



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Estoque de Carbono e Uso da Terra em Áreas de Produção de Cacau no Sul da Bahia-Brasil

Paulo Sérgio Vila Nova Souza¹, Vinícius de Amorim Silva², Alessandro Coelho Marques³,
Alessandro de Paula⁴, Hercules da Silva Carvalho⁵

¹ Doutor em Biosistema na Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB, Centro de Formação em Ciências Agroflorestais (CFCaf), Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Ilhéus – BA, CEP 45604-811. (73)991337700. paulosvn@gfe.ufsb.edu.br. ² Professor Dr. Associado III, da UFSB, Centro de Formação em Tecnociências e Informação (CFTCI), Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Ilhéus – BA, CEP 45604-811. vinicius@ufsb.edu.br. ³ Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Secretaria de Educação do Estado da Bahia, CEMIT Litoral Sul, Pontal, Ilhéus, BA. acoelho@gmail.com. ⁴ Professor Dr. titular da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (DEAS). Estrada do Bem-Querer, Km 04. CEP 45083-900 - Vitória da Conquista, BA – Brasil. apaula@uesb.edu.br. ⁵ Mestrando em engenharia civil e ambiental na Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Centro de Formação em Tecnociências e Informação (CFTCI) Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Ilhéus – BA, CEP 45604-811. hercules.carvalho@cja.ufsb.edu.br

Artigo recebido em 17/02/2025 e aceito em 07/07/2025

RESUMO

As plantações de cacau em sistemas agroflorestais no Sul da Bahia contribuem com a biodiversidade e na manutenção dos estoques de carbono, além de outros serviços ecossistêmicos. Este trabalho tem como objetivo analisar o potencial do estoque de carbono em área de produção de cacau no Sul da Bahia, fundamentados no mapeamento da cobertura e uso da terra e em trabalhos científicos publicados em periódicos especializados. A área de estudo abrange aproximadamente 20 mil hectares tendo a sua cobertura e uso da terra mapeados com base em imagens do satélite Sentinel-2, trabalho de campo com sistema de navegação *Global Position System* (GPS) e ferramentas de geoprocessamento acoplados ao *software* QGIS. Foi realizada uma revisão bibliográfica para subsidiar as estimativas de carbono. Os resultados revelaram que apenas 12,7% da área é coberta por formações florestais, abaixo dos 20% estabelecidos pelo Código Florestal Brasileiro. Já as áreas de cacau sob o sistema cabruca representam 69,9% do território, evidenciando sua relevância na manutenção da paisagem florestal e na provisão de serviços ambientais. A estimativa média de estoque de carbono foi de 81,05 tC/ha, equivalente a 297,46 tCO₂e/ha. Esses valores indicam um potencial para o desenvolvimento de projetos de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+), alinhados à Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais. O estudo destaca a importância da conservação das cabucas e da adoção de instrumentos econômicos, como o mercado de carbono, para promover a sustentabilidade ambiental e financeira da atividade cacaueira, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Redução do efeito estufa, Serviços ambientais, Bioma Mata Atlântica, REDD+, Sustentabilidade

Carbon Stock and Land Use in Cocoa Production Areas in Southern Bahia-BRAZIL

ABSTRACT

Cocoa plantations in agroforestry systems in southern Bahia contribute to biodiversity and the maintenance of carbon stocks, in addition to other ecosystem services. This study aims to analyze the carbon stock potential in a cocoa production area in southern Bahia, based on land cover and land use mapping and scientific papers published in specialized journals. The study area covers approximately 20,000 hectares, with its land cover and land use mapped using Sentinel-2 satellite imagery, fieldwork with the *Global Positioning System* (GPS) navigation system, and geoprocessing tools coupled with QGIS software. A literature review was conducted to support the carbon estimates. The results revealed that only 12.7% of the area is covered by forest formations, below the 20% established by the Brazilian Forest Code. Cocoa areas under the cabruca system represent 69.9% of the territory, highlighting their importance in maintaining the forest landscape and providing environmental services. The average carbon stock estimate was 81.05 tC/ha, equivalent to 297.46 tCO₂e/ha. These values indicate potential for the development of Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+) projects, aligned with the National Policy on Payments for Environmental Services. The study highlights the importance of conserving cabucas and adopting economic instruments, such as the carbon market, to promote the environmental and financial sustainability of cocoa production, contributing to climate change mitigation.

Keywords: Greenhouse effect reduction, Environmental services, Atlantic Forest Biome, REDD+, sustainability.

Introdução

A região Sul da Bahia apresenta uma paisagem florestada, composta por um mosaico de cobertura e uso da terra que integra áreas de florestas nativas da Mata Atlântica por meio de uma matriz produtiva permeável baseada na produção de cacau (Reuss-Strenzel & Faria, 2023). Essa matriz é, em grande parte, composta por um sistema conhecido como cabruca, onde as árvores do cacau são plantadas no sub-bosque da Mata Atlântica, cercado por vegetação nativa (Heming et al., 2022). Funciona como corredor de biodiversidade, possibilitando o deslocamento da fauna, o fluxo gênico entre espécies e a dispersão de sementes (Reuss-Strenzel & Faria, 2023).

Matéria prima do chocolate, produto consumido no mundo todo, a produção do cacau, apesar das diversas crises, ainda se configura como uma das principais atividades econômicas da região Sul da Bahia (Machado, 2025). Ela é substancial para a economia de muitos municípios, colaborando com a manutenção de grande contingente de população na zona rural e contribuindo com a manutenção de uma paisagem florestal e dos serviços ecossistêmicos associados (Araújo et al., 2025; Aguiar & Pires, 2019). As áreas de cabruca contribuem com aproximadamente 59% dos estoques totais de carbono na vegetação arbórea da região cacaueira da Bahia (Faria et al., 2025).

Apesar da importância do sistema agroflorestal (SAF) cacau/cabruca, essas áreas encontram-se sob forte pressão antropogênica (Xavier et al., 2021). Em função da grande variação preços do cacau no mercado internacional e de doenças como a vassoura-de-bruxa (*Crinipellis perniciosa*), fazendeiros da região buscam alternativas de manejo que viabilizem maior retorno econômico (Sousa et al., 2023). Com isso, ameaçam a manutenção de todo o conjunto de serviços ambientais prestados (Fernandes et al., 2021).

Uma estratégia para conter o processo de degradação ambiental é por meio da aplicação de instrumentos econômicos (Carneiro & Sousa, 2020). Eles promovem o entendimento do valor econômico dos recursos naturais e proporcionam motivação econômica para a conservação do meio ambiente (Suleymanov et al., 2023).

No Brasil, a Lei nº 14.119/2021, que estabelece condições para a implementação da Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (PNPSA), institui o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços

Ambientais (PFPSA) (Brasil, 2021). O Art. 7º dessa Lei diz que o PFPSA promove, dentre outras ações, o manejo sustentável de SAF que contribuam para captura e retenção de carbono e conservação do solo, da água e da biodiversidade. As formas de pagamento pelos serviços ambientais são definidas no Art. 3º, sendo elas: direto (monetário ou não); prestação de melhorias sociais a comunidades rurais e urbanas; compensação vinculada a certificado de redução de emissões por desmatamento e degradação; comodato; títulos verdes (*green bonds*) e Cota de Reserva Ambiental.

