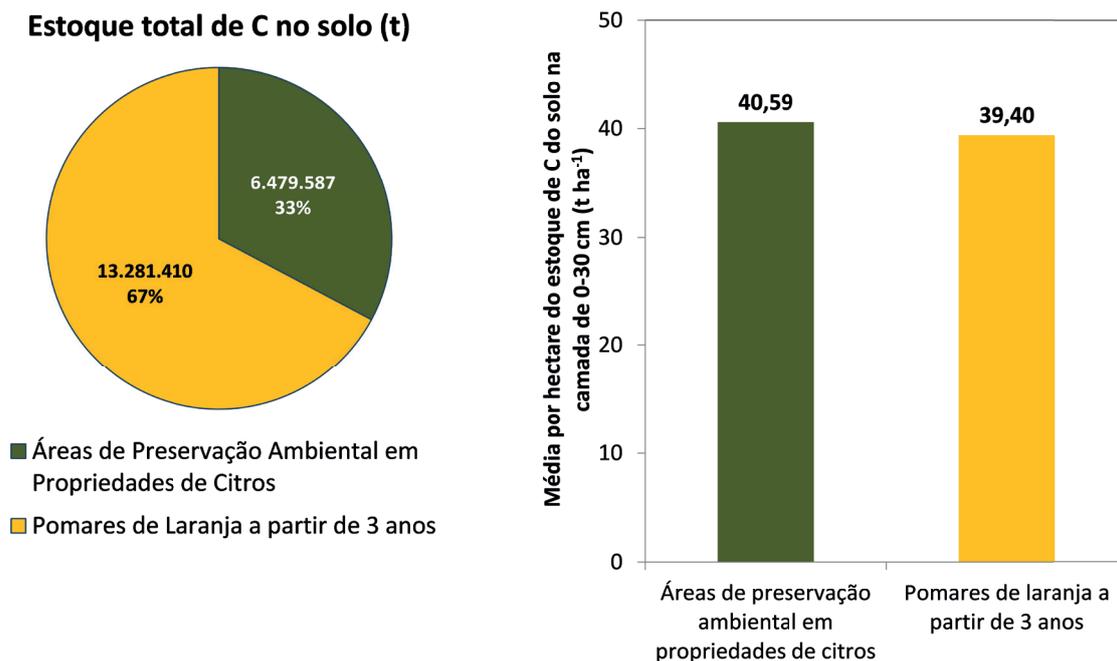
19,761 milhões de toneladas de C, 13,28 milhões (67%) nas áreas dos pomares e 6,48 milhões (33%) nas áreas destinadas à preservação ambiental.

Como era esperado, em termos de média de estoque de C por hectare (Figura 13), as áreas de preservação ambiental apresentaram maior estoque. Porém, a diferença é pequena, em média 1,19 tonelada de C por hectare a mais nas áreas de preservação ambiental.

Como esses dados foram obtidos de fonte secundária e podem estar superestimados ou

subestimados, adicionalmente, para efeito de comparação/discussão dos dados obtidos, foi feita uma amostragem do solo em áreas de pomares e de preservação ambiental (floresta) de cinco propriedades citrícolas distribuídas cada uma em uma região (norte, noroeste, centro, sul e sudoeste) do cinturão citrícola (Figura 14).

Nessa amostragem do solo, foram coletadas amostras em três pontos nos pomares e áreas de preservação em cada propriedade (Figura 14). Para determinar a densidade do solo (g/dm), em cada



**Figura 13.** Estimativa do estoque de carbono (C) do solo (toneladas) na camada de 0-30 cm de pomares de laranja com idade a partir de três anos e das áreas destinadas à preservação ambiental.

