

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS -
PPGCAMB

CAROLINA MEURER

**DETERMINAÇÃO DE ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DO PARQUE
NACIONAL DE SÃO JOAQUIM E A POSSIBILIDADE DA GERAÇÃO DE
CRÉDITOS DE CARBONO**

**LAGES
2024**

CAROLINA MEURER

**DETERMINAÇÃO DE ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DO PARQUE
NACIONAL DE SÃO JOAQUIM E A POSSIBILIDADE DA GERAÇÃO DE
CRÉDITOS DE CARBONO**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prf.^a Dr.^a Mari Lucia Campos

**LAGES
2024**

Meurer, Carolina

Determinação de Estoque de Carbono nos Solos do Parque Nacional de São Joaquim e a Possibilidade da Geração de Créditos de Carbono / Carolina Meurer. -- 2024.

96 p.

Orientadora: Mari Lucia Campos

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Lages, 2024.

1. Modelo Teórico. 2. Mudanças Climática. 3. Conservação do Solo. I. Campos, Mari Lucia . II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. III. Título.

CAROLINA MEURER

**DETERMINAÇÃO DE ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DO PARQUE
NACIONAL DE SÃO JOAQUIM E A POSSIBILIDADE DA GERAÇÃO DE
CRÉDITOS DE CARBONO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Banca Examinadora:

Orientador: _____

Prof.^a Dr. ^a Mari Lucia Campos
CAV/UDESC

Membro 1: _____

Prof. Dr. Flávio José Simioni
CAV/UDESC

Membro 2: _____

Dr. Gregory Kruker
Menuai Bioinsumos e Pesquisa- Lages

Lages, 30 de agosto de 2024.

RESUMO

Avaliações abrangentes dos estoques de carbono no solo são essenciais, especialmente considerando o impacto significativo da agricultura nas emissões de carbono. O Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ), em Santa Catarina, abrange aproximadamente 49.800 hectares e é uma unidade de conservação de grande relevância, criada em 1961 e ampliada em 2016. O PNSJ é destacado por apresentar solos que atuam como um importante sumidouro de carbono, fundamental para a mitigação das mudanças climáticas e a conservação do solo. Este estudo investiga a determinação do estoque de carbono nos solos do PNSJ e a viabilidade de geração de créditos de carbono baseada na conservação desses solos. Os principais objetivos incluem a identificação de modelos de acreditação de carbono, a quantificação do estoque de carbono e a proposta de um modelo teórico para a conservação dos solos. O estudo é dividido em três capítulos. O primeiro capítulo aborda a Análise Bibliométrica e Sistemática sobre modelos de acreditação de créditos de carbono, revelando um crescimento contínuo na pesquisa, com 39 artigos relevantes identificados entre 2012 e 2024. A análise destaca a lacuna em modelos práticos voltados para a conservação do estoque de carbono, indicando a necessidade de mais estudos na área. O segundo capítulo foca no estoque de carbono orgânico e uso da terra no PNSJ, onde os solos altomontanos apresentam altos teores de carbono orgânico. O estoque de carbono variou entre 75,8 e 459,4 Mg ha⁻¹, com média de 203 Mg ha⁻¹, evidenciando a capacidade de sequestro de carbono dos solos. O clima frio e as altas altitudes contribuem para as elevadas concentrações de carbono nesta região. A análise do uso da terra revela práticas, como pastagens e cultivo de maçã, que podem impactar a conservação do carbono no solo, sendo crucial para a preservação e para evitar a liberação de CO₂ e contribuir para a estabilidade climática. O terceiro capítulo desenvolve um modelo teórico de acreditação de créditos de carbono baseado no estoque do PNSJ, visando incentivar a conservação dos solos altomontanos e oferecer uma fonte de renda para os produtores locais. Contudo, desafios como a falta de regulamentação clara e a complexidade dos processos de acreditação no Brasil podem dificultar a implementação do modelo. A pesquisa sugere que a combinação de créditos de carbono com práticas de manejo sustentável podem ser uma estratégia eficaz para a conservação ambiental. Embora a implementação de créditos de carbono apresente oportunidades para mitigar as mudanças climáticas e promover práticas agrícolas sustentáveis, ainda existem lacunas significativas que precisam ser abordadas para sua aplicação efetiva nas áreas do PNSJ.