Outro avanço na legislação brasileira, buscando a regulamentação do mercado de carbono no Brasil, foi a publicação da Lei 15.042 em 11 de dezembro de 2024. Esta Lei cria o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Ela define algumas ações em imóveis rurais que podem gerar crédito de carbono, dentre elas: recomposição, manutenção e conservação de áreas de preservação permanente (APPs), de reserva legal (RL) e unidades de conservação (UCs). Áreas de terras indígenas, quilombos e outras áreas ocupadas por povos e comunidades tradicionais, bem como projetos de assentamentos de reforma agrária, também são aptos ao desenvolvimento de projetos e programas de geração de crédito de carbono (Brasil, 2024).

Agregar valor ambiental às áreas de Cabruca é uma estratégia para conter sua conversão em outras formas de manejo ou usos (Portella et al., 2024). Desta forma, é possível incrementar a receita dos agricultores por meio do pagamento dos serviços ambientais por elas ofertadas, aumentando com isso o interesse de conservação dessas áreas (Dominicis et al., 2023).

Nesse contexto, de manutenção da paisagem florestada do Sul da Bahia, conservando as cabruca, projetos de Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes do Desmatamento e da Degradação Florestal, Conservação dos Estoques de Carbono Florestal, Manejo Sustentável de Florestas e Aumento de Estoques de Carbono Florestal (REDD+), são fundamentais, pois podem promover uma gestão sustentável das cabruca, florestas, redução do desmatamento, degradação florestal, conservação e o aumento do estoque de carbono (Hajjar et al., 2021; Morita & Matsumoto, 2023a).

Desenvolvido na Conferência das Partes (COP) 13, o REDD+ é um mecanismo que colabora com o desafio de mitigar as mudanças climáticas, gerando benefícios adicionais relacionados a conservação da biodiversidade,

redução da pobreza e adaptação as mudanças climáticas (Aryal et al., 2024). Embora considere outros benefícios, esses projetos têm como principal ativo, que justifica a monetização das florestas “em pé”, o carbono equivalente (CO₂e) estocado e/ou sequestrado da atmosfera (Morita & Matsumoto, 2023b).

Embora represente uma oportunidade tanto para a geração de renda aos agricultores rurais quanto para a conservação dos ativos ambientais, não são desenvolvidos projetos de REDD+ na região. Dessa forma, visando verificar a existência de condições mínimas para a implantação de um projeto de crédito de carbono local, este trabalho tem como objetivo analisar o potencial do estoque de carbono em áreas da produção de cacau no Sul da Bahia, com base no mapeamento da cobertura e

uso do terra e na revisão de estudos científicos publicados em periódicos especializados.

Material e Métodos

Localização da área de estudo

A área estudada compreende aproximadamente 20.000 ha, inseridos na bacia hidrográfica do rio Almada, compreendendo parte dos municípios de Ilhéus, Uruçuca e Itajuípe no Sul da Bahia, Brasil. Localiza-se entre as coordenadas 14°30'23.8857" e 14°38'9.4734" de latitude Sul, 39°17'59.4739" e 39°25'28.2458" de longitude Oeste. É cortada pelas rodovias BR-101 e BA-262, no território de identidade Litoral Sul da Bahia (Figura 1).

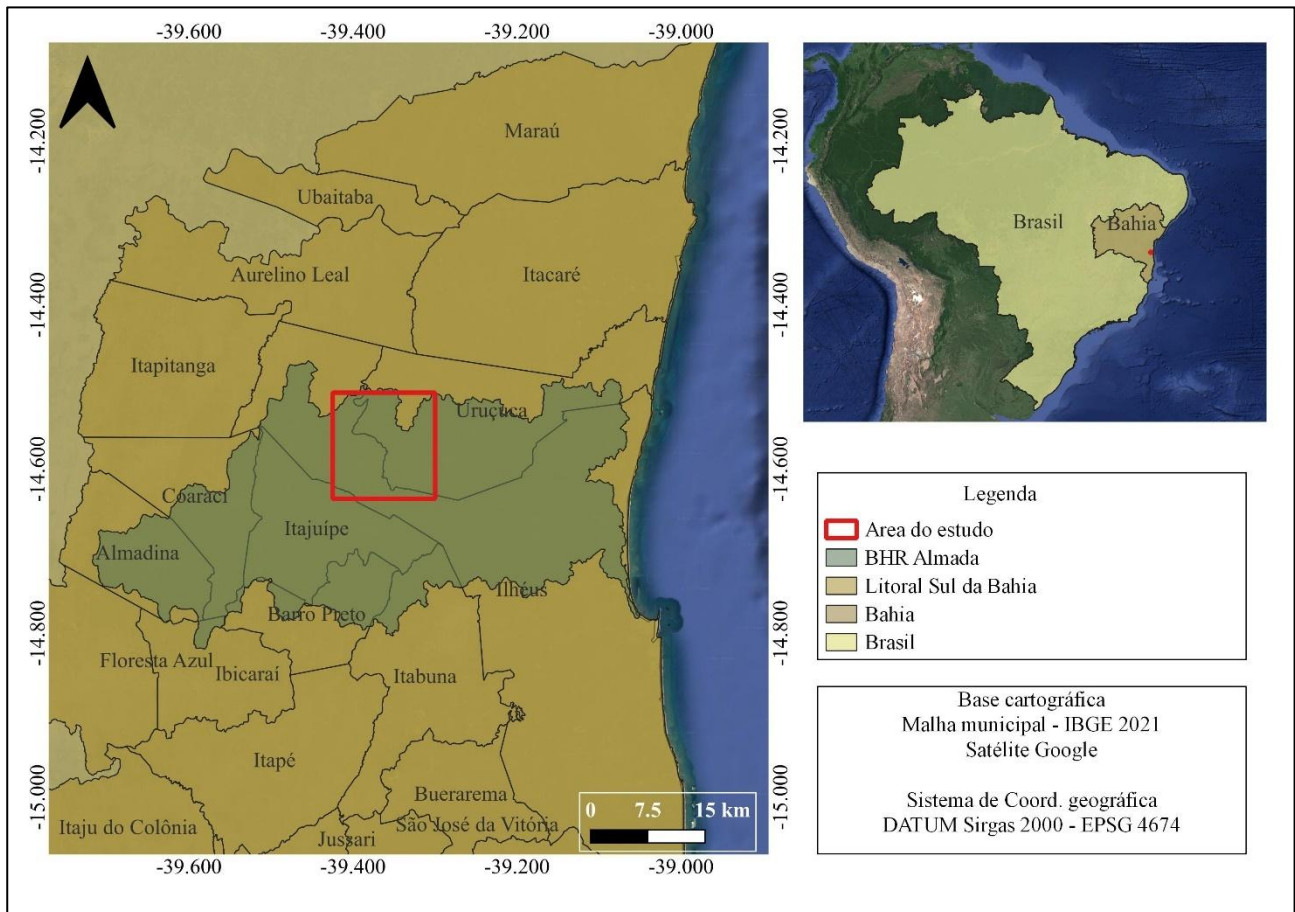


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Elaboração: os autores.