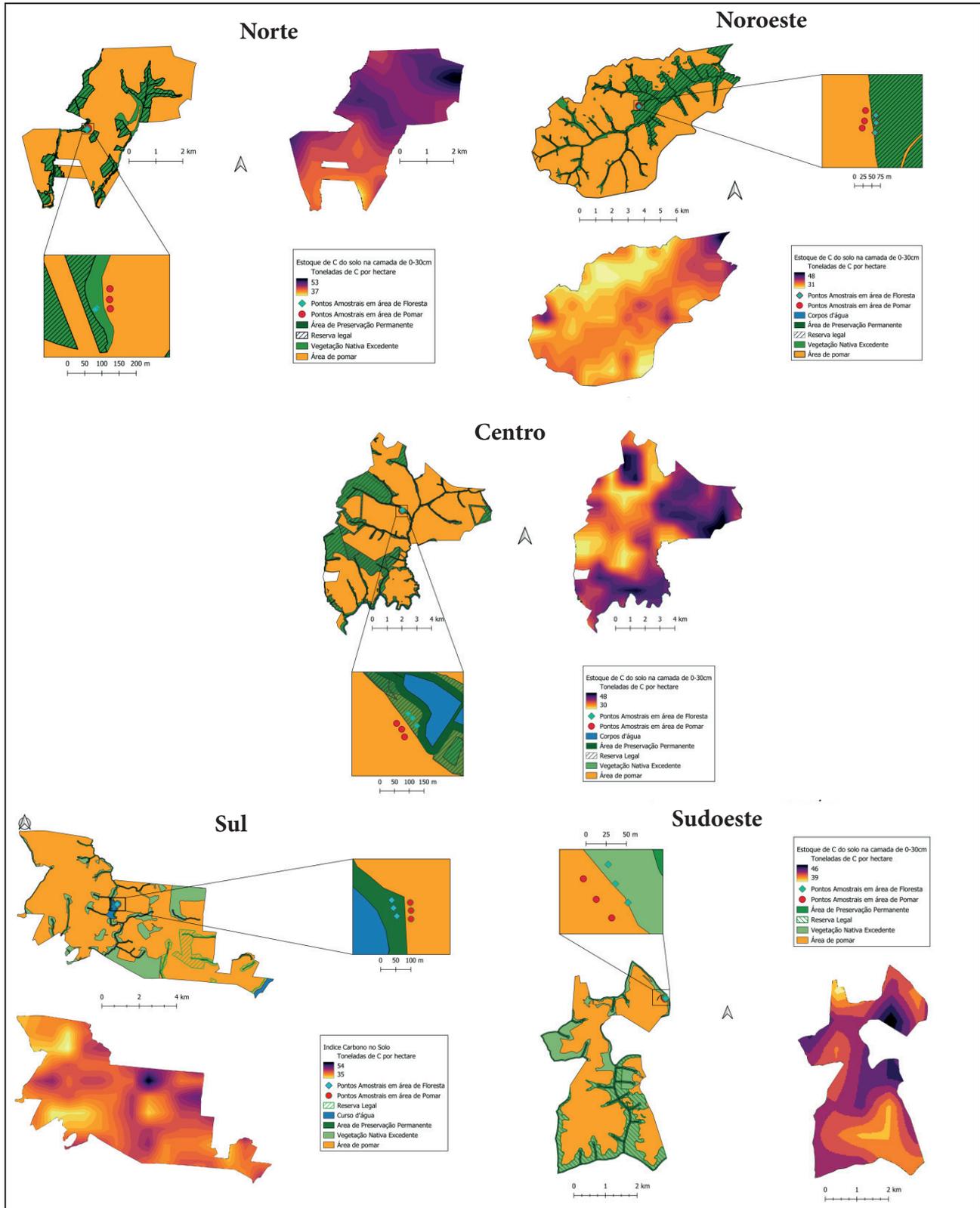
ponto foram coletadas três amostras indeformadas em anéis volumétricos nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–30 cm de profundidade. Já para determinar o conteúdo de carbono (g/kg), em cada ponto foram coletadas 12 amostras simples, para compor uma amostra nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–30 cm de profundidade. Para a análise de C, cada amostra foi analisada pelo método de combustão a seco em analisador elementar de C da marca LECO, modelo C-144. Para calcular o estoque de C do solo dessas áreas (pomares e áreas de preservação), o volume de solo (m<sup>3</sup>) de 1 ha da camada de 0–30 cm foi multiplicado pela média da densidade do solo e pela média do conteúdo de C das amostras das camadas de 0–10, 10–20 e 20–30 cm de profundidade, para a obtenção de valores em toneladas por hectare (t/ha).

Os resultados de estoque de C do solo na camada de 0–30 cm confirmam que as áreas de preservação ambiental (florestas) apresentam média (40,1 t/ha de C) maior que das áreas de pomares (32,27 t/ha de C) (Figura 15). A média de estoque de C das áreas de preservação ambiental (Figura 15) foi muito próxima da média de estoque de C estimada usando os dados secundários (Figura 13). Já a média avaliada de estoque de C das áreas de pomares (Figura 15) foi 18% inferior à média de estoque de C estimada usando os dados secundários (Figura 13). Assim, considera-se que as

estimativas de estoque de C do solo das áreas dos pomares servem como referência, porém devem ser usadas com cautela.

