

# Quantificação dos serviços ambientais em agroflorestas e áreas de monocultivo tradicional na zona da mata e no semiárido Pernambucano.

*Quantifying environmental services in agroforestry and traditional monoculture areas in Pernambuco state, Brazil.*

## Aldo Sales

Universidade Federal de Pernambuco  
[aldotsales@gmail.com](mailto:aldotsales@gmail.com)

## Aniérica Almeida

Centro agroecológico Sabiá  
[anierica@centrosabia.org.br](mailto:anierica@centrosabia.org.br)

**Resumo:** O presente estudo integrou medidas no solo, na vegetação, e dados espectrais para quantificar a provisão de serviços ambientais em áreas de agroflorestas e de monocultivos tradicionais nas regiões de Zona da Mata, Agreste e Sertão no Estado de Pernambuco, Brasil. Foram avaliadas 24 áreas, sendo quantificado estoques de carbono na vegetação e solo, bioindicadores do solo ( $\beta$ -glicosidase e Aril-sulfatase), emissões de gases de efeito estufa do solo ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ), além disso utilizando imagens de drone determinou-se a temperatura ao nível do solo, índice de cobertura do solo. Os resultados apontam que agroflorestas acumulam mais carbono na biomassa que monocultivos. A atividade enzimática indica que solos de agroflorestas são mais resilientes para suportar as mudanças climáticas que em monocultivos. Os dados espectrais também revelaram que agroflorestas tem temperatura a altura do solo mais amena que cultivos tradicionais, com a vantagem de promover maior cobertura do solo e atividade fotossintética. Em conclusão, as agroflorestas maior volume de serviços ambientais seja em termos de estocagem de carbono, manutenção da vida do solo, maior ciclagem de nutrientes no ecossistema e melhor ambiência em escala local quando comparadas com áreas de monocultivo.

**Palavras-chave:** carbono; mudanças climáticas, agroecologia; bioindicadores do solo.

**Keywords:** carbon; climate change; agroecology; soil bioindicators.

**Abstract:** The study integrated soil, vegetation, and spectral data to quantify the provision of ecosystem services in agroforestry and monoculture crops in areas of the Zona da Mata, Agreste, and Sertão in the state of Pernambuco, Brazil. Twenty-four areas were evaluated, quantifying carbon stocks in vegetation and soil, soil bioindicators ( $\beta$ -glucosidase and Aryl-sulfatase), soil greenhouse gas emissions ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ). Using an RGB coupled in a drone we obtained the temperatu-

re at ground level, land cover, and photosynthesis index. The results indicate that agroforests accumulate more carbon from biomass than traditional crops. The enzymatic activity means that agroforestry soils are more resilient to climate change than monocultures. The spectral data also revealed that agroforestry has a milder temperature at ground level than traditional crops, promoting greater soil cover and photosynthetic activity. In conclusion, it is unequivocally clear that agroforests provide a significantly wider range of environmental benefits, such as carbon storage, soil flora and fauna support, enhanced nutrient cycling in the ecosystem, and a better local ambiance than monoculture areas.

## **Introdução**

A agricultura moderna busca por processos produtivos que atendam às exigências econômicas da sociedade e que sejam alinhados com as agendas globais para mitigação das mudanças climáticas. Nesse sentido métodos de cultivo que tenham uma menor pegada ambiental nos ecossistemas e que atuem como sumidouros de carbono são consideradas uma das grandes armas para o atingir as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa.

Os sistemas agroflorestais (SAF's) a uma primeira vista surgem como uma alternativa que se alinha com todas essas demandas. Porém até o momento pouco são os estudos que integrem diferentes métodos de análise sob uma mesma área, permitindo uma visão científica profunda dos benefícios ambientais desses agroecossistemas, e assim poder comparar esses com métodos de agricultura de larga escala amplamente difundidos no Brasil.

O presente estudo teve como objetivo quantificar os serviços ambientais promovidos por agroflorestas e compara-los com áreas de monocultivos tradicionais utilizando a integração de um conjunto de métodos de análise do solo e vegetação em áreas na zona da mata e sertão do Estado de Pernambuco, Brasil.