A metodologia do trabalho está dividida em duas etapas: o mapeamento de cobertura e uso da terra e a estimativa do volume de carbono na região estudada. Para o levantamento da cobertura e uso da terra os passos foram os seguintes: organização da base de dados; pré-processamento da imagem de satélite; levantamento de campo; classificação da cobertura e uso da terra, e;

confeção de mapas e tabelas. No trabalho de definição da estimativa do volume de carbono a sequência foi a seguinte: levantamento bibliográfico; processamento dos dados; leitura dos resumos; leitura dos artigos selecionados, e; elaboração de tabelas (Figura 2).

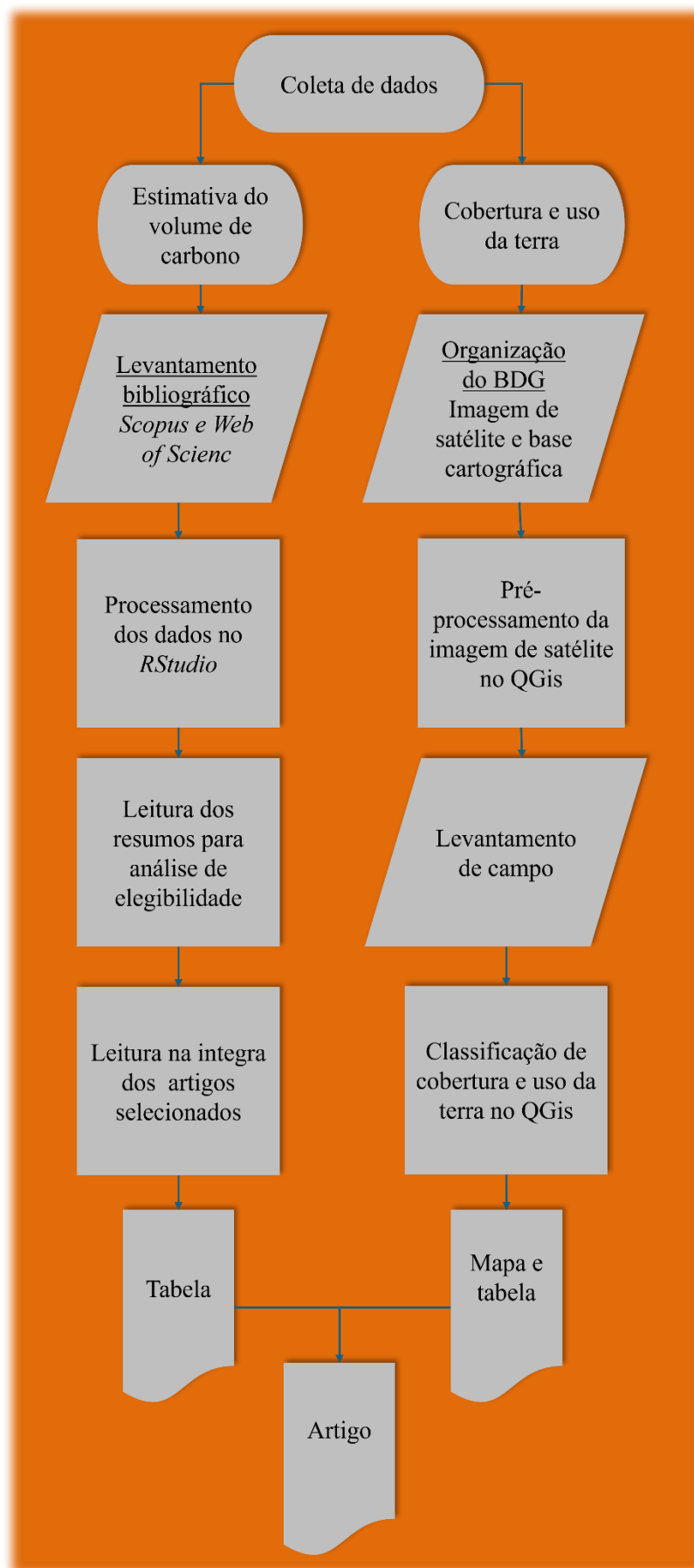


Figura 2 - Fluxograma metodológico. Elaboração: os autores.

Aquisição e Organização do Banco de Dados Geográficos

A primeira etapa do mapeamento consiste na aquisição e organização do Banco de Dados Geográficos (BDG) da área de estudo. Utiliza-se as imagens do satélite Sentinel 2A (125311_N0209_R052_T24LVJ_20200917T144245) do catálogo de imagens do *Copernicus Data Space Ecosystem Browser*, disponível em [Copernicus Browser](#).

Na segunda etapa, o mapeamento detalhado da cobertura e uso terra baseia-se nas imagens de alta resolução do satélite Sentinel 2

(sensor MSI – 12 bandas espectrais). São usadas as bandas espectrais direcionadas a mapeamentos agrícolas e florestais (Quadro 1), com resolução espacial de 10 m, obtidas nas datas de 06/03/2021 e 17/09/2020. A opção pelo uso das imagens Sentinel 2 dá-se pela disponibilidade, gratuidade dos produtos e alta capacidade de revisita do instrumento (cinco dias) (Bartold et al., 2024). Essa frequência amplia substancialmente a possibilidade de encontrar imagens mais recentes e com baixa cobertura de nuvens, visto que no Sul da Bahia, por característica de umidade e clima, raros são os dias livres de alta nebulosidade.

Quadro 1 - Características do sensor MSI nas bandas para mapeamentos agrícolas e florestais.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Combinação de bandas
MSI Multispectral Imager	B02 Azul	490 nm	10 m para ortoimagens	5 dias (nadir)	12 bits	Cor Verdadeira RGB 04/03/02; Falsa cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03 Verde	560 nm				
	B04 Vermelho	665 nm				
	B08 Infravermelho próximo	842 nm				

Fonte: *Copernicus* (2021). Organização: os autores (2025).

Aplica-se o realce linear de brilho e contraste nas imagens com fins de ampliar a visualização dos alvos. Na sequência as imagens foram recortadas no polígono retangular da área indicada e, finalmente, incorporadas as imagens ao BDG para a realização do mapeamento da cobertura e uso da terra.

Mapeamento da cobertura e uso da terra

Para o levantamento da cobertura e uso da terra utiliza-se as informações da campanha de

campo realizada nos dias 17 e 18/11/22. É utilizada a metodologia de navegação e registros de coordenadas geográficas de feições sobre imagens de satélites. Percorreu-se a área em veículo equipado com GPS, *notebook* e *software* de navegação contendo o BD, permitindo a associação direta em campo entre as feições de cobertura e uso da terra e as respostas espectrais das imagens.

Em cada local de observação registra-se pontos com coordenadas UTM e indica-se a classe de cobertura e uso da terra pré-estabelecida (Quadro 2).