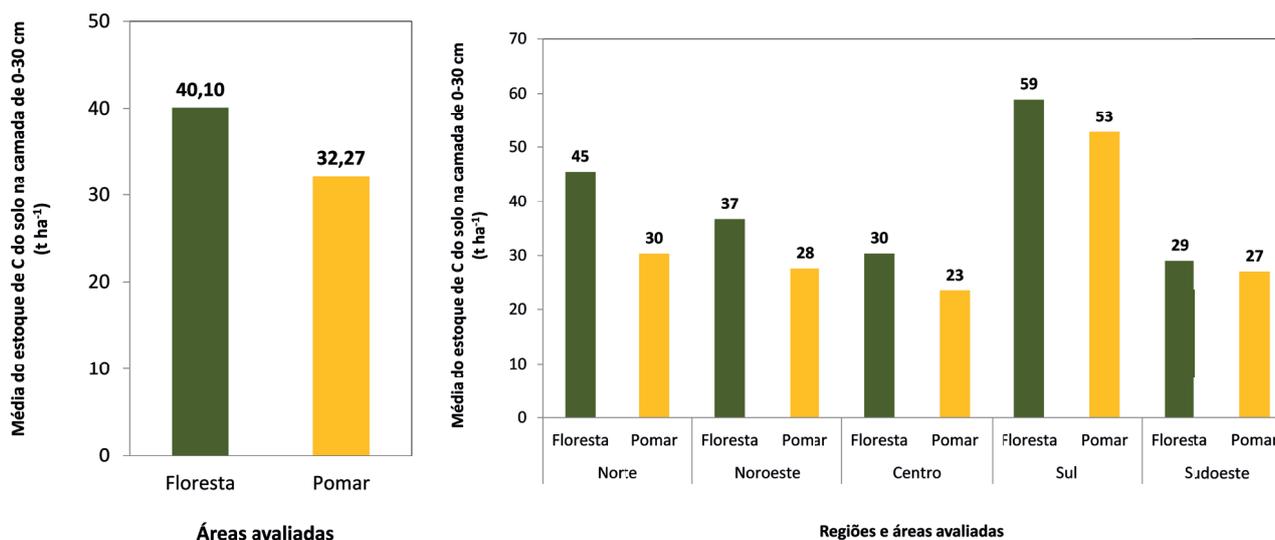
## Considerações finais

Os resultados apresentados podem servir como *baseline* para o setor citrícola, especialmente quanto ao C da biomassa viva das laranjeiras dessa grande região citrícola. Também podem ser usados pelos elos da cadeia produtiva envolvidos, visando a agregação de valor aos produtos derivados da citricultura e indo ao encontro dos princípios *Environmental, Social and Governance* (ESG) e de compromissos ambientais que muitas empresas adotam. Em termos governamentais e de políticas públicas, seja de caráter federal, estadual ou municipal, os resultados podem apoiar uma melhor estimativa de emissões, de redução de emissões e de remoção de gases de efeito estufa (GEE) da atmosfera e, com isso, favorecer o estabelecimento de metas e a negociação de acordos setoriais, municipais, estaduais, nacionais e internacionais, entre outros. Em termos técnicos e científicos, os resultados podem favorecer as análises de ciclo de



**Figura 14.** Mapas de cinco propriedades citrícolas distribuídas cada uma em uma das grandes regiões do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais, com a localização dos pontos amostrais de solo nas áreas destinadas à preservação ambiental (floresta) e nas áreas de pomares, e mapas com dados secundários da distribuição do estoque de carbono (C) do solo na camada de 0-30 cm (toneladas por hectare de C).

Fonte: Vasques et al. (2021).



**Figura 15.** Média dos estoques de C do solo na camada de 0-30 cm (t/ha) em áreas destinadas à preservação ambiental (floresta) e nos pomares de laranja com idade a partir de três anos em cinco propriedades citrícolas distribuídas nas grandes regiões do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Mineiro/Sudoeste de Minas Gerais.

vida e pegada do C na citricultura, o estabelecimento de iniciativas que visem à mitigação das mudanças climáticas – como o mercado de C e o pagamento por serviços ambientais –, bem como o manejo e a renovação dos pomares. Os estoques de C nos pomares e nas áreas destinadas à preservação ambiental desse importante cinturão citrícola evidenciam as contribuições dos produtores de laranja para a mitigação das mudanças climáticas globais.