Palavras-chave: Modelo Teórico; Mudanças climáticas; Conservação do Solo

ABSTRACT

Comprehensive assessments of soil carbon stocks are essential, especially considering the significant impact of agriculture on carbon emissions in Brazil. The São Joaquim National Park (PNSJ), located in Santa Catarina, encompasses approximately 49,800 hectares and is a highly relevant conservation unit, established in 1961 and expanded in 2016. The PNSJ is notable for its soil, which serves as an important carbon sink, fundamental for mitigating climate change and conserving soil. This study investigates the determination of carbon stocks in the soils of the PNSJ and the feasibility of generating carbon credits based on the conservation of these soils. The main objectives include identifying carbon accreditation models, quantifying carbon stocks, and proposing a theoretical model for soil conservation. The study is divided into three chapters. The first chapter addresses the Bibliometric and Systematic Analysis of carbon credit accreditation models, revealing a continuous growth in research, with 39 relevant articles identified between 2012 and 2024. The analysis highlights the gap in practical models aimed at conserving carbon stocks, indicating the need for further studies in this area. The second chapter focuses on Organic Carbon Stocks and Land Use in the PNSJ, where the montane soils exhibit high levels of organic carbon. The carbon stock varied between 75.8 and 459.4 t ha⁻¹, with an average of 203 t ha⁻¹, demonstrating the significant carbon sequestration capacity of these soils. The cold climate and high altitudes contribute to the elevated carbon concentrations in this region. The land use analysis reveals practices such as pastures and apple cultivation that may impact soil carbon conservation, making preservation crucial to avoid CO₂ release and contribute to climate stability. The third chapter develops a theoretical model for carbon credit accreditation based on the carbon stock of the PNSJ, aiming to encourage the conservation of montane soils and provide a source of income for local producers. However, challenges such as the lack of clear regulation and the complexity of accreditation processes in Brazil may hinder the model's implementation. The research suggests that combining carbon credits with sustainable management practices could be an effective strategy for environmental conservation. Although the implementation of carbon credits presents opportunities to mitigate climate change and promote sustainable agricultural practices, significant gaps remain that need to be addressed for effective application in the PNSJ areas.

Keywords: Theoretical Model; Climate Change; Soil Conservation.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os mecanismos teórico-metodológicos para a geração de créditos de carbono a partir do estoque de carbono nos solos do PNSJ.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Localizar projetos internacionais de acreditação de carbono baseados na preservação do estoque de carbono do solo que possam servir de referência para a elaboração de um sistema de creditação de carbono para os solos do PNSJ.
- Determinar o estoque de carbono em solos do Parque Nacional de São Joaquim. Levantar os usos do solo nas zonas onde podem haver impactos das atividades humanas do Parque.
- Propor um projeto de acreditação teórico baseado nos valores de carbono para os solos do PNSJ, visando preservar o carbono estocado como matéria orgânica e gerar uma possível compensação de renda para os produtores locais inseridos no zoneamento do Parque.

2 INTRODUÇÃO

O solo desempenha um papel central no sistema terrestre, funcionando como um reservatório dinâmico de carbono orgânico, com uma massa que excede a soma do carbono atmosférico e da biomassa viva (DON *et al.*, 2011; LAL *et al.*, 2018). A gestão do carbono no solo é crítica, pois pequenas alterações nos seus estoques podem influenciar significativamente a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e, consequentemente, o clima global (ZHANG *et al.*, 2021; SHI, WANG, HARRIS, 2018). Com aproximadamente 2,5 trilhões de toneladas de carbono armazenados, o solo contém cerca de três vezes mais carbono do que a atmosfera (ESWARAN *et al.*, 1993), e práticas de manejo adequado têm o potencial de aumentar ainda mais esse estoque (BATJES & VAN OOSTRUM, 2020).

Enquanto o sequestro de carbono no solo emerge como uma estratégia viável para mitigar as mudanças climáticas (LAL *et al.*, 2018; BOCHARD, 2019), os créditos de carbono ganharam destaque como uma abordagem econômica incentivadora para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (CENCI & KEMPFER, 2023). Esses créditos, negociáveis em mercados estabelecidos, representam uma compensação por evitar a emissão de GEE ou por remover carbono da atmosfera (LAMENZA *et al.*, 2017; CULLENWARD & VICTOR, 2020).

No entanto, há desafios significativos que permeiam os mercados de carbono. As soluções atuais, conforme relatado pelo IPCC (2022), não têm sido eficazes o suficiente para frear as mudanças climáticas. Isso realça a necessidade de explorar abordagens complementares, como o armazenamento de carbono no solo, para reforçar as estratégias de mitigação (IPCC, 2022). As práticas agrícolas sustentáveis, como a agricultura de conservação (ou agricultura de base ecológica ou conservacionista) e o uso de biocarvão, são reconhecidas por aumentar o sequestro de carbono no solo e melhorar a saúde dos ecossistemas (LAL, 2020).

A economia hipocarbônica, uma transição para práticas de negócios que reduzem as emissões de GEE, apresenta oportunidades para a geração de créditos de carbono e o avanço do desenvolvimento sustentável (BARBERA, 2019). Essa transição é crucial para

o cumprimento das metas do Acordo de Paris, visando limitar o aquecimento global a 1,5°C (ERICKSEN *et al.*, 2014).

Avaliações abrangentes dos estoques de carbono no solo são essenciais, especialmente considerando o papel significativo da agricultura nas emissões de carbono do país (STOCKMANN *et al.*, 2013). Iniciativas como o Programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono) destacam-se por fomentar práticas agrícolas sustentáveis e contribuir para a redução das emissões de GEE no Brasil (OBSERVATÓRIO ABC, 2015).

O Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ), localizado em Santa Catarina, Brasil, possui uma história rica e é uma importante unidade de conservação. Criado em 1961 pelo Decreto nº 50.922 (Fonte) e ampliado em 2016 pela Lei 13.273 (Fonte), o PNSJ abrange uma área de aproximadamente 49.800 hectares, passando por parte dos municípios de São Joaquim (hoje município de Bom Jardim da Serra), Urubici, Orleans e Grão-Pará (ICMBio, 2018).

O parque engloba diversos tipos de ambientes, como matas nebulares, campos de altitude, floresta ombrófila mista e floresta ombrófila densa. Essa diversidade de ecossistemas contribui para abrigar uma ampla variedade de espécies de fauna e flora, algumas das quais estão ameaçadas de extinção, como o leão-baio, jaguatirica, gato-doméstico, xaxim e araucária (ICMBio, 2021).

Segundo o Instituto Chico Mendes (ICMBio, 2018), que coordena a Unidade de Conservação, o PNSJ está inserido no Bioma Mata Atlântica e em área considerada como prioritária para conservação, sendo a terceira Unidade de Conservação desta categoria a ser criada na região sul do Brasil.

O zoneamento do Parque Nacional de São Joaquim é uma ferramenta essencial para o manejo e a conservação desta unidade de conservação. Dividido em várias zonas com características e funções específicas, o zoneamento visa maximizar a proteção dos recursos naturais e atender aos objetivos de conservação do parque de forma harmoniosa e eficiente (Plano de Manejo do Parque Nacional de São Joaquim, 2018).

No Plano de Manejo do Parque Nacional de São Joaquim (2018), o zoneamento do parque é dividido em Zona Intangível (ZOI) e Zona Primitiva (ZOP), que são áreas de proteção rigorosa com o objetivo de preservar ecossistemas naturais e proteger espécies

ameaçadas. A ZOI, com 6.159,59 hectares, é a área de maior proteção, onde a intervenção humana é mínima. A ZOP, com 8.935,94 hectares, destina-se à conservação com pouca intervenção humana, permitindo atividades de baixo impacto como pesquisas e visitação controlada.

As demais zonas do parque incluem a Zona de Uso Extensivo (ZUEx), a maior com 28.853,55 hectares, destinada a atividades de turismo e recreação compatíveis com a conservação, promovendo a educação ambiental. A Zona de Uso Intensivo (ZUI), com 4.587,11 hectares, concentra estruturas de visitação e trilhas, planejada para suportar maior fluxo de visitantes. A Zona de Recuperação (ZOR), com 2.287,12 hectares, foca na restauração de áreas degradadas, enquanto a Zona de Uso Conflitante (ZUC), a menor com 642,65 hectares, gerencia infraestruturas existentes que não são compatíveis com os objetivos de conservação do parque, como área de antenas de meios de comunicação e estações meteorológicas (Plano de Manejo do Parque Nacional de São Joaquim, 2018).

Os solos presentes no PNSJ são característicos do clima altomontano e desempenham um papel crucial no estoque de carbono. Esses solos têm a capacidade de armazenar grandes quantidades de matéria orgânica, contribuindo para a redução das emissões de dióxido de carbono na atmosfera. A baixa temperatura, alta umidade e a presença de altas concentrações de alumínio trocável proporcionam condições favoráveis para a acumulação de carbono nos solos (SANTOS JÚNIOR & ALMEIDA, 2021).

O solo é um significativo sumidouro de carbono, essencial para a mitigação das mudanças climáticas e a conservação do solo (ROY *et al.*, 2021). A construção e manutenção do carbono no solo são cruciais para a saúde do solo e a mitigação do CO₂ (SMITH *et al.*, 2016).

De acordo com estudos realizados por Santos Junior (2017) em solos de clima altomontano no sul do Brasil, a combinação de fatores climáticos em altitudes elevadas (geralmente ocorre em altitudes acima de 1.200 metros até cerca de 1.800 metros), como clima frio, alta nebulosidade, elevados índices de precipitação e baixa evapotranspiração, juntamente com o relevo e o grau intermediário de intemperismo, desempenha um papel importante na formação de complexos organometálicos, principalmente por ligações entre fações de substâncias húmicas com alumínio. Essas condições favorecem a acumulação e estabilização da matéria orgânica do solo.

O estoque de carbono no Parque Nacional de São Joaquim tem um impacto significativo na mitigação das mudanças climáticas. A preservação desses solos é essencial para evitar a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, já que a degradação dos solos ou a perda de vegetação podem resultar na emissão desse gás. Além disso, a presença de um estoque saudável de carbono no solo contribui para a estabilidade climática e para a conservação da biodiversidade (SANTOS JÚNIOR & ALMEIDA, 2021; SCHEER, CURCIO & RODERJAN, 2013).