Quadro 2 - Código e classes de cobertura e uso da terra observados na área de estudo.

Código	Classe	Código	Classe
1	Vegetação florestal média ou avançada	23	Seringal
11	Vegetação florestal inicial	24	Agricultura perene
12	Comunidade aluvial herbácea	3	Pasto limpo
13	Corpo d'água	31	Pasto sujo
2	Cacau/Cabruca tradicional	4	Sistema viário
21	Cacau/Cabruca raleada	41	Área degradada
22	Cacau sem sombreamento	42	Área urbana

Fonte: Os autores, 2025.

No levantamento de campo, foi registrado um conjunto de 287 pontos que serviram para calibrar o mapeamento e validar os resultados. Esse trabalho serviu de base para a elaboração da

biblioteca de padrões de respostas dos alvos nas imagens e da definição da legenda adequada aos usos observados (Figura 3).

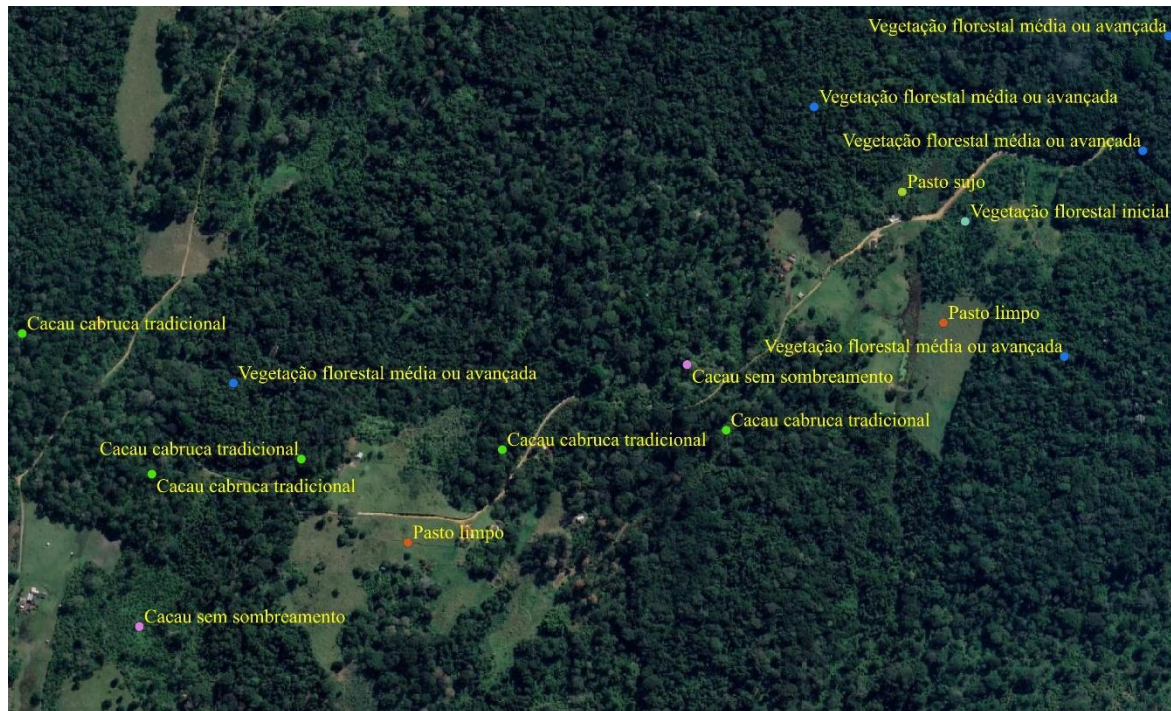


Figura 3 - Trabalho de campo para reconhecimento das fitofisionomias local e coleta de dados pelo método de navegação e registro de coordenadas. Imagem do *Google Earth Pro*.

Elaboração do mapa de cobertura e uso da terra

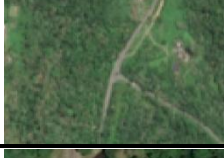
A legenda do mapeamento foi definida com base nas informações coletadas em campo, na análise das imagens de satélite, no Manual de Classificação da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012) e no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013).

Usando o programa QGIS, procede-se a interpretação das imagens em composição colorida por meio classificação supervisionada, com as

escalas entre 1:10.000 e 1:25.000. Os polígonos foram delimitados na etapa de foto-leitura usando as ferramentas de edição e com base nos elementos de reconhecimento: cor, tonalidade, forma e textura. Na sequência os polígonos são analisados (foto-análise) e classificados (interpretação) conforme as 14 classes definidas. Para melhor aferição das classes e refinamento de desenhos dos polígonos segmentados, utiliza-se as imagens *Google Earth Pro* (Quadro 3).

Quadro 3 - Biblioteca de padrões dos alvos de interesse nas imagens de satélite – subsídio à fase de interpretação visual.

Classes	Imagens	Classes	Imagens
Vegetação florestal média ou avançada		Seringal	
Vegetação florestal inicial		Agricultura Permanente	

Classes	Imagens	Classes	Imagens
Comunidade aluvial herbácea		Pasto limpo	
Corpo d'água		Pasto sujo	
Cacau/Cabruca tradicional		Sistema viário	
Cacau/Cabruca raleada		Área degradada	
Cacau sem sombreamento		Área urbana	

Fonte: Adaptado do Manual Técnico de uso da Terra (IBGE, 2013). Imagens do *Google Earth Pro*. Os autores, 2025.

O processo de classificação se dá por meio da interpretação visual dos alvos e é baseada nos manuais técnicos da vegetação e uso da terra (IBGE, 2012, 2013). Na sequência, elabora-se o mapa final de cobertura e uso da terra em escala de 1:25.000, utilizando como cores aquelas recomendadas nos referidos manuais técnicos do IBGE.

Validação

A acurácia dos resultados da classificação é obtida por meio da análise do índice Kappa. Esse coeficiente representa a proporção de concordância entre duas classificações, além do acaso (Cohen, 1960). De acordo com Cohen (1960), esse coeficiente é resultado da equação:

$$k = \frac{k_1 - k_2}{1 - k_2}$$

Onde:

k_1 – Concordância global;

k_2 – Somatória das proporções de concordância esperada pelo acaso, de cada classe.

A matriz de confusão, necessárias nesse processo, é gerada por meio do *plugin* AcATaMa do QGIS. Nela, as linhas representam os resultados da

classificação pelas técnicas de sensoriamento remoto e as colunas representam a verdade de campo (Moura et al., 2024). Foram analisados 634 pontos distribuídos aleatoriamente e proporcionalmente ao tamanho de cada classe. Esses pontos foram classificados nas mesmas classes do mapeamento, de acordo com os dados coletados no levantamento de campo.

Volume de carbono estocado

Os valores de referência para a estimativa de Carbono acima do solo na região Sul da Bahia estão fundamentados nos artigos identificados no processo de revisão bibliográfica. Estes artigos foram selecionados com base em uma revisão de literatura, coletados nos indexadores *Scopus* e *Web of Science*, acessados por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)/Ministério da Educação (MEC), aplicando os descritores *carbon* e *southern Bahia*.