## **Metodologia**

O estudo foi desenvolvido entre junho de 2022 a fevereiro de 2023 em 12 sítios de estudo. Os sítios foram subdivididos por gradiente de precipitação ficando 4 na zona da mata, 4 no agreste e 4 no sertão. Cabe destacar que em Pernambuco a longitude promove significativas diferenças em termos de precipitação médias superiores a 1500 mm ano<sup>-1</sup> na zona da mata, enquanto que no sertão a precipitação médias é de 580 mm ano<sup>-1</sup>. A região agreste é uma zona de transição entre as duas regiões (850 mm ano<sup>-1</sup>).

Cada sitio foi composto de 2 parcelas de amostragem, sendo uma de agrofloresta e outra o mais próximo possível de monocultivo tradicional (milho, feijão, cana ou pastagem) (Figura 1). A proximidade foi marcada por ser o suficiente distante de modo a não haver influência das práticas de manejo entre essas e com proximidade suficiente para não existir grandes diferenças de precipitação e tem-

peratura média entre as áreas. Em total foram avaliadas 24 parcelas em duas visitas (Estação seca e chuvosa) totalizando 48 amostragens.



**Figura 1.** Distribuição geográfica dos sítios experimentais

Em campo primeiramente foi realizado um sobrevoo de drone a uma altura de 30 metros do solo a este foi acoplado uma câmera RGB de alta resolução que coletou uma imagem em alta resolução (4K), em seguida a equipe adentrou a área e procedeu-se o levantamento florístico, amostragem de biomassa de estrato herbáceo e arbustivo, medições alométricas que foram utilizadas para estimativa da biomassa de árvores. Seguindo foram realizadas as coletas de amostras de solo em um total de cinco nos vértices e uma no centro da parcela até a profundidade de 40 cm, para quantificação da densidade do solo e conteúdo de carbono usando como método o protocolo descrito por Marcelino et al., (2022).

As biomassas e os solos coletados foram processados em laboratório e analisados em analisador elementar do tipo CNHS para quantificação estoque de carbono, os dados foram extrapolados para hectare, seguindo recomendação de Texeira et al.,(2017).

As imagens de drone foram processadas através do recorte da superfície amostral, em seguida subdividida por bandas espectrais R (Vermelho), G (Verde) e B (Azul). As bandas foram utilizadas para gerar os Green Leaf Index e a temperatura média a altura do solo usando método descrito por Fonseca (2022).

As emissões de gases do solo seguiram metodologia descrita por Penha Simon et al., (2019) e a Atividade enzimática para  $\beta$ -glicosidase (A) e Aril-sulfatase seguiu método descrito por Prestes & Vincenci (2019).

Os dados foram processados de forma a serem apresentados os valores médios por região e uso da terra para biomassa e emissões de gases do solo. Os dados espectrais entre mata e caatinga e a atividade enzimática por tipo de uso.