A quantificação de carbono no solo é uma prática essencial para a conservação ambiental, pois o solo é um importante reservatório de carbono que ajuda a mitigar as mudanças climáticas e melhorar sua saúde e multifuncionalidade (GRUIJTER *et al.*, 2016). Este estudo se concentra no Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ), uma área de grande relevância ecológica e histórica no Brasil, e investiga a eficácia e os métodos de implementação dessa prática.

O PNSJ possui um zoneamento diversificado que desempenha várias funções, desde a conservação até o uso sustentável do solo. A diversidade de usos do solo na região do parque, juntamente com as recentes alterações no zoneamento, justifica a necessidade de quantificar o carbono orgânico no solo. Além disso, os créditos de carbono emergem como uma medida promissora para a conservação de áreas com alto teor de carbono no solo.

Diante do panorama de conservação do solo e mitigação das mudanças climáticas, a dissertação/pesquisa está estruturada em dois capítulos. O primeiro capítulo realiza uma revisão bibliométrica da literatura científica e um estudo de caso para investigar a existência de modelos de acreditação de carbono baseados no estoque de carbono no solo. No segundo capítulo, é explorada a viabilidade da aplicação de créditos de carbono no Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ), considerando as particularidades do uso do solo e o zoneamento do parque. Já no terceiro capítulo, o objetivo é propor um modelo teórico de acreditação de carbono, que não se limite apenas à valoração econômica desses créditos, mas que seja direcionado para a conservação efetiva dos solos altomontanos.

3 CONCLUSÃO

Este estudo auxiliou na compreensão da importância dos solos altomontanos no Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ) como reservatórios de carbono orgânico, ressaltando o papel crucial que esses ecossistemas desempenham na mitigação das mudanças climáticas. Baseado nos objetivos traçados, investigou-se a complexidade associada à acreditação de créditos de carbono, destacando tanto o potencial quanto os desafios enfrentados por essa estratégia no contexto brasileiro.

A revisão da literatura e a análise bibliométrica evidenciam uma lacuna de estudos específicos focados na acreditação de carbono baseada no estoque de carbono do solo. Essa lacuna sugere que, embora a acreditação de carbono seja reconhecida globalmente como uma ferramenta promissora para a mitigação climática, há uma necessidade premente de mais pesquisas e dados que possam sustentar sua aplicação prática, especialmente em biomas menos explorados, como os do sul do Brasil. O contexto específico do PNSJ, com sua rica biodiversidade e solos únicos, apresenta um cenário ideal para o desenvolvimento de tais estudos.

Em um segundo momento, para o desenvolvimento do capítulo 2, houve a análise detalhada dos fatores que contribuem para os altos teores de carbono nos solos altomontanos do PNSJ, incluindo as condições climáticas, a composição geológica e o manejo do solo. Essa análise demonstra que, para maximizar o potencial de sequestro e armazenamento de carbono desses solos, é fundamental implementar práticas de manejo que evitem a degradação e a perda de matéria orgânica. Ao mesmo tempo, reconhece-se que a implementação de projetos de acreditação de carbono no Brasil enfrenta desafios consideráveis, como a falta de um arcabouço regulatório robusto e a burocracia envolvida. Essas barreiras dificultam não apenas a aplicação prática dos créditos de carbono, mas também geram incertezas quanto à sua eficácia como ferramenta de conservação.

Embora os créditos de carbono representem uma estratégia importante e potencialmente poderosa para a conservação dos solos altomontanos do PNSJ, a viabilidade de sua aplicação depende de uma série de fatores críticos, incluindo o fortalecimento das bases regulatórias, o aumento da clareza nos processos de acreditação e a coleta de dados estatísticos robustos.

Soluções alternativas relacionadas com o pagamento por serviços ambientais podem proporcionar um caminho mais imediato e menos complexo para a conservação, permitindo que as metas de preservação e sustentabilidade sejam alcançadas de forma eficaz e adaptada às realidades locais. Portanto, o avanço das práticas de conservação no PNSJ requer uma abordagem integrada que combine a inovação na acreditação de carbono com estratégias tradicionais de uso sustentável do solo, garantindo assim a proteção duradoura dos solos altomontanos e o bem-estar das comunidades incluídas nas zonas de amortecimento do Parque.

REFERÊNCIAS

ACHARYA, U.; LAL, R.; CHANDRA, R. **Abordagem baseada em dados sobre medição de carbono no solo in-situ.** Carbon Management, v. 13, n. 1, p. 401-419, 2022. DOI: 10.1080/17583004.2022.2106310.

AMUNDSON R, BIARDEAU L. **Keion sequestration is an elusive climate mitigation tool.** Proc Natl Acad Sci USA 115: 11652–11656. 2018.

BADGERY, W.; MURPHY, B.; COWIE, A.; ORGILL, S.; RAWSON, A.; SIMMONS, A.; CREAN, J. Soil carbon market-based instrument pilot – the sequestration of soil organic carbon for the purpose of obtaining carbon credits. **Soil Research**, v. 59, p. 12-23, 2021. DOI: 10.1071/SR19331.