Foram levantados 60 documentos, 20 da *Scopus* e 40 da *Web of Science*. Os dados foram processados no *RStudio*, que juntou as bases excluindo os artigos duplicados, formando uma relação de 46 artigos. Foi realizada uma análise de elegibilidade destes documentos a partir da leitura dos seus resumos, sendo considerados aqueles

relacionados a pesquisa sobre biomassa e estoque de carbono acima do solo no Sul da Bahia.

Resultados e discussão

Determinação das classes de cobertura e uso da terra

Os resultados cartográficos do mapeamento são apresentados considerando a área de estudo, em escala de 1:25.000. Os quantitativos estão exibidos na Tabela 1, discriminada em valores absolutos da cobertura e classes de uso da terra.

Tabela 1 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra, em 2021.

Classe	Qtd Polígonos	Área (ha)	Área (%)
Vegetação Florestal Estágio Médio ou Avançado	35,00	1.870,50	9,7
Vegetação Florestal Estágio Inicial	55,00	576,01	3,0
Comunidade aluvial herbácea	5,00	20,05	0,1
Corpos D'água	10,00	31,36	0,2
Cacau Cabruca Tradicional	29,00	11.255,80	58,5
Cacau Cabruca Raleada	44,00	2.187,80	11,4
Cacau sem Sombreamento	6,00	24,82	0,1
Seringal	2,00	158,14	0,8
Agricultura Perene	3,00	10,39	0,1
Pasto limpo	94,00	2.184,07	11,4
Pasto Sujo	88,00	865,50	4,5
Sistema viário	1,00	39,50	0,2
Área degradada	4,00	12,04	0,1
TOTAL	376,00	19.235,99	100,00

Fonte: os autores, 2025.

Para a acurácia desses resultados, foram coletados 287 pontos em campo, retratando a verdade de campo, e gerados 634 pontos aleatórios. Esse conjunto de pontos é confrontado com os

resultados do mapeamento de cobertura, gerando uma matriz de confusão. Nessa matriz são apresentadas as relações entre os pontos aleatórios e de campo com a classificação gerada (Quadro 4).

Quadro 4 - Matriz de confusão para a classificação de cobertura e uso da terra.

Classes		Verdade de campo													Total
		1	2	3	4	11	12	13	21	22	23	24	31	41	
Classificação	1 - Vegetação Florestal Estágio Médio ou Avançado	28	8	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	39
	2 - Cacau Cabruca Tradicional	1	207	1	0	0	0	1	21	0	1	0	2	0	234
	3 - Pasto limpo	0	0	38	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	45
	4 - Sistema viário	0	3	0	24	1	1	0	0	0	0	0	0	1	30
	11 - Vegetação Florestal Estágio Inicial	0	2	1	0	24	0	0	0	0	0	0	3	0	30
	12 - Comunidade aluvial herbácea	0	0	4	0	0	25	0	1	0	0	0	0	0	30
	13 - Corpos D'água	0	0	5	0	1	6	18	0	0	0	0	0	0	30
	21 - Cacau Cabruca Raleada	0	3	1	0	0	0	0	40	2	0	0	0	0	46
	22 - Cacau sem Sombreamento	1	0	0	0	0	0	0	7	22	0	0	0	0	30
	23 - Seringal	0	8	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	30
	24 - Agricultura Perene	0	0	3	0	0	0	0	0	0	13	14	0	0	30
	31 - Pasto Sujo	0	2	0	0	1	0	0	9	2	0	0	16	0	30
	41 - Área degradada	0	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	24	30
Total		30	236	53	26	31	32	19	85	26	36	14	21	25	634

Fonte: os autores, 2025.

A acurácia da classificação apresenta uma exatidão global de 79,18%, onde 502 dos 634 pontos amostrais foram classificados corretamente, alcançando um coeficiente Kappa de 74,69%. Segundo a escala de valores do índice Kappa,

resultados com índice de concordância de 61% até 80% são considerados substanciais ou consideráveis (Quadro 5) (Moura et al., 2024; Landis & Koch, 1977).

Quadro 5 - Escala de valores do índice Kappa.

Índice Kappa	Concordância
<0	Péssima/Pobre
0,00 – 0,20	Ruim/Pouca
0,21 – 0,40	Razoável/Justa
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerável/Substancial
0,81 – 1,00	Excelente/Quase perfeito

Fonte: Adaptado de Moura et al. (2024); Landis & Koch (1977)

Na área analisada mapeou-se 19.236 ha. Destes, as florestas no estágio médio e avançado ocupam 1.870,50 ha, apenas 9,7% do total. Essa região apresenta áreas ocupadas pela Floresta Ombrófila Densa (Coelho et al., 2024; Pinto et al., 2019; Thomas et al., 2009). Essa classe se

caracteriza por áreas onde a vegetação permanece conservada, com poucas alterações causadas por ações humanas, ou em estágio médio/avançado de regeneração, mantendo sua estrutura e composição florística (Bressane et al., 2023) (Figura 4).



Figura 4 - Floresta ombrófila densa em estágio médio de regeneração, na área de estudo.

As florestas em estágio inicial de regeneração, são aquelas caracterizadas por apresentarem estrutura diamétrica com diâmetro na altura do peito (DAP) < 10 cm, após processo de

desmatamento ou queimada, não possuem sub-bosque e tem uma estrutura florestal inferior a cinco metros de altura. Essas correspondem a apenas 3% da área estudada (Figura 5).



Figura 5 - Vegetação Florestal inicial (capoeira) em processo de regeneração florestal.

Ao todo são apenas 12,7% de formação florestal, 7,3% a menos do que é exigido pelo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012). De acordo com essa lei, que determina porcentagens mínimas de áreas que devem ser conservadas como RL em propriedades rurais, na Mata Atlântica, esse percentual é de 20% da extensão total do imóvel rural, sem levar em consideração suas dimensões. A RL representa uma área que tem como finalidade a proteção da flora nativa, essencial para a manutenção da biodiversidade, a conservação dos recursos hídricos e o equilíbrio ecológico (Sampaio et al., 2025).

Além da RL, o Código Florestal também determina que as APPs, margens dos rios, encostas e topos de morros, precisam ser conservadas com vegetação nativa. Portanto existe um *déficit* de florestas nativas na área de estudo.

Entretanto, as áreas de cacau cabruca tradicional, que são destinadas ao cultivo de cacau (*Theobroma cacao* L.), cobrem 58,5% da área, ocupando 11.255,80 ha. Nelas, as árvores nativas de grande porte (DAP > 30 cm) da Mata Atlântica, e em alguns casos espécies exóticas, são mantidas para fornecer sombra à lavoura, mantendo uma densidade média de 197 árvores por hectare (Heming et al., 2022; Schroth et al., 2011), (Figura 6).



Figura 6 - Área de cacau tradicional conservando árvores nativas para o sombreamento.