## Resultados e Discussão

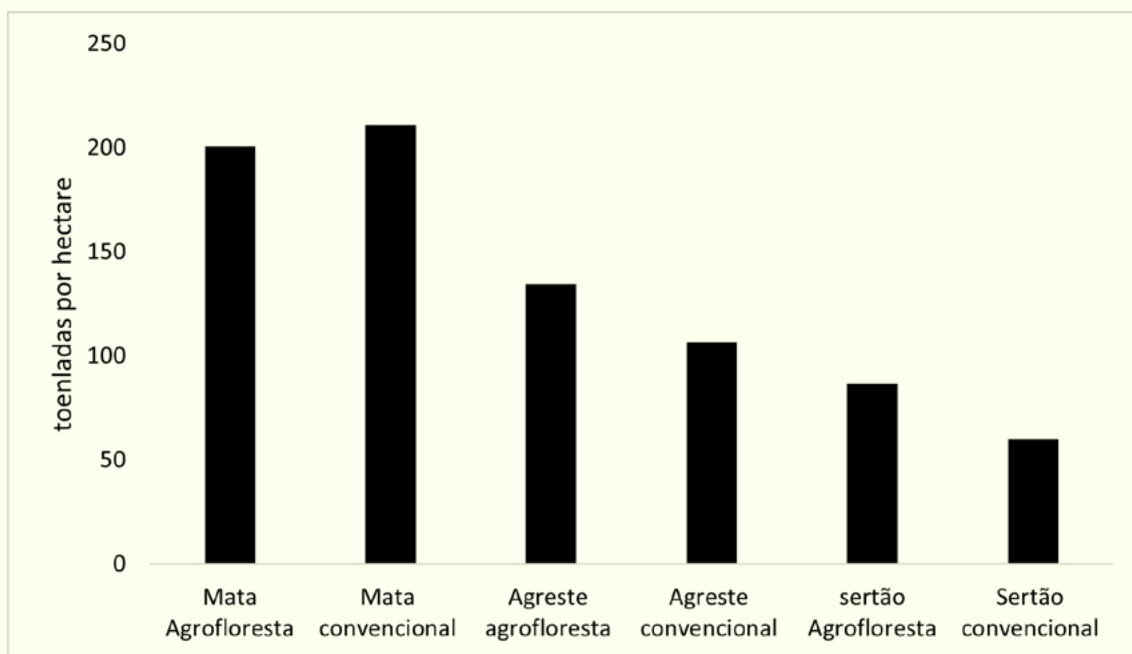
Os estoques de carbono dos diferentes componentes avaliados são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Estoques de carbono na biomassa, no solo e total de agroflorestas e áreas de monocultivo convencional na mata atlântica, agreste e sertão de Pernambuco.

Região	Usos da terra	Carbono na biomassa	Carbono no solo	Estoque total de Carbono (Biomassa+ Solo)
		----- (t C) -----		
Mata atlântica	Agrofloresta	43,73	157,03	200,76
	Convencional	5,15	205,76	210,91
Agreste	Agrofloresta	19,20	115,12	134,32
	Convencional	6,50	100,18	106,68
Sertão	Agrofloresta	21,23	65,33	86,56
	Convencional	3,20	56,67	59,87

O carbono da biomassa em todos os usos da terra demonstrou que as agroflorestas acumularam em média 8 vezes mais carbono que sistemas convencionais, esses resultados reforçam o papel das agroflorestas como importante ferramenta de sequestro de carbono e assim mitigadora das mudanças climáticas.

Porém essa proporção de carbono na biomassa e no solo é menor em agroflorestas onde esses valores representam de 3 a 5 vezes mais que a proporção de carbono na biomassa, já em monocultivos esse valor pode chegar a 10 vezes. Essa proporção muito maior em monocultivos revela que os valores de carbono do solo nesse tipo de uso do solo podem ser resquícios ainda da estocagem ocorrida em épocas passadas com cobertura de vegetação nativa (mata), isso mostra uma tendência que os valores hoje observados irão declinar ao longo dos anos. Porém quando essa proporção é maior na biomassa, indica que o sistema acima do solo ainda esta provendo matéria orgânica para o solo e que esse seguirá aumentando o seu carbono com o passar dos anos.



**Figura 2.** Carbono total estocado em áreas de agrofloresta e monocultivos convencionais em três regiões do Estado de Pernambuco

Um outro fator observado, é que a maioria das agroflorestas visitadas para esse estudo na Zona da Mata, essas atualmente estão sob pouco ou nenhum manejo, o que dificulta a ciclagem de nutriente nas áreas. Os maiores problemas observados são, 1) falta de poda das espécies arbóreas, sombreando em excesso a área e impedindo a entrada de luz para plantas arbustivas e herbáceas. 2) Perda de biodiversidade, um número baixo de espécies do que habitualmente é visto em agrofloresta nessa região. 3) Sobrepastoreio de galinhas/outras aves, o pastoreio de animais é prática comum e se bem manejada positiva para a regeneração da vegetação, porém em excesso pode ser depreciadora da vida do solo.