BAI, Y.; COTRUFO, M. F. **Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions.** Science, v. 377, p. 603-608, 2022. DOI: 10.1126/science. abo2380

BAI, Y.; DENG, X.; JIANG, S.; ZHAO, Z.; MIAO, Y. **Relationship between climate change and low-carbon agricultural production: A case study in Hebei Province, China.** Ecological Indicators, v. 105, p. 438-447, 2019. ISSN 1470-160X. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.04.003.

BARBATO, C. T.; STRONG, A. L. **Farmer perspectives on carbon markets incentivizing agricultural soil carbon sequestration.** npj Clim. Action, v. 2, n. 26, 2023. DOI: 10.1038/s44168-023-00055-4.

BARBERA, N. C. **O mercado de créditos de carbono no Brasil e o papel da economia hipocarbônica.** Braz. J. da Desenvolva., 6(5), 25456-25472. 2019.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599-607, 2000.

BORCHARD, N., SCHIRRMANN, M., CAYUELA, M. L., KAMMANN, C., WRAGE-MÖNNIG, N., ESTAVILLO, J. M.... & NOVAK, J. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: a meta-analysis. **Science of the Total Environment**, 651, 2354-2364. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2012/l12651.htm. Acesso em: 09 jan. 2024.

BRUNNER, L.; KURZ, V.; BRYNGELSSON, D.; HEDENUSS, F. **Carbon label at a university restaurant – Label implementation and evaluation.** Ecological Economics, v. 146, p. 658-667, 2018. ISSN 0921-8009. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.12.012.

CAPITELLI, F., COLAO, F., PROVENZANO, M. R., FANTONI, R., BRUNETTI, G., & SENESI, N. **Determination of heavy metals in soils by laser induced breakdown spectroscopy.** Geoderma, 106(1-2), 45-62. 2002.

CAPON, T.; HARRIS, M.; REESON, A. **The design of markets for soil carbon sequestration.** Economic Papers, v. 32, n. 2, p. 161–173, June 2013.

CENCI, D. R.; KEMPFER, J. C. **A contribuição dos créditos de carbono para a mitigação das mudanças climáticas.** Ciência Ambiental e Pesquisa de Poluição, 30(1), 258-273. 2023.

CONTASTI, A. L.; FIRTH, A. G.; BAKER, B. H.; BROOKS, J. P.; LOCKE, M. A.; MORIN, D. J. **Balancing tradeoffs in climate-smart agriculture: Will selling carbon credits offset potential losses in the net yield income of small-scale soybean (Glycine max L.) producers in the Mid-Southern United States?** Decision Analysis, v. 20, n. 4, p. 252-275, 2023. DOI: 10.1287/deca.2023.0478.

CULLENWARD, D.; VICTOR, D. G. The political economy of carbon markets. **Science**, 369(6504), 1322-1324. 2020.

DA SILVA, R. M., MILORI, D. M., FERREIRA, E. C., FERREIRA, E. J., KRUG, F. J., & MARTIN-NETO, L. **Total carbon measurement in whole tropical soil sample.** *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 63(10), 1221-1224. 2008.

FEUDIS, M.; VIANELLO, G.; ANTISARI, L. V. **Soil Organic Carbon Stock Assessment for Volunteer Carbon Removal Benefit: Methodological Approach in Chestnut Orchard for Fruit Production.** *Environments*, v. 10, n. 5, p. 83, 2023.

DEATH, D. L., CUNNINGHAM, A. P., & POLLARD, L. J. **Multi-element and mineralogical analysis of mineral ores using laser induced breakdown spectroscopy and chemometric analysis.** *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 64(10), 1048-1058. 2009.

DEBASTIANI, A. B.; SÁ, E. A. S.; NETO, R. P. M.; SCHIMALSKI, M. B. Mapeamento do saldo de radiação no Parque Nacional de São Joaquim-SC. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 3, p. 363-367, 2018.

DEMIRALAY, S.; GENCER, H. G.; BAYRACI, S. **Carbon credit futures as an emerging asset: Hedging, diversification and downside risks.** *Energy Economics*, vol.113, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106196>.

DEMIRALAY, Sercan; GENCER, Hatice Gaye; BAYRACI, Selcuk. Carbon credit futures as an emerging asset: Hedging, diversification and downside risks. **Energy Economics**, v. 113, p. 106196, 2022.

DIAS, F. DE O., BONFIM, H. DOS S., MATOS, G. B. DA C., BOMBARDELLI, J. Bibliometric Analysis of Scientific Production on Carbon Credits (2012-2021). **Revista De Gestão Social E Ambiental**, 17(1), e03101.

DON, A., KALBITZ, K., & ANDRUSCHKEWITSCH, R. **Rotação do carbono em frações físicas do solo influenciadas pelo tipo de argila.** *Soil Biology and Biochemistry*, 43(2), 214-226. 2011.