As áreas de cabruças raleadas, ou intensificadas, são plantios de cacau com sombreamento reduzido. Nesse tipo de lavoura, a quantidade de árvores nativas da Mata Atlântica é diminuída para aumentar a incidência de luz solar,

apresentando uma densidade média de 65 árvores/ha (Heming et al., 2022; Schroth et al., 2011). Essa classe de uso está presente em 2.187,80 ha (11.4%) da área de estudo (Figura 7).



Figura 7 - Lavoura permanente de cacau no sistema cabruça raleada.

Juntas correspondem a 69,9%, colaborando com a manutenção da paisagem florestada e com a oferta de importantes serviços ambientais.

As áreas de cabruca, predominante nessa paisagem, exercem importante papel, conectando

os fragmentos de floresta, que estão dispostas na porção leste da área de estudo, próximo ao conjunto de relevo mais elevado da região (Carvalho et al., 2024), como demonstrado na Figura 8.

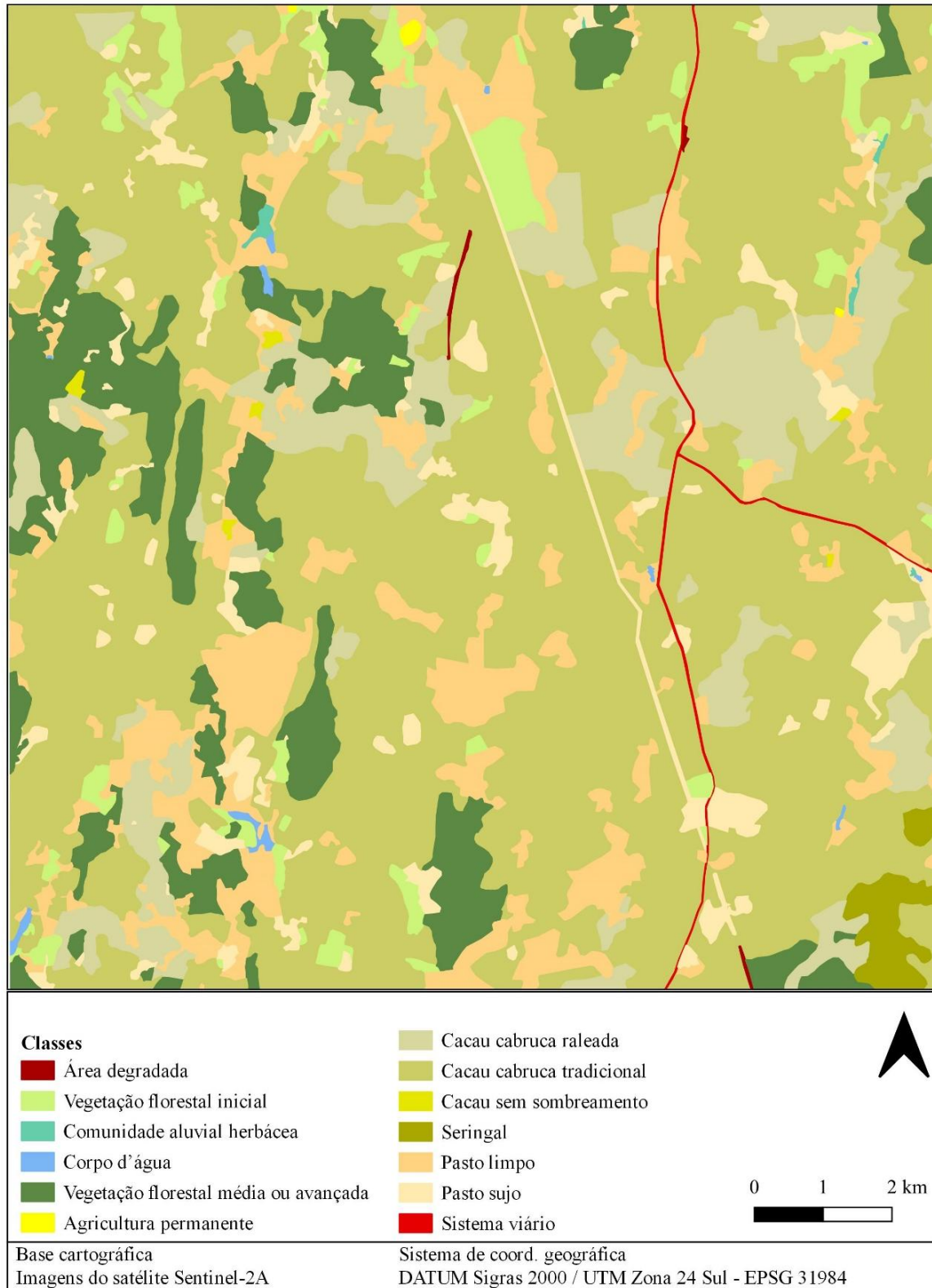


Figura 8 - Mapa da Cobertura e Uso da Terra da área de estudo, 2021.

O Decreto nº 15.180/2014, que trata da gestão florestal e demais formas de vegetação no estado da Bahia, estabelece que áreas de cabruças com no mínimo 40 indivíduos arbóreos nativos podem ser computados como RL e ter acesso a pagamentos por serviços ambientais (Bahia, 2014). Contudo, a portaria nº 22.078/2021, do INEMA, determina que só os imóveis com até quatro

módulos fiscais podem localizar suas RL em áreas de cabruça (Bahia, 2021).

As áreas de cacau sem sombreamento, onde o cultivo do cacau está exposto direto ao sol, com espaçamento reduzido e, geralmente, utilizando sistemas de irrigação, ocorrem em 24,82 ha (0,1%) (Figura 9).



Figura 9 - Lavoura permanente de cacau a pleno sol, como exemplares em espaçamento reduzido.

Estimativa do estoque de Carbono conforme referências levantadas

Foram levantados 60 artigos científicos nas duas bases pesquisadas. Após o processamento dos dados e a aplicação dos critérios de elegibilidades foram considerados três artigos. Estes têm como foco analisar o estoque de carbono acima do solo em áreas do Sul da Bahia. Assim, por apresentarem objetivos próximos aos demandados nesse trabalho e serem realizados na mesma região, geram maior segurança na aplicação dos resultados.

Em seu estudo, Schroth et al., (2015) tiveram como objetivo quantificar a contribuição das cabruças para os estoques totais de C acima do solo em vegetação dominada por árvores no Sul da Bahia. Eles consideraram 76 inventários realizados entre os anos de 1993 e 2009 em fazendas de cacau na região.

Schroth et al., (2016), buscaram entender o impacto da intensificação do manejo nas áreas de cabruça no estoque de carbono acima do solo. Para isso, realizaram entrevistas e inventários de campo em 26 fazendas de cacau entre os municípios de Ilhéus, Uruçuca e Itabuna, ao longo do ano de 2013.

No estudo realizado por Becknell et al., (2018), analisa-se a biomassa acima do solo em áreas de floresta, considerando dados coletados em 30 parcelas distribuídas no Parque Estadual da Serra do Conduru. Este parque está localizado na região Sul da Bahia entre os municípios de Uruçuca e Itacaré.