## Referências

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Quarto inventário nacional de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. **Relatório de referência**: setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 6 mar. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm)

[planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm). Acesso em: 29 maio 2023.

DOWLE, M.; SRINIVASAN, A. **Data.table**: Extension of 'data.frame'. R package version 1.14.8, 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>. Acesso em: 29 maio 2023.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Agricultura e preservação ambiental**: uma análise do Cadastro Ambiental Rural. Campinas, 2020. Disponível em: [www.embrapa.br/car](http://www.embrapa.br/car). Acesso em: 12 nov. 2020.

FOREST TREND'S ECOSYSTEM MARKETPLACE. **State of the Voluntary Carbon Market 2024**. Washington, DC: Forest Trends Association, 2024.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Estatísticas Emissões Citrosuco**. Disponível em: <https://registropublicodeemissoes.fgv.br/estatistica/estatistica-participantes/1666>. Acesso em: 29 maio 2024.

FUNDECITRUS; MARKESTRAT; FEA-RP/USP; FCAV/UNESP. **Inventário de árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro**: retrato dos pomares em março de 2023. Araraquara: Fundecitrus, 2023. Disponível em: [https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes\\_relatorios/2023\\_06\\_05\\_Invent%C3%A1rio\\_e\\_Estimativa\\_do\\_Cinturao\\_Citricola\\_2023-2024.pdf](https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2023_06_05_Invent%C3%A1rio_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2023-2024.pdf). Acesso em: 19 mar. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Vegetação 1:250.000**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=downloads>. Acesso em: 6 mar. 2023.

- IGLESIAS, D. J.; QUIÑONES, A.; FONT, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; FORNER-GINER, M. Á.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E. Carbon balance of citrus plantations in Eastern Spain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 171, p. 103–111, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.015>.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Kamiyamaguchi: IGES, 2003.
- LÓPEZ-CORTÉS, I.; MARTÍ, B. V.; ESTORNELL, J.; RODRÍGUEZ, J. E. F.; MARTÍ-GAVILÁ, J.; HERNÁNDEZ, D. S. Quantification model of residual biomass in citrus uprooting. **Agronomy**, v. 12, p. 1-10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12071648>.
- NOGUEIRA JUNIOR, L.; RONQUIM, C.; TROMBIN, V.; REINA, R.; DELGADO, F.; PAIM, F. Conteúdo e estoque de carbono em *Citrus sinensis* (L. Osbeck) do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 8, n. 2, p. 36-42, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v8i2.93201>.
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 7 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. Disponível em: [https://code.earthengine.google.com/?accept\\_repo=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit&scriptPath=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit%3Amapbiomas-user-toolkit-lulc.js](https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit&scriptPath=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit%3Amapbiomas-user-toolkit-lulc.js). Acesso em: 6 mar. 2023.
- QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, M.; FONT, A.; FORNER-GINER, M. Á.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; IGLESIAS, D. J. Allometric models for estimating carbon fixation in citrus trees. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 5, p. 1355-1366, 2013.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 29 maio 2023.
- REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, D. R.; TRENTIN, B. E. Nucleação: concepção biocêntrica para a restauração ecológica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 509-519, 2014.
- SICAR. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. **Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: <https://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads>. Acesso em: 6 mar. 2023.
- THE WORLD BANK. **State and Trends of Carbon Pricing, 2022**. Washington, DC: World Bank, 2022. DOI: 10.1596/978-1-4648-1895-0.
- VASQUES, G. de M.; DART, R. de O.; BACA, J. F. M.; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA SANTOS, M. de L. **Mapa de estoque de carbono orgânico do solo do Brasil (90 m - Versão 2021)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/maps/3175>. Acesso em: 6 mar. 2023.
- VIEIRA, L. C.; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; RONQUIM, C. C.; PAIM, F. A. de P.; TROMBIN, V. G. Carbono (C), Nitrogênio (N) e relação C/N em raízes, tronco, galhos, folhas e frutos de laranjeiras (*Citrus sinensis* L. Osbeck) no estado de São Paulo. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2023, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Embrapa Territorial, 2023. 11 p. CIIC 2023.
- WICKHAM, H. **Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>. Acesso em: 29 maio 2023.
- WICKHAM, H. **Stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations**. R package 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=stringr>. Acesso em: 29 maio 2023.