DONAGEMA, G.K. et al. **Manual de métodos de análise de solo.** 2nd ed. Centro Nacional de Pesquisa do Solo- Embrapa Solos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011. 230p

EMPRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2^a ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos. 412p. 2007.

ERICKSEN, P. J.; STEWART, R. E.; LAL, R. **Managing soil carbon**. Science, 345(6197), 590-592. 2014.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P. **Organic Carbon in soils of the world**. Soil Science. p. 192-194, v. 15, n. 02, 1993.

EZE, S.; MAGILTON, M.; MAGNONE, D.; VARGA, S.; GOULD, I.; MERCER, T. G.; GODDARD, M. R. Meta-analysis of global soil data identifies robust indicators for short-term changes in soil organic carbon stock following land use change. **Science of The Total Environment**, v. 860, 2023, 160484. ISSN 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160484.

FALKENBERG, D. de B. **Matinhos nebulares e vegetação rupicola dos Aparados da Serra Geral (SC/RS), Sul do Brasil**. 2003. 558p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1594398>.

FELLER, C; BEARE, M. **Physical Control of Soil Organic Matter Dynamics in the Tropics**. Geoderma, 79, 69-116. 1997. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00039-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00039-6)

FERREIRA, A. C. de B.; BOGIANI, J. C.; SOFIATTI, V.; BORIN, A. L. D. C.; PERINA, F. J.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. A. S. da; MACHADO, P. L O. de A. **Organic carbon stock changes and crop yield in a tropical sandy soil under rainfed grains-cotton farming systems in Bahia, Brazil**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 52, e71219, 2022. Special Supplement: Climate Change in Agriculture. e-ISSN 1983-4063.

FERREIRA, A. C. de B. et al. Organic carbon stock changes and crop yield in a tropical sandy soil under rainfed grains-cotton farming systems in Bahia, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, p. e71219, 2022.

FONSECA FILHO, L. A. F. **Modelo de gestão econômico-ambiental por remuneração de serviços ambientais por créditos de carbono, no município de Presidente Figueiredo/AM, com simulação de SAFS.** 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Almir Ferreira Rivas.

GOMES, L., FARIA, R., SOUZA, E., VELOSO, G., SCHAEFER, C., & FILHO, E. **Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil.** Geoderma. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2019.01.007>.

GRAY, J., BISHOP, T., & WILSON, B. (2015). Factors Controlling Soil Organic Carbon Stocks with Depth in Eastern Australia. **Soil Science Society of America Journal**, 79, 1741-1751. <https://doi.org/10.2136/SSAJ2015.06.0224>.

GRUIJTER, J. J.; WHEELER, I.; MALONE, B. P. Using model predictions of soil carbon in farm-scale auditing-A software tool. **Agricultural Systems**, v. 169, p. 24-30, 2019.

GYENGE, J.; GATICA, G.; SANDOVAL, M.; LUPI, A. M.; GAUTE, M.; FERNÁNDEZ, M. E.; PERI, P. L. **Change of soil carbon storage in monoculture tree plantations across wide environmental gradients: Argentina as a case study.** Forest Ecology and Management, v. 552, 2024, 121565. ISSN 0378-1127. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121565.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo do Parque Nacional de São Joaquim.** Brasília: ICMBio, 2018. 72 p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Plano de Uso Público do Parque Nacional de São Joaquim. Brasília: ICMBio, 2021. 58 p.

IPCC. **Mudança Climática e Terra: Um Relatório Especial do IPCC sobre Mudança Climática, Desertificação, Degradação da Terra, Gestão Sustentável da Terra,**

Segurança Alimentar e fluxos de gases de efeito estufa nos ecossistemas terrestres.
Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. 2022.

KIELY, L.; BHATTARAI, T. **Carbon trading mechanism under the carbon smart farming: opportunities, challenges and risk, an Australian Perspective.** University of New England. Australia, 2017.

LAL, R. et al. The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. **Journal of Soil and Water Conservation**, 73(6), 145A-152A. 2018.

LAL, R. Impactos do sequestro de carbono do solo nas mudanças climáticas globais e na segurança alimentar. **Science**, 304(5677), 1623-1627.2018.

LAL, R. Managing soils for negative feedback to climate change and positive impact on food and nutritional security. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2020.

LAMENZA, A.; PEREIRA, R. S.; BRAGA JUNIOR, S. Comercialização e gestão de projetos de créditos de carbono no Brasil. **Revista de Administração da UNIMEP** – v.15, n.1, janeiro/abril – 2017.

LEIFELD, J.; MENICHETT, L. **The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies.** Nat Commun. Mar14;9(1):1071. 2018. doi: 10.1038/s41467-018-03406-6.

LI, B.; GUO, Y.; LIANG, F.; LIU, W.; WANG, Y.; CAO, W.; SONG, H.; CHEN, J.; GUO, J. **Global integrative meta-analysis of the responses in soil organic carbon stock to biocarvão amendment.** J Environ Manage, v. 351, Feb. 2024, 119745. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119745. Epub 2023 Dec 6. PMID: 38061094.