Os resultados dessas publicações corroboram entre si os valores do volume de biomassa acima do solo e as estimativas de carbono estocadas nas áreas de florestas e cabruças (Tabela 2).

Tabela 2 - Estimativas de C, valores médios.

Classe	tC/ha
Vegetação florestal estágio médio ou avançado	102,00
Vegetação florestal estágio inicial	33,00
Cacau cabruca tradicional	87,00
Cacau cabruca raleada	46,00
Cacau sem sombreamento	10,00

Fonte: Adaptado de Schroth, G. et al. 2014, Becknell et al. 2018

É importante observar que esses são valores médios. Existe uma variação em função das condições de cada área analisada: número de indivíduos arbóreos, DAP, idade, declividade etc. (Becknell et al., 2018; Schroth et al., 2016). Por exemplo, uma área de cabruca tradicional pode apresentar valores que variam de 17 a 182 tC/ha, dependendo do número de grandes árvores de

sombra ($DAP \geq 30$ cm), manejo e número de plantas de cacau (Schroth et al., 2016).

Considerando os valores médios definidos para estimativas de Carbono em áreas de florestas e cultivos de cacau, e os resultados do mapeamento de cobertura e uso da terra, realizado na área estudada, chegou-se à estimativa de 1.289.941,08 tC, ou seja 81,05 tC/ha em média (Tabela 3).

Tabela 3 - Estimativa de Carbono por classe de cobertura e uso da terra.

Classe	Área (ha)	tC/ha	Estimativa de C
Vegetação florestal Estágio Médio ou Avançado	1.870,50	102,00	190.791,00
Vegetação Florestal Estágio Inicial	576,01	33,00	19.008,49
Cacau Cabruca Tradicional	11.255,80	87,00	979.254,60
Cacau Cabruca Raleada	2.187,80	46,00	100.638,80
Cacau sem Sombreamento	24,82	10,00	248,19
TOTAL	15.914,93	278,00	1.289.941,08

Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

Com esse estoque, de 81,05 tC/ha, existe potencial para a geração de créditos de carbono. Ao converter em dióxido de carbono equivalente (CO_2e), esse estoque corresponde a aproximadamente 297,46 tCO_2e/ha (usando o fator de conversão de 1 tC = 3,67 tCO_2e), com potencial para comercialização no mercado de carbono. Esses são valores compatíveis com projetos desenvolvidos na Amazônia (Moraes et al., 2025).

Conclusões

As áreas de produção de cacau no Sul da Bahia apresentam relevância para a manutenção de estoques de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e para a conservação da paisagem florestada no Sul da Bahia.

Embora tenha sido identificado um déficit de florestas nativas em relação às exigências legais, a matriz produtiva desempenha papel fundamental na conectividade ecológica, oferta de serviços ambientais e potencial geração de créditos de carbono.

Souza, P.S.V.N.; Silva, V.A.; Marques, A.C.; Paula, A.; Carvalho, H.S.

Os resultados do trabalho, por meio do mapeamento detalhado da cobertura e uso da terra e a análise dos estoques de carbono na área estudada, apontam para uma média de 297,46 tCO_2e/ha , indicando a viabilidade de projetos voltados ao mercado de carbono.

Agregar valor ambiental às áreas de cabruças, por meio de instrumentos econômicos e políticas públicas como o pagamento por serviços ambientais e a regulamentação do mercado de carbono, são alternativas para a conservação desses sistemas agroflorestais, para o cumprimento da legislação ambiental vigente e como fonte à geração de renda para agricultores locais.

Recomenda-se, portanto, o desenvolvimento de iniciativas piloto de projetos REDD+ na região, assim como a ampliação de estudos que integrem variáveis socioeconômicas e ecológicas, fortalecendo o conhecimento científico e subsidiando ações de manejo sustentável. A articulação de esforços entre governos, setor produtivo, instituições de pesquisa e comunidades locais é essencial para consolidar essa estratégia e

assegurar a conservação dos recursos naturais, promovendo desenvolvimento rural de forma equilibrada e resiliente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento via Projeto Universal e a concessão da bolsa de produtividade para um dos autores.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pós-graduação a um dos autores.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão da bolsa de mestrado, concedida para um dos autores.

Referências

- Aguiar, P. C. B., & Pires, M. M. (2019). A região cacaueira do sul do estado da Bahia (Brasil): Crise e transformação. *Cuadernos de Geografia: Revista Colombiana de Geografia*, 28 (1), 192–208. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67437>
- Araújo, G. J., Martello, F., Sabino, W. O., Oliveira Andrade, T., Costa, L., Teixeira, J. S. G., Giannini, T. C., & Carvalheiro, L. G. (2025). Tropical forests and cocoa production: synergies and threats in the chocolate market. *Environmental Conservation*, 52(1), 20–30. <https://doi.org/10.1017/S0376892924000304>
- Aryal, K., Maraseni, T., Subedi, B. P., Laudari, H. K., Ghimire, P. L., Khanal, S. C., Zhang, H., & Timilsina, R. (2024). REDD+ at risk: Emerging ten questions that REDD+ must answer. *Environmental Science & Policy*, 156, 103744. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103744>
- Bartold, M., Kluczek, M., Wróblewski, K., Dąbrowska-Zielińska, K., Goliński, P., & Golińska, B. (2024). Mapping management intensity types in grasslands with synergistic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite images. *Scientific Reports*, 14(1), 32066. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83699-4>
- Becknell, J. M., Keller, M., Piotto, D., Longo, M., Nara dos-Santos, M., Scaranello, M. A., Bruno de Oliveira Cavalcante, R., & Porder, S. (2018). Landscape-scale lidar analysis of aboveground biomass distribution in secondary Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica*, 50(3), 520–530. <https://doi.org/10.1111/btp.12538>
- Bressane, A., Pinto, J. P. da C., da Silva, J. V., Silva, M. B., Siminski, A., Medeiros, L. C. de C., & Negri, R. G. (2023). Atlantic Forest Ecosystems: Are There Significant Differences When Compared at the Same Stage of Regeneration? *Sustainability*, 15(8), 6823. <https://doi.org/10.3390/su15086823>
- Carneiro, J. P. S., & Sousa, J. S. de. (2020). Pagamento de serviços ambientais: uma análise sobre sua implantação. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 9(18). <https://doi.org/10.22292/mas.v9i18.904>
- Carvalho, H. da S., Silva, V. de A., & Souza, P. S. V. N. (2024). Geoprocessamento e redes neurais convolucionais: análise da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Almada (Bahia – Brasil). *Caminhos de Geografia*, 25(101). <https://doi.org/10.14393/RCG2510172917>
- Coelho, M. A. N., Magno, A., & Valadares, R. T. (2024). A new *Anthurium* (Araceae) species with silver leaves from Bahia Atlantic Forest, Brazil. *Phytotaxa*, 663 (2), 69–76. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.663.2.2>
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Decreto no 15.180 de 02 de junho de 2014 (2014). <https://dool.egba.ba.gov.br/portal/visualizacoes/pdf/7042#/p:1/e:7042?find=%22%22>
- Dominicis, L. F. de, Lima, M. de F. de B., Souza, Á. N. de, Joaquim, M. S., Araújo, J. B. C. N., Coelho Junior, L. M., Ribeiro, J. F., & Santos, P. P. dos. (2023). Payment for Environmental Services and the Financial Viability of Agroforestry Systems: An Integrated Analysis of Socio-Environmental Projects in the Descoberto Basin—Federal District.