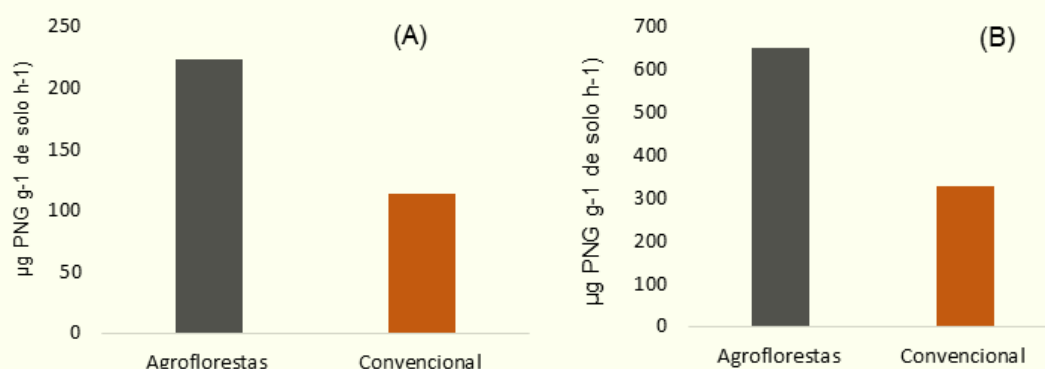
A superioridade no estoque de carbono nas agroflorestas nas demais regiões

reforçam a importância dessa prática agroecológica como um importante sumidouro de carbono. Sendo os valores observados muito próximos aos encontrados em florestas nativas (Menezes et al., 2021). Os dados ainda reforçam a importância da disponibilidade de água como um fator determinante para a taxa de geração de fotoassimilados e decomposição da matéria orgânica. Os cultivos em mata atlântica estocam 2,5 vezes mais carbono que em áreas do semiárido.

A atividade enzimática vem sendo utilizada como indicador da

atividade da qualidade edáfica sendo essa, uma função do manejo pretérito da área e como esse irá se comportar no futuro, pois os microrganismos são responsáveis por inúmeros processos e funções do estoque de carbono, como a decomposição e ciclagem de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, e agregação de partículas do solo.

A Figura 3 revela que a atividade microbiana expressa através da  $\beta$ -glicosidase (A) e Aril-sulfatase (B) foi duas vezes mais intensa em agroflorestas que em monocultivos. A  $\beta$ -glicosidase que é uma enzima do solo relacionada diretamente com o ciclo do carbono, e a biodisponibilidade da matéria orgânica para os microrganismos decompositores indica que esses agroecosistemas segue e seguirão estocando carbono a uma taxa positiva. Já a Aril-sulfatase que é usada como indicador de contaminação do solo por metais pesados, biodisponibilidade da matéria orgânica e capacidade de equilíbrio do pH foram duas vezes maiores em agroflorestas. Nossos dados reforçam que solos de agroflorestas apresentam maior estabilidade enzimática, por conseguinte menor vulnerabilidade as ações antrópicas/climática em um cenário de curto e médio prazo (RAO et al., 2008).



**Figura 3.** Atividade enzimática para  $\beta$ -glicosidase (A) e Aril-sulfatase (B) em áreas de agroflorestas e monocultivos convencionais no estado de Pernambuco.

A emissão de gases de efeito estufa pelo solo são apresentados na Figura 4. De uma forma geral as emissões em áreas de monocultivo tradicional foram maiores que a emissões de gases de efeito estufa em agroflorestas. De acordo com Penha Simon et al., (2019) sistemas convencionais de cultivo afetam diretamente as emissões de gases de efeito estufa pelas condições ambientais, principalmente, porque usam defensivos para eliminação das plantas daninhas, pragas e doenças do cultivo, além disso usam forte mecanização do solo, não promovem pousio e a cobertura do solo. Repetindo um ciclo contínuo de agrotóxicos, adubação química e colheita, coisas que afetam a vida microbiana do solo (Trovato e Scorza, 2019).