LI, H.; WU, Y.; LIU, S.; ZHAO, W.; XIAO, J.; WINOWIECKI, L. A.; VÄGEN, T.; XU, Ji.; YIN, X.; WANG, F.; SIVAKUMAR, B.; CAO, Y.; SUN, P.; ZHANG, G. **The Grain-for-Green project offsets warming-induced soil organic carbon loss and increases soil carbon stock in Chinese Loess Plateau.** Science of The Total Environment, v. 837, 2022, 155469. ISSN 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155469.

LI, M., HAN, X., DU, S., & LI, L. **Profile stock of soil organic carbon and distribution in croplands of Northeast China.** Catena. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2018.11.027>.

MACHADO, L. B. **Um framework para a geração de corpus e modelagem de tópicos no contexto da bibliometria.** Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Brasília, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Governança, Tecnologia e Inovação, 2022.

MACIEL, C. V. et al. Crédito de carbono: comercialização e contabilização a partir de projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. **Revista de Informação Contábil**, v. 3, n. 1, p. 89-112, jan./mar. 2009.

MARLAND, G., MCCARL, B., & SCHNEIDER, U. (2001). Soil Carbon: Policy and Economics. *Climatic Change*, 51, 101-117. <https://doi.org/10.1023/A:1017575018866>.

MARTINS, L. F. B. N.; TROIAN, D.; ROSSET, J. S.; SOUZA, C. B. S.; FARIAS, P. G. S.; OZÓRIO, J. M. B.; MARRA, L. M.; CASTILHO, S. C. P. **Soil carbon stock in different uses in the southern cone of Mato Grosso do Sul.** *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 7, n. 4, p. 86-94, out./dez. 2020. ISSN 2358-6303.

MILLS, A., BIRCH, S., STANWAY, R., HUYSER, O., CHISHOLM, R., SIRAMI, C., & SPEAR, D. () Sequestering carbon and restoring renosterveld through fallowing: a practical conservation approach for the Overberg, Cape Floristic Region, South Africa. *Conservation Letters*, 6. <https://doi.org/10.1111/conl.12003>. 2013.

MORENO MUÑOZ, A. S.; GUZMÁN ALVIS, Á. I.; BENAVIDES MARTÍNEZ, I. F. **A random forest model to predict soil organic carbon storage in mangroves from Southern Colombian Pacific coast.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 299, 2024, 108674. ISSN 0272-7714. DOI: 10.1016/j.ecss.2024.108674.

NOORDWIJK, M. Van. **Avoided land degradation and enhanced soil carbon storage: is there a role for carbon markets?** In: CABI. p. 360–379. CABI, 2015. DOI: 10.1079/9781780645322.0360.

OBSERVATÓRIO ABC. Relatório 2015: **Programa ABC - Agricultura de Baixo Carbono.** Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2015.

OGLE, S. M.; CONANT, R. T.; FISCHER, B.; HAYA, B. K.; MANNING, D. T.; MCCARL, B. A.; ZELIKOVA, T. J. **Policy challenges to enhance soil carbon sinks: the dirty part of making contributions to the Paris agreement by the United States.** Carbon Management, v. 14, n. 1, 2268071, 2023. DOI: 10.1080/17583004.2023.2268071.

OYEWOLA, D. O.; DADA, E. G. **Explorando o aprendizado de máquina: uma abordagem cirométrica usando bibliometrix e VOSviewer.** SN ciências aplicadas, 2022. 4(5), 143.

PANT, D.; SHAH, K.K.; SHARMA, S. et al.. **Soil and Ocean Carbon Sequestration, Carbon Capture, Utilization, and Storage as Negative Emission Strategies for Global Climate Change.** J Soil Sci Plant Nutr, v. 23, p. 1421–1437, 2023. DOI: 10.1007/s42729-023-01215-5.

PEREIRA, G. E. **Sensoriamento remoto e proximal de solos com elevados teores de carbono orgânico no Sul do Brasil.** 2021. 191 p. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, SC, 2021.

PHELAN, L.; CHAPMAN, P. J.; ZIV, G. **The emerging global agricultural soil carbon market: the case for reconciling farmers' expectations with the demands of the market.** Environmental Development, v. 49, 2024, 100941. ISSN 2211-4645. DOI: 10.1016/j.envdev.2023.100941.

ROY, O., MEENA, R., KUMAR, S., JHARIYA, M., & PRADHAN, G. **Assessment of land use systems for CO₂ sequestration, carbon credit potential, and income security in Vindhyan region, India.** Land Degradation & Development, 33, 670 - 682. 2021. <https://doi.org/10.1002/ldr.4181>.

SANTOS JUNIOR B. dos; ALMEIDA, J. A. de. Andic properties in soils with histic horizon “O” in the highlands of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 45, n., p. e0200152, 2021. Revista Brasileira de Ciência do Solo. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcs20200152>.