- Forests, 14(10), 2110.
<https://doi.org/10.3390/f14102110>
- Faria, D., Mariano-Neto, E., Sambuichi, R. H. R., & Rocha-Santos, L. (2025). Estimating Carbon Acquisition in a Shade Cocoa Plantation in Southern Bahia, Brazil. *Forests*, 16(6), 929.
<https://doi.org/10.3390/f16060929>
- Fernandes, C. de A. F., Matos, A. P. de, Mamédio, J. E. S., Fernandes, V. de S., & Sousa, C. S. (2021). Agrofloresta, uma estratégia de agroconservação. Em *Agroecologia: Métodos e Técnicas Para Uma Agricultura Sustentável - Volume 1* (p. 363–378). Editora Científica Digital.
<https://doi.org/10.37885/210102761>
- Hajjar, R., Engbring, G., & Kornhauser, K. (2021). The impacts of REDD+ on the social-ecological resilience of community forests. *Environmental Research Letters*, 16(2), 024001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd7ac>
- Heming, N. M., Schroth, G., Talora, D. C., & Faria, D. (2022). Cabruca agroforestry systems reduce vulnerability of cacao plantations to climate change in southern Bahia. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3), 48.
<https://doi.org/10.1007/s13593-022-00780-w>
- IBGE. (2012). Manual técnico da vegetação brasileira: Sistema fitogeográfico Inventário das formações florestais e campestres. Técnicas e manejo de coleções botânicas. Procedimentos para mapeamentos (p. 272). IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>
- IBGE. (2013). Manual Técnico de Uso da Terra (p. 170). IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159.
<https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lei no 12.651 de 25 de maio de 2012 (2012).
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm
- Lei No 14.119, de 13 de janeiro de 2021 (2021).
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/114119.htm
- Lei no 15.042 de 11 de dezembro de 2024 (2024).
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L15042.htm
- Machado, G. B. (2025). Tipologia geral dos agentes econômicos no sistema agrário do cacau, Sul da Bahia, Brasil. *Revista Aracê*, 7(3), 10903–10928.
<https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/3693/4847>
- Moraes, A. P. P., Kohler, S. V., Vieira, T. S., Lacerda, F. C. B., Goulart, S. L., Oliveira, X. M., Moraes, D. G., & Faiad, P. J. B. (2025). Estimativa do estoque volumétrico e acúmulo de biomassa e carbono em uma floresta ombrófila densa na Floresta Nacional de Carajás. *Biodiversidade Brasileira*, 15 (1), 13–24.
<https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasil.eira.v15i1.2655>
- Morita, K., & Matsumoto, K. (2023a). Challenges and lessons learned for REDD+ finance and its governance. *Carbon Balance and Management*, 18(1), 8.
<https://doi.org/10.1186/s13021-023-00228-y>
- Morita, K., & Matsumoto, K. (2023b). Challenges and lessons learned for REDD+ finance and its governance. *Carbon Balance and Management*, 18(1), 8.
<https://doi.org/10.1186/s13021-023-00228-y>
- Moura, A. G. A. F., Silva, E. F. da, Barros, Q. S., Leão, F. M., Santos, J. S., & Santos, A. H. M. (2024). Identificação de infraestruturas de exploração florestal em uma área de manejo sustentável por meio de imagens OLI/Landsat 8 e MSI/Sentinel-2. *Revista Cereus*, 16 (2),

381–406. <https://doi.org/10.18605/2175-7275/cereus.v16n2p381-406>

- Pinto, A. C., Antunes, T. J., Santos, V. C., Costa, C. B. N., & Costa, J. A. S. (2019). Composição florística de um fragmento de floresta no Corredor Central da Mata Atlântica, sul da Bahia, Brasil. *Paubrasilia*, 2(2), 14–27. <https://doi.org/10.33447/paubrasilia.v2i2.22>
- Portaria INEMA no 22.078 de 08 de janeiro de 2021 (2021). https://portaldocodigo.org/pr/bahia/portaria_INEMA_22_078_de_2021.pdf
- Portella, S. P. S., Santos, D. P. S., & Coelho, L. A. (2024). O pagamento por serviços ambientais: a lei no 14.119/2021 como ferramenta de estímulo à conservação ambiental em áreas privadas no Sul da Bahia. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 10(6), 2403–2421. <https://doi.org/10.51891/rease.v10i6.14539>
- Reuss-Strenzel, G. M., & Faria, D. (2023). Detailed mapping of the landscape in a “hotspot” of forest diversity on the south coast of Bahia. *International Journal of Biological and Natural Sciences*, 3(7), 2–9. <https://doi.org/10.22533/at.ed.813372328079>
- Sampaio, J. M. F., Rocha, W. da S., Balduino, G. M. G., Freitas, A. de O., & Cardoso, L. G. de B. (2025). Legal Reserve Policy in Brazil Between Native Vegetation Protection and Rural Production. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 19(5), e012205. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n5-049>
- Schroth, G., Bede, L. C., Paiva, A. O., Cassano, C. R., Amorim, A. M., Faria, D., Mariano-Neto, E., Martini, A. M. Z., Sambuichi, R. H. R., & Lôbo, R. N. (2015). Contribution of agroforests to landscape carbon storage. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(7), 1175–1190. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9530-7>
- Schroth, G., Faria, D., Araujo, M., Bede, L., Van Bael, S. A., Cassano, C. R., Oliveira, L. C., & Delabie, J. H. C. (2011). Conservation in tropical landscape mosaics: the case of the cacao landscape of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 20(8), 1635–1654. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0052-x>
- Schroth, G., Jeusset, A., Gomes, A. da S., Florence, C. T., Coelho, N. A. P., Faria, D., & Läderach, P. (2016). Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(1), 67–80. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9570-7>
- Sousa, L. F. de, Ferraz, L. L., Santos, C. A. S., Rocha, F. A., & de Jesus, R. M. (2023). Assessment of hydrological trends and changes in hydroclimatic and land use parameters in a river basin in northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 128, 104464. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104464>
- Suleymanov, M., Huazheva, A., & Akhyadov, E. (2023). Environmental economics and sustainable development. *BIO Web of Conferences*, 76, 08007. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237608007>
- Thomas, W. W., Jardim, J. G., Fiaschi, P., Mariano Neto, E., & Amorim, A. M. (2009). Composição florística e estrutura do componente arbóreo de uma área transicional de Floresta Atlântica no sul da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 32(1). <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000100007>
- Xavier, L. B., Nascimento Jr., F. C. D., & Chiapetti, J. (2021). Da crise regional às novas dinâmicas de especialização da produção de cacau no Sul da Bahia. *Caminhos de Geografia*, 22 (79), 77–96. <https://doi.org/10.14393/RCG227953461>