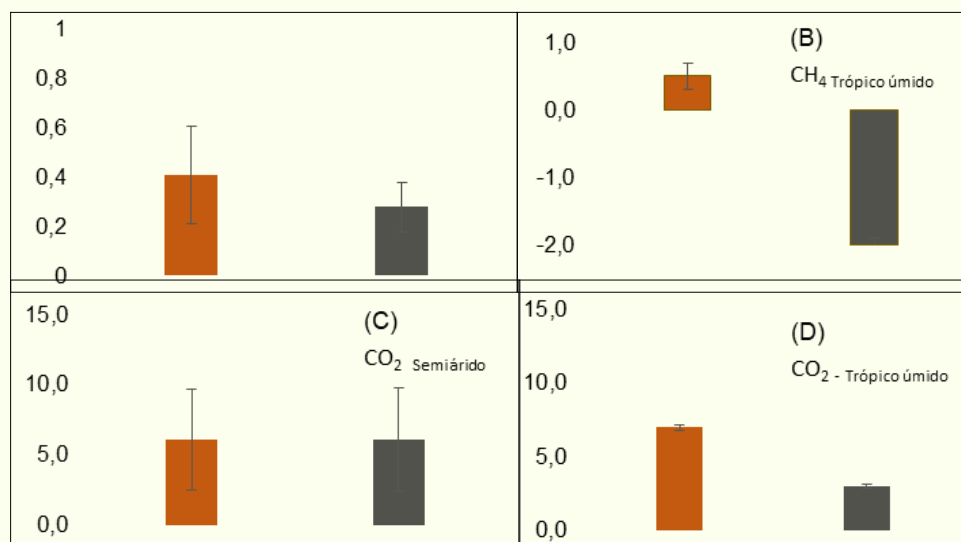
Um fato interessante é que em agroflorestas de mata atlântica a taxa de fluxo de metano se mostrou negativo, ou seja, os microrganismos do solo foram capazes de remover metano do ar e fixar em formas que não contribuem para o aquecimento global. Esse fato não é comum em áreas antropizadas, o que implica dizer que agroflorestas se comportam em termos de cobertura do solo como uma formação florestal. A diferença entre monocultivos e agroflorestas são mais acentuadas na Mata atlântica que nas áreas na Caatinga, esse fenômeno é dado pela falta de água disponível no solo em parte do ano nessa região durante a seca no sertão e agreste a atividade microbiana é fortemente limitada e a depender da intensidade é cessada.

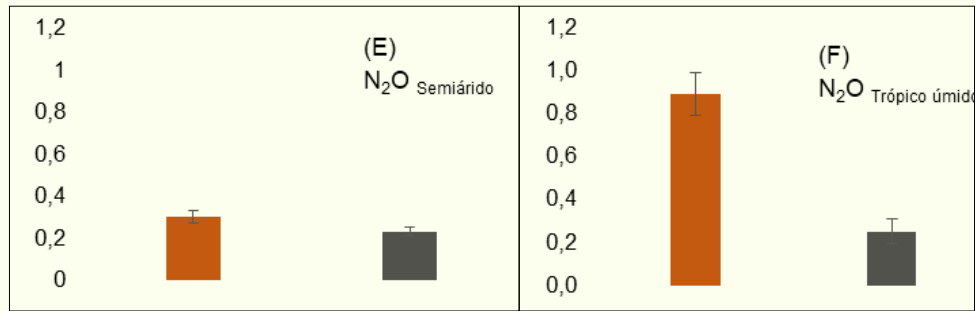
Uma maior temperatura do solo foi observada em monocultivos (Tabela 2). Temperaturas mais amenas do solo promovem um microclima ideal para a vida do solo, beneficiando a fixação de carbono, além de promover a biodisponibilidade de nutrientes, o que é benéfico para o desenvolvimento das plantas.

**Tabela 2.** Temperatura ao nível do solo (oC), Índice de cobertura do solo e índice de verde estandardizado (GLI) em áreas de agroflorestas e áreas de monocultivo no estado de Pernambuco.

	Atlantic Forest		Caatinga	
	Agroforestry	Traditional	Agroforestry	Traditional
Temperature at ground level (°C)	25,1	30,5	24,5	32,4
Ground cover index	0,95	0,32	0,76	0,18
Green Leaf Index (GLI)	0,88	0,56	0,72	0,21

Nos monocultivos também foi observado menor cobertura do solo e taxa fotossintética, o que os torna mais susceptíveis aos efeitos das mudanças climáticas (Tabela 2).



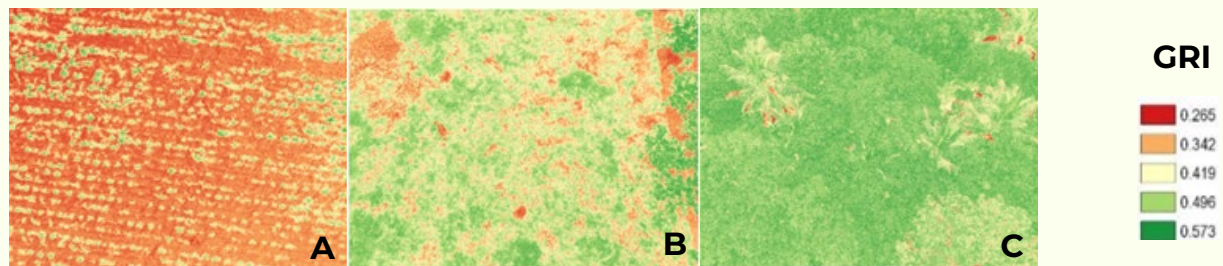


**Figura 4.** Emissões de gases de efeito estufa do solo de agrofloresta (Barras verdes) e cultivos tradicionais (Barras em vermelho) em dois biomas do Estado de Pernambuco. Metano CH<sub>4</sub> = A Semiárido, B Zona da mata; Dióxido de carbono CO<sub>2</sub> = C Semiárido, D Zona da mata e óxido nitroso N<sub>2</sub>O = E Semiárido, F Zona da mata.

As barras representam o desvio padrão da média.

A Figura 5 ilustra de forma didática como se comporta a atividade fotossintética em monocultivos, pastagem e agroflorestas, visivelmente as agroflorestas tem maior índice de vegetação, que é um indicador da atividade fotossintética pelas plantas, cabe aqui destacar que esse é o processo pelo qual as plantas fixam carbono.

Da mesma forma o GRI é um indicador de índice de cobertura do solo e de pontos de calor. Mais uma vez os monocultivos demonstraram ser uma atividade agrícola pouco conservativa no diz respeito a práticas de manejo do solo.

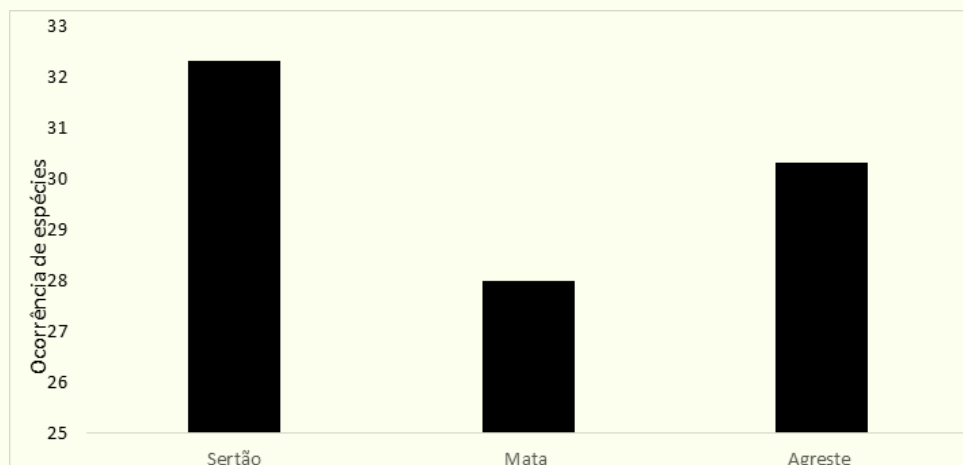


**Figura 5.** Indicador de atividade fotossintética. (A) monocultivo de milho, (B) pastagem cultivada (C) Agrofloresta.

Cultivos com uma maior proporção de solo descoberto indicam ser mais susceptíveis a erosão, e por conseguinte perda de solo. Além disso solos descoberto apresentam maior temperatura o que indica ser sistemas menos eficientes no uso da água.

Em termos de diversidade de espécies comparar monocultivos e agroflorestas consideramos ser algo até certo ponto desnecessário haja visto o próprio nome desses sistemas. O que decidimos trazer nesse estudo foi a diversidade entre agroflorestas nas três regiões de estudo (Figura 6).





**Figura 6.** Biodiversidade de espécies vegetais observadas nas agroflorestas de três regiões do Estado de Pernambuco (Sertão, Zona da mata e Agreste).

Uma das grandes fortalezas do conceito de agrofloresta é que a biodiversidade torna mais resiliente os cultivos de plantas que quando de forma isolada. Inúmeras pesquisas já comprovaram que o policultivo é benefício para o controle de pragas e doenças, reduz emissões de gases de efeito estufa e melhora a soberania alimentar das famílias camponesas. Supreendentemente em nosso estudo observamos que agroflorestas do sertão (mais seco) são mais diversas que agroflorestas da zona da mata. Esses resultados reforçam a necessidade de ampliar os estudos em agroflorestas e reavivar a importância de práticas de manejo nas agrofloresta nessas áreas. Menor diversidade de plantas podem ocorrer em virtude do crescimento exagerado de copas de árvores impedindo luz para espécies de menor porte.

## Conclusões

Baseado no conjunto de métodos científicos utilizados nesse estudo as agroflorestas estocam mais carbono na vegetação, melhora atividade microbiana benéfica do solo, diminui as emissões de gases de efeito estufa do solo, realizam mais fotossíntese e promove um microclima mais benéfico a vida que áreas de monocultivo tradicional.

## Referências bibliográficas

- FONSECA, C. K. L. (2020). Uso de drone para estimativa de biomassa em áreas de caatinga do estado de Pernambuco (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).
- NASCIMENTO, D. M., SALES, A. T., SOUZA, R., DA SILVA, A. S. A., SAMPAIO, E. V. D. S. B., & MENEZES, R. S. C. (2022). Development of a methodological approach to estimate vegetation biomass using remote sensing in the Brazilian semi-arid NE region. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27, 100771.
- PRESTES, R. M., & VINCENCI, K. L. (2019). Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2(4), 1473-1493.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos

de análise de solo. 3 ed. rev. e amp. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p

PENHA SIMON, C., DA VITÓRIA, E. L., das Graça Lacerda, E., Avancini, Y. S., Rodrigues, T. F., & Simon, C. A. (2019). Emissão de CO<sub>2</sub>, atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes sistemas de preparo do solo. *Nativa*, 7(5), 494-499.

MENEZES, R. S. C., SALES, A. T., PRIMO, D. C., DE ALBUQUERQUE, E. R. G. M., DE JESUS, K. N., PAREYN, F. G. C., & SAMPAIO, E. V. D. S. B. (2021). Soil and vegetation carbon stocks after land-use changes in a seasonally dry tropical forest. *Geoderma*, 390, 114943.


TROVATO, V. W., & SCORZA JUNIOR, R. P. (2019). Degradação de moléculas herbicidas no solo sob diferentes temperaturas. *Rev. Agr. Acad.*, v.2, n.2, Mar/Abr.

Realização:



Apoio:

**terre  
des hommes  
schweiz** Oportunidades para jovens

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
**Cooperación Suiza**