SANTOS JUNIOR, J. B. dos. **Solos com propriedades ândicas derivados de litologias da Formação Serra Geral em ambientes altomontanos do Sul do Brasil**. [Tese]. Lages. 185 p. 2017.

SANTOS, H.G.; JACOMINE P. K. T.; ANJOS, L. H. C; OLIVEIRA, V. A; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2018.

SCHARLEMANN, J.; TANNER, E.; HIEDERER, R.; KPOS, V. **Global soil carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool**. Carbon Management. 20145. 81-91.

SCHEER, M. B.; CURCIO, G. R.; RODERJAN, C. V. Carbon and water in upper montane soils and their influences on vegetation in Southern Brazil. **International Scholarly Research Notices**, v. 2013, n. 1, p. 348905, 2013.

STEFFENS, G. L. **Distribuição espacial dos teores de mercúrio e carbono orgânico em solos altomontanos do Sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – UDESC/CAV. Lages, Santa Catarina. 2023.

SEVASTAS, S.; GASPARATOS, D.; BOTSIDIS, D.; SIARKOS, I.; DIAMANTARAS, K. I.; BILAS, G. Predicting bulk density using pedotransfer functions for soils in the Upper Anthemountas basin, Greece. **Geoderma Regional**, v. 14, e00169, September 2018.

SHI, Z., WANG, M., & HARRIS, W. G. Potencial agroflorestal para sequestro de carbono na China. **Journal of Forestry Research**, 29(3), 545-558.2018.

SILVA, L. B. da; DICK, D. P.; INDA JUNIOR, A. V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. **Ciência**

Rural, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 1167-1171, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782008000400044>.

SIMONE, T. E.; LAMBERT, D. M.; CUVACA, I.; EASH, N. S. Soil carbon sequestration, carbon markets, and conservation agriculture practices: A hypothetical examination in Mozambique. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 3, p. 167-179, 2017. ISSN 2095-6339. DOI: 10.1016/j.iswcr.2017.06.001.

SMITH, P. Soil carbon sequestration and biocarvão as negative emission technologies. **Global Change Biology**, v. 22, p. 1315–1324, 2016. DOI: 10.1111/gcb.13178.

SMITH, P., DAVIES, C., OGLE, S., ZANCHI, G., BELLARBY, J., BIRD, N., BODDEY, R., MCNAMARA, N., POWLSON, D., COWIE, A., NOORDWIJK, M., DAVIS, S., RICHTER, D., KRYZANOWSKI, L., WIJK, M., STUART, J., KIRTON, A., EGGAR, D., NEWTON-CROSS, G., ADHYA, T., & BRAIMOH, A. **Towards an integrated global framework to assess the impacts of land use and management change on soil carbon: current capability and future vision**. Global Change Biology, 18. 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02689.x>.

STOCKMANN, U., ADAMS, M. A., CRAWFORD, J. W., FIELD, D. J., HENAKAARCHCHI, N., JENKINS, M., ... & ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 164, p. 80-99, 2013.

TAY, A. **A new literature mapping tool - ResearchRabbit**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://library.smu.edu.sg/topics-insights/new-literature-mappingtool-researchrabbit>.

UGBAJE, S. U.; KARUNARATNE, S.; BISHOP, T.; GREGORY, L.; SEARLE, R.; COELLI, K.; FARRELL, M. **Space-time mapping of soil organic carbon stock and its local drivers: Potential for use in carbon accounting**. Geoderma, v. 441, 2023, 116771. ISSN 0016-7061. DOI: 10.1016/j.geoderma.2023.116771.

VAN DER VOORT, T. S.; VERWEIJ, S.; FUJITA, Y. et al. **Enabling soil carbon farming: presentation of a robust, affordable, and scalable method for soil carbon stock assessment.** Agron. Sustain. Dev., v. 43, n. 22, 2023. DOI: 10.1007/s13593-022-00856-7.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

VOS, B., COOLS, N., ILVESNIEMI, H., VESTERDAL, L., VANGUELOVA, E., & CARNICELLI, S. **Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey.** Geoderma, 251, 33-46. 2015. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2015.03.008>.

YIES, NH, & VAN OOSTRUM, A. **Estoques de carbono em solos de pastagens na Europa.** SOLO, 6(1), 1-16. 2020.

YIMER, F.; LEDIN, S.; ABDELKADIR, A. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, p. 90-99, 2006.

ZHOU, W.; GUAN, K.; PENG, B.; MARGENOT, A.; LEE, D.; TANG, J.; JIN, Z.; GRANT, R.; DELUCIA, E.; QIN, Z.; WANDER, M. M.; WANG, S. **How does uncertainty of soil organic carbon stock affect the calculation of carbon budgets and soil carbon credits for croplands in the U.S. Midwest?** Geoderma, v. 429, 2023, 116254. ISSN 0016-7061. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116